

ISSN 2226-910X
E-ISSN 2310-1202

**ВЕСТНИК ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Вестник ВГУИТ

Proceedings of VSEI

**PROCEEDINGS OF THE VORONEZH STATE UNIVERSITY
OF ENGINEERING TECHNOLOGIES**

2024

№

2

16+

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

16+

**ВЕСТНИК
ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

ВЕСТНИК ВГУИТ

2024, Том. 86, № 2

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ОСНОВАН В 1938 ГОДУ
ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

**Воронеж
2024**

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education

«VORONEZH STATE UNIVERSITY
OF ENGINEERING TECHNOLOGIES»

**PROCEEDINGS
OF THE VORONEZH STATE
UNIVERSITY OF ENGINEERING TECHNOLOGIES**

Proceedings of VSUET

2024, Vol. 86, No. 2

SCIENTIFIC AND THEORETICAL JOURNAL

FOUNDED IN 1938
COMES 4 TIMES PER YEAR

**Voronezh
2024**

**Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
для опубликования диссертационных исследований**

Письмо о Перечне рецензируемых научных изданий от 28.12.2018 г. (<https://goo-gl.ru/4XHR>)

Материалы журнала размещаются в
БД РИНЦ, БД AGRIS– выборочно, ЭБС Лань, ЭБС IPBooks, ЭБ КиберЛенинка, БД ВИНТИ РАН,
НИС Соционет, БД Directory of Open Access Journals (DOAJ), БД Open Access scholarly Resources (ROAD),
The European Library (TEL), БД AcademicKeys, Research Bible, БД EBSCO Publishing, Academic Keys

**Соответствие рубрик/разделов журнала Вестник ВГУИТ
Номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.**

1.1 Процессы и аппараты пищевых производств

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

1.2 Пищевая биотехнология

4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

2. Химическая технология

2.6.7. Технология неорганических веществ (технические науки)

2.6.7. Технология неорганических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (технические науки)

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (химические науки)

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки)

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (физикоматематические науки)

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Председатель (Главный редактор):

КОРНЕЕВА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА доктор биологических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, и.о. проректора по научной и инновационной деятельности, зав. кафедрой биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-2863-0771

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ РУБРИК

Процессы и аппараты пищевых производств

ОСТРИКОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

АЛЕКСЕЕВ ГЕННАДИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор факультета биотехнологий, научный руководитель образовательной программы «Процессы и аппараты пищевых производств», Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО (г. Санкт-Петербург, Россия) ORCID- 0000-0002-2867-108X

АНТИПОВ СЕРГЕЙ ТИХОНОВИЧ доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, заслуженный изобретатель РФ, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-8932-5922

АХМЕДОВ МАГОМЕД ЭМИНОВИЧ доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой товароведения и экспертизы, Дагестанский государственный технический университет (Махачкала, Россия)

БРЕДИХИН СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ доктор технических наук, профессор, кафедра процессы и аппараты перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

ВАСИЛЕНКО ВИТАЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор технических наук, профессор, и.о. проректора по учебной работе, зав. кафедрой машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-1547-9814

ВИНЧЕНЦО СТОРНЕЛЛИ профессор, профессор кафедры электроники, Университет Л'Аквила (Аквила, Италия)

ДРАННИКОВ АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ доктор технических наук, доцент, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств, декан факультета пищевых машин и автоматов, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

МАКСИМЕНКО ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе и инновациям, заведующий кафедрой технологические машины и оборудование, Астраханский государственный технический университет (Астрахань, Россия)

ПАНИЛОВ ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ доктор технических наук, профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, Россия)

ПРЕЙС ВЛАДИМИР ВИКТОРОВИЧ доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологические системы пищевых, полиграфических и упаковочных производств Тульский государственный университет, Политехнический институт, (Тула, Россия)

ЧЕРТОВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ доктор технических наук, профессор, советник при ректорате, зав. кафедрой технической механики, почетный работник высшего профессионального образования РФ, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ШЕВЦОВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель РФ, профессор кафедры общепрофессиональных дисциплин, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, Россия)

Пищевая биотехнология

АГАФОНОВ ГЕННАДИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

АКСЕНОВА ЛАРИСА МИХАЙЛОВНА доктор технических наук, профессор, академик РАН, главный научный сотрудник ВНИИ кондитерской промышленности (Москва, Россия)

АМИРОВА ЭЛЛИ доктор наук, основатель и генеральный директор Succinto Inc. (Ла-Меса, США) ORCID: 0000-0002-9377-3875

АНТИПОВА ЛЮДМИЛА ВАСИЛЬЕВНА (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-1416-0297

БРЕНЧ АНДРЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ кандидат технических наук, доцент, декан инженерно-технологического факультета учреждения образования, Белорусский государственного аграрный технический университет (Минск, Беларусь) ORCID: 0000-0001-6604-9366

ВАЙБХАВКУМАР ГАВАЛИ доктор наук, постдокторант, фармакология, отделение внутренней медицины, Медицинский колледж (Цинциннати, США) ORCID: 0000-0002-7917-4913

ВИКТОРОВА ЕЛЕНА ПАВЛОВНА доктор технических наук, профессор, заместитель директора по научной и инновационной деятельности, Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки сельскохозяйственной продукции (Краснодар, Россия)

ГОЛУБЕВА ЛЮБОВЬ ВЛАДИМИРОВНА доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ДОНЧЕНКО ЛЮДМИЛА ВЛАДИМИРОВНА доктор технических наук, профессор, профессор ВАК, профессор кафедры технологии хранения и переработки растениеводческой продукции, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина (Краснодар, Россия)

ИЗТАЕВ АУЕЛБЕК доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии хлебопродуктов и перерабатывающих производств, директор НИИ пищевых технологий, Алматинский Технологический Университет (Алматы, Казахстан)

ЙОРДАНОВ ДИНКО ГЕОРГИЕВ доктор наук, доцент кафедры мясные и рыбные технологии, Университет пищевых технологий (Пловдив, Болгария) ORCID: 0000-0002-9300-6588

КАЧАНОВА МИРОСЛАВА доктор наук, профессор кафедры плодородия, виноградарства и экологии, Словацкий сельскохозяйственный университет (Нитра, Словакия), отдел биоэнергетики и пищевых технологий, Жешувский университет (Жешув, Польша) ORCID: 0000-0002-4460-0222

КУЛЬНЕВА НАДЕЖДА ГРИГОРЬЕВНА доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ЛИСИЦЫН АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ доктор технических наук, профессор, академик РАН, лауреат Государственной премии РФ, директор ФГБНУ "ВНИИМП им. В.М. Горбатова" (Москва, Россия)

МАГОМЕДОВ ГАЗИБЕГ ОМАРОВИЧ доктор технических наук, профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, зав. кафедрой технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

МАСЛОВ АЛЕКСАНДР доктор медицинских наук, доцент кафедры генетики, Медицинский колледж Альберта Эйнштейна (Нью-Йорк, США) ORCID: 0000-0001-5402-8891

МБАРГА МАНГА ДЖОЗЕФ АРСЕН магистр агрономии, научный сотрудник кафедры микробиологии и вирусологии, Российский университет дружбы народов (Москва, Россия) ORCID: 0000-0001-9626-9247

МИРОНЕСКУ МОНИКА доктор наук, доцент, факультет сельскохозяйственных наук, пищевой промышленности и охраны окружающей среды, Университет «Лучиан Блага» (Сибу, Румыния) ORCID: 0000-0002-0515-475X

ОСПАНОВ АБДЫМАНАП АБУБАКИРОВИЧ академик КазНАЕН, доктор технических наук, профессор, руководитель учебного научно-производственного Центра «Технология перерабатывающих производств», Казахский национальный аграрный университет (Алматы, Казахстан) ORCID: 0000-0002-3813-603X

ПАНДА ВАНДАНА доктор наук, доцент кафедры фармакологии, Ведущий фармацевтический колледж им. К. М. Кунднани (Мумбай, Индия) ORCID: 0000-0002-7016-7813

ПЕТРОВ АНДРЕЙ НИКОЛАЕВИЧ доктор технических наук, профессор, академик РАН, директор ФГБНУ ВНИИ Технологии консервирования (Видное, Московская обл., Россия)

РОДИОНОВА НАТАЛЬЯ СЕРГЕЕВНА доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сервиса и ресторанного бизнеса, декан факультета экономики и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-6940-7998

СУНДАРРАДЖАН ПРИЯ магистр наук, доктор наук, доцент кафедры естественных наук и биохимии, колледж Святого Ксавьера, Университет Мумбаи (Мумбаи, Индия)

ХАТКО ЗУРЕТ НУРБИЕВНА доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Майкопский государственный технологический университет, (Майкоп, Россия)

ЭСРА КАПАНОГЛУ доктор наук, доцент кафедры пищевой инженерии, Стамбульский технический университет (Стамбул, Турция) ORCID: 0000-0003-0335-9433

Химическая технология

КАРМАНОВА ОЛЬГА ВИКТОРОВНА (гл. ред.) доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой химии и химической технологии органических соединений и переработки полимеров, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

БИТЮКОВ ВИТАЛИЙ КСЕНОФОНОВИЧ доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, советник при ректорате, профессор кафедры информационных и управляющих систем, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ВАНИЕВ МАРАТ АБДУРАХМАНОВИЧ доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой химия и технология переработки эластомеров, Волгоградский государственный технический университет, кафедра химия и технология переработки эластомеров (Волгоград, Россия)

ДОРМЕКШИН ОЛЕГ БОРИСОВИЧ доктор технических наук, профессор, лауреат Премии Национальной академии наук Беларуси, отличник народного образования Республики Беларусь, проректор по научной работе, зав. кафедрой технологии неорганических веществ и общей химической технологии, Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (Минск, Беларусь)

КУЧМЕНКО ТАТЬЯНА АНАТОЛЬЕВНА доктор химических наук, профессор, профессор РАН, зав. кафедрой физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ЛЮСОВА ЛЮДМИЛА РОМУАЛЬДОВНА доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой химии и технологии переработки эластомеров имени Ф.Ф. Кошелева, Московский технологический университет МИРЭА, Московский государственный университет тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

МОКШИНА НАДЕЖДА ЯКОВЛЕВНА доктор химических наук, доцент, профессор кафедры физики и химии, Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0001-8409-024X

НИКУЛИН СЕРГЕЙ САВВОИЧ доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии органического синтеза и высокомолекулярных соединений, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

ПРОКОПЧУК НИКОЛАЙ РОМАНОВИЧ доктор химических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, зав. кафедрой технологии нефтехимического синтеза и переработки полимеров, Учреждение образования "Белорусский государственный технологический университет" (Минск, Беларусь)

ПУГАЧЕВА ИННА НИКОЛАЕВНА доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инженерной экологии, декан факультета экологии и химической технологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия)

СУХАНОВ ПАВЕЛ ТИХОНОВИЧ доктор химических наук, профессор, советник при ректорате по научно-методической деятельности, профессор кафедры физической и аналитической химии, Воронежский государственный университет инженерных технологий (Воронеж, Россия) ORCID: 0000-0002-2588-9286

ФРАНЧЕСКО ВЕЛЬО профессор, профессор кафедры теории развития химических процессов, Университет Л'Аквила (Аквила, Италия)

Официальный сайт «Вестник ВГУИТ» www.vestnik-vsuet.ru
Подписной индекс издания в агентстве "Роспечать" 70927

Ответственный секретарь: ДЕРКАНОСОВА А.А. (эл. почта: post@vestnik-vsuet.ru)

Учредитель: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций: Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-56830 от 29 января 2014 г.

Адрес университета, редакции, издательства и отдела полиграфии ФГБОУ ВО «ВГУИТ»
394036, Воронеж, пр. Революции д.19 ауд.11
тел./факс: (473) 255-37-16
E-mail: post@vestnik-vsuet.ru

Сдано в набор 10.06.2024. Подписано в печать 21.06.2024
Выход в свет: 30.06.2024
Усл. печ. л. 45,5 Тираж 1500 экз. Заказ.
Цена – свободная.

© ФГБОУ ВО
«Воронеж. гос. ун-т инж.
технол.», 2024

**The magazine is included in the list of publications recommended
by the Higher Attestation Commission
Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
for the publication of dissertation research**

Letter of the List of Peer-reviewed Scientific Publications from 28/12/2018. (<https://goo-gl.ru/4XHR>)

Journal materials are placed in

RSCI DB, AGRIS DB - selectively, EB Doe, EBR IPRbooks, EB CyberLenink, DB VINITI RAS, NIS Socionet, Directory of Open Access Journals (DOAJ) database, Open Access scholarly Resources (ROAD) database, The European Library (TEL), AcademicKeys database, Research Bible, EBSCO Publishing database, Academic Keys

**Correspondence of rubrics/sections of the journal Proceedings of VSUET
The nomenclature of scientific specialties for which academic degrees are awarded.**

1.1 Food production processes and apparatus

4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

1.2 Food biotechnology

4.3.3. Food systems (engineering sciences)

4.3.5. Biotechnology of food and biologically active substances (technical sciences)

2. Chemical technology

2.6.7. Technology of inorganic substances (engineering sciences)

2.6.7. Technology of inorganic substances (chemical sciences)

2.6.10. Technology of organic substances (chemical sciences)

2.6.10. Technology of organic substances (engineering sciences)

2.6.11. Technology and processing of synthetic and natural polymers and composites (chemical sciences)

2.6.11. Technology and processing of synthetic and natural polymers and composites (technical sciences)

2.6.12. Chemical technology of fuels and high-energy substances (technical sciences)

2.6.13. Processes and apparatus of chemical technologies (technical sciences)

2.6.13. Processes and apparatuses of chemical technologies (physical and mathematical sciences)

EDITORIAL COUNCIL

Chairman (Editor-in-chief):

KORNEEVA, OLGA SERGEEVNA doctor of biological sciences, professor, honored worker of higher school of Russia, acting vice-rector for research and innovation, head of the department of biochemistry and biotechnology, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-2863-0771

EDITORIAL TEAM

Processes and devices for food production

OSTRIKOV, ALEKSANDR NIKOLAEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of Russia, Head of Department Technology of fats, processes and equipment of chemical and food production, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

ALEKSEEV, GENNADY VALENTINOVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Professor of the Faculty of Biotechnology, Scientific Supervisor of the educational program "Processes and Apparatus for Food Production", St. Petersburg National Research University ITMO (St. Petersburg, Russia) ORCID- 0000-0002-2867-108X

ANTIPOV, SERGEY TIKHONOVICH Doctor of Technical Sciences, professor, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, honored inventor of the Russian Federation, Professor of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, Voronezh state university of engineering technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-8932-5922

AHMEDOV, MAGOMED EMINOVICH doctor of technical sciences, Professor, head. Department of Commodity Science and Expertise, Dagestan State Technical University (Makhachkala, Russia)

BREDIKHIN, SERGEY ALEKSEEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Processes and Apparatuses of Processing Industries, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after them. K.A. Timiryazev (Moscow, Russia)

VASILENKO, VITALII NIKOLAEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Academic Affairs. Head of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, the Dean of the Technology Faculty, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0002-1547-9814

VINCENZO STORNELLI Professor, Professor of the Department of Electronics, University of L'Aquila (L'Aquila, Italy)

DRANNIKOV, ALEKSEJ VIKTOROVICH Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Machines and Apparatuses of Food Production, Dean of the Faculty of Food Machines and Automata, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

MAKSIMENKO, YURI ALEKSANDROVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, Head of the Department of Technological Machines and Equipment, Astrakhan State Technical University (Astrakhan, Russia)

PANFILOV, VIKTOR ALEKSANDROVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of RAS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Honored Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Professor of the Department Processes and Apparatuses of Processing Industries, Russian State Agrarian University -Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev (Moscow, Russia)

PRICE, VLADIMIR VIKTOROVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technological Systems of Food, Printing and Packaging Production Tula State University, Polytechnic Institute, (Tula, Russia)

CHERTOV, EVGENY DMITRIEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Advisor to the administration, Head of the Department of Technical Mechanics, Honorary Worker of Higher Professional Education of the Russian Federation, Voronezh state university of engineering technologies (Voronezh, Russia)

SHEVTCOV, ALEKSANDR ANATOLEVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Russian Federation, Professor of General Professional Disciplines, Air Force Academy named after Prof. N. E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia)

Food biotechnology

ANTIPOVA, LIUDMILA VASILEVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Department of technology of animal origin products, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

AGAFONOV, GENNADII VIACHESLAVOVICH Doctor of Technical Sciences, prof., Head of the Department of Technology of fermentation and sugar industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

AKSENOVA, LARISA MIKHAILOVNA Doctor of Technical Sciences, professor, Academician-secretary of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Chief research officer at the Research Institute of Confectionery Industry (Moscow, Russia)

AMIROVA ELLIE DAOM, PhD, Diplomate of OM, LAc), Founder and CEO of Succuro Inc. (La Mesa, USA) ORCID: 0000-0002-9377-3875

BRENCHECH, ANDREY ALEXANDROVICH Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Engineering and Technology of the Educational Institution, Belarusian State Agrarian Technical University (Minsk, Belarus) ORCID: 0000-0001-6604-9366

VAIBHAVKUMAR, SHANTARAM GAWALI, M.Pharm., Ph.D., Postdoctoral Fellow, Pharmacology, Department of Internal Medicine, College of Medicine, India affiliated to University of Cincinnati. (Cincinnati, USA) ORCID: 0000-0002-7917-4913

VICTOROVA, ELENA PAVLOVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific and Innovation Activities North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture and Wine, Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products (Krasnodar, Russia)

GOLUBEVA, LIUBOV VLADIMIROVNA doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of the Higher School of Russia, Professor of the Department of technology of animal origin products, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

DONCHENKO, LYUDMILA VLADIMIROVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of VAK, Professor of the Department of Technology of Storage and Processing of Plant Production, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina (Krasnodar, Russia)

IZTAEV AUELBEK Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of bakeries and processing industries, director of the Research Institute of Food Technologies, Almaty Technological University (Almaty, Kazakhstan)

YORDANOV DINKO GEORGIEV PhD., Associate Professor, meat and fish technology, University of Food Technologies (Plovdiv, Bulgaria) ORCID: 0000-0002-9300-6588

KACANIOVA MIROSLAVA PhD., Department of Fruit sciences, Viticulture and Enology, Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Slovak University of Agriculture (Nitra, Slovakia), full professor, Department of Bioenergy and Food Technology, Faculty of Biology and Agriculture, University of Rzeszow (Rzeszow, Poland) ORCID: 0000-0002-4460-0222

KULNEVA, NADEZHDA GRIGOREVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of fermentation and sugar industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

LISITSYN, ANDREI BORISOVICH Doctor Of Technical Sciences, Professor, Academician Of The Russian Academy Of Sciences, Laureate Of The State Prize Of The Russian Federation, Director Of The All-Russian Research Institute Of Meat Industry Named After V. M. Gorbатов. (Moscow, Russia)

MAGOMEDOV, GAZIBEG OMAROVICH doctor of Technical Sciences, prof., Honored Worker of Higher Professional Education of the Russia, Head of the Department of Technology of bakery, confectionery, pasta and grain-processing industries, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

MASLOV ALEXANDER MD/PhD, Research Assistant Professor, Department of Genetics, Albert Einstein College of Medicine (New York, USA) ORCID 0000-0001-5402-8891

MBARGA MANGA JOSEPH ARSENE master of Science in Agronomy, Researcher in the Department of Microbiology and Virology, People's Friendship University of Russia (Mocow, Russia) ORCID: 0000-0001-9626-9247

MIRONESCU MONICA PhD, Associate Professor, Faculty of Agricultural Sciences, Food Industry and Environmental Protection, Lucian Blaga University of Sibiu (Sibiu, Romania) ORCID: 0000-0002-0515-475X

OSPANOV, ABDYMANAP ABUBAKIROVICH Academician KazNAEN, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Educational Research and Production Center "Technology of Processing Industries", Kazakh National Agrarian University (Almaty, Kazakhstan) ORCID: 0000-0002-3813-603X

PANDA, SANJEEV VANDANA Ph.D., Associate Professor, Pharmacology, Prin. K. M. Kundnani College of Pharmacy (Mumbai, India) ORCID: 0000-0002-7016-7813

PETROV, ANREJ NIKOLAEVICH Doctor of Technical Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, Director of the All-Russian Scientific Research Institute of Preserving Technology (Vidnoe, Moscow Region, Russia)

RODIONOVA, NATALIA SERGEEVNA Doctor of Technical Science, Prof., Professor of the Department of service and restaurant business, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

SUNDARRAJAN PRIYA M.Sc, Ph.D., Associate Professor, Department of Life Science and Biochemistry, St. Xavier's College, India affiliated to University of Mumbai. (Mumbai, India)

KHATKO, ZURET NURBIEVNA Doctor of Technical Sciences, associate professor, Head of the department of manufacturing technology and processing of agricultural products, Maikop State Technological University (Maikop, Russia)

ESRA CAPANOGLU Ph.D., Associate Professor, Istanbul Technical University, Food Engineering Department (Istanbul, Turkey) ORCID: 0000-0003-0335-9433

Chemical Technology

KARMANOVA, OLGA VIKTOROVNA doctor of Technical Sciences, prof., Head of the Department of Chemistry and Chemical Technology of organic compounds and Polymers processing, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

BITIUKOV, VITALII KSENOFONTOVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of Russia, Advisor to the administration, Professor of the Department of Information and Control Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

VANIEV, MARAT ABDURAKHMANOVICH Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head. Department of Chemistry and Technology of Elastomer Processing, Volgograd State Technical University, Department of Chemistry and Technology of Elastomer Processing (Volgograd, Russia)

DORMEKSHIN, OLEG BORISOVICH Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the National Academy of Sciences of Belarus, Excellence in Public Education of the Republic of Belarus, Vice Rector for Research, head of the department of technology of inorganic substances and general chemical technology, Educational Establishment "Belarusian State Technological University" (Minsk, Belarus)

KUCHMENKO, TATIANA ANATOLEVNA doctor of Chemical Sciences, Prof., Head of the Department of Physical and Analytical Chemistry, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

LYUSOVA, LYUDMILA ROMUALDOVNA Doctor of Technical Sciences, Professor, Head. Department of Chemistry and Technology of Elastomers Processing named after F.F. Kosheleva, Moscow Technological University MIREA, Moscow State University of Fine Chemical Technologies. M.V. Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

MOKSHINA, NADEZHDA IAKOVLEVNA doctor of Chemical Sciences, associate professor, professor of the Department of Physics and Chemistry, Air Force Academy named after Prof. N. E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin (Voronezh, Russia) ORCID: 0000-0001-8409-024X

NIKULIN, SERGEI SAVVOVICH doctor of Technical Sciences, prof., Professor of the Department of Technology of Organic Synthesis and macromolecular compounds, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

PROKOPCHUK, NIKOLAI ROMANOVICH Doctor of Chemical Sciences, Professor corresponding member of National Academy of Sciences of Belarus, Head of the department of Technology of petrochemical synthesis and polymers processing, Educational Establishment "Belarusian State Technological University" (Minsk, Belarus)

PUGACHEVA, INNA NIKOLAEVNA doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Environmental Engineering, Dean of the Faculty of Ecology and Chemical Technology, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

SUKHANOV, PAVEL TIKHONOVICH doctor of Chemical Sciences, Professor, Vice Rector for Research and Innovation. Professor of the Department of Physical and Analytical Chemistry, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)

FRANCESCO VEGLIO Professor, Professor of the Department of Theory of Chemical Processes development, University of L'Aquila, (L'Aquila, Italy)

Official site: www.vestnik-vsuet.ru

Subscription index of the publication in the Rospechat agency 70927

Executive Secretary: DERKANOSOVA A.A. (email post office: post@vestnik-vsuet.ru)

Founder: Voronezh State University of Engineering Technologies

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications: Certificate of Registration ПИ № ФС77-56830 January 29, 2014

Address of the university, editorial office, publishing house and printing department of FSBEI HE "VGUIT"

394036, Voronezh, pr. Revolution 19, room 11

tel / fax: (473) 255-37-16

E-mail: post@vestnik-vsuet.ru

Put in set 10.06.2024. Signed to print 21.06.2024
The publication: 30.06.2024
Conditional Print l. 45.5 Circulation 1500 copies.
Price - Free.

© FSBEI HE
"Voronezh State University
of Engineering
Technologies ", 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Жачкин С.Ю., Трифонов Г.И., Егорова Г.Н. Технология восстановления цилиндрических и винтовых поверхностей транспортера плазменным напылением покрытий	17
Грибкова В.А., Семенов Е.В., Славянский А.А., Митрошина Д.П., Антипов С.Т. Расчет процесса фракционирования порошка в роторе трубчатой центрифуги	25
Черепанова Н.Г., Новикова К.И., Агаркова А.А., Беляева Н.П., Просекова Е.А. Тинкториальные свойства белковых растительных добавок	33
Шестаков К.В., Лазарев С.И., Долгова О.В. Полянский К.К. Анализ и обоснование тенденций развития электромембранных методов в очистке промышленных растворов	40
Бугаев Ю.В., Коробова Л.А., Шурупова И.Ю. О статистической устойчивости оптимального решения, найденного по уравнению регрессии	48

ПИЩЕВАЯ БИОТЕХНОЛОГИЯ

Урубков С.А., Королёв А.А., Смирнов С.О. Технология муки из зерно-фруктовой барды	56
Егорова М.И., Беляева Л.И., Пузанова Л.Н., Пружин М.К. Референтные значения отдельных потребительских характеристик белого сахара	63
Хлопов А.А., Ефименко С.Г., Лыбенко Е.С. Влияние льняной муки на качество ржаного хлеба /	74
Журавлева Н.Д., Тошев А.Д. Разработка технологии чипсов с применением растительного сырья	81
Пономарева Е.И., Федорченко Н.Н., Никитина Л.А. Повышение пищевой ценности кекса из пшеничной муки высшего сорта	87
Черноусова О.В., Рудаков О.Б., Аббуд М. Цифровая цветометрия с использованием смартфонов в экспресс-контроле цветности сахара	93
Алхатиб Р., Баракова Н.В., Гунькова П.И., Басковцева А.С., Гринвальд С.А. Влияние способов получения резистентного крахмала на жизнедеятельность лактобактерий	99
Копылова А.В., Гурова Д.В., Мартынович А.Д. Визуальная ассоциация, эмоциональное воздействие и аутентичность в фуд дизайне в современной гастрономии	107
Устинова Ю.В., Бородулин Д.М. Электрофизическое воздействие на белковое сырье	113
Шестаков К.В., Лазарев С.И., Долгова О.В. Полянский К.К. Применение виртуальных тренажеров в процессах электродиализного разделения промышленных растворов	119
Алферов С.В., Федина В.В., Егоров К.А., Трубицина Л.И. Биоэлектродокаталитическое восстановление кислорода бактериальными лакказами на электродах, модифицированных многостенными углеродными нанотрубками	126
Решетник Е.И., Пакусина А.П., Платонова Т.П., Грибанова С.Л., Бабухадия К.Р., Школьников П.Н. Применение сырьевых ингредиентов из корнеплодов свёклы в пищевой промышленности	132
Казарцев Д.А., Ключников А.И., Ключникова Д.В., Зуева Н.В., Криваносов И.Н., Кулигин Д.Р. Сухое охмеление пива как способ расширения ассортимента в условиях малых предприятий	138
Нургалиева Б.М., Зюзина С.С., Белоглазова К.Е., Рысмухамбетова Г.Е., Курако У.М., Карпунина Л.В. Нутрициологический потенциал мясного паштета из конины с молочным соусом	146
Пожидаева Е.А., Попов Е.С., Окорокова А.М., Хорпьяков М.М., Дурова Ю.В., Гребенникова М.С. Кисломолочный напиток обогащенный продуктами глубокой переработки виноградной косточки	153
Долматова О.И., Мухоркина С.В. Изучение реологических свойств кисломолочного напитка	160
Антипова Л.В., Болдырева М.С. Новые ассортиментные линейки мясных продуктов питания с использованием побочного сырья убоя кроликов	166
Кучихин Ю.А., Размочаев Е.А., Кочетков Н.И., Никифоров-Никишин Д.Л., Евсеев Е.В. Использование масла льняного холодного отжима в комплексе с белым люпином, прошедшим барогидротермическую обработку, в составе комбикормов для Радужной форели (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	174
Аль-Сухайми С.А., Оленева З.А., Тошев А.Д. Оценка антиоксидантной и антимикробной активности экстрактов мяты перечной, имбиря и розмарина	182

Аль-Сухайми С.А.А., Оленева З.А., Тошев А.Д., Тазединова Д. Влияние экстракта перечной мяты на процесс хранения мясных полуфабрикатов	189
Климук А.А., Сергазиева О.Д., Пономарев А.К., Бекетов С.В., Ларкин А.Д., Минаенко А.П. Сравнение технологических характеристик гибридного потомства <i>Clarias gariepinus</i> с родительскими особями	199
Крюкова О.Н., Бушуев А.И., Ковалева Т.С., Яковлева С.Ф. Влияние спорта и физических нагрузок на кишечный микробиом человека	207
Вебер А.Л., Леонова С.А. Возможности применения растительной дисперсии из зерна бобовых культур для улучшения свойств пшеничного хлеба	213
Пашина Л.Л., Решетник Е.И., Пакурина А.П., Грибанова С.Л., Держапольская Ю.И., Школьников П.Н. Свойства сои как гарант экономической доступности продукта	224
Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Панина Е.В. Технологические подходы к производству мясных рубленых полуфабрикатов, обогащенных композитами животного и растительного происхождения	237
Рожнов Е.Д., Школьников М.Н., Аббазова В.Н., Аверьянова Е.В., Романюк Т.И., Ососко П.К. Направленный ферментализ мякоти тыквы как инструмент формирования качества полуфабрикатов	248
Шагинова Л.О., Забодалова Л.А., Демьяненко Т.Ф., Доморощенкова М.Л., Крылова И.В. Влияние ультразвуковой обработки на экстрагируемость белков при комплексной переработке семян подсолнечника	255

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Алексеев М.В., Кудряшов В.С., Авцинов И.А., Гаврилов А.Н., Иванов А.В. Разработка и реализация цифровой системы управления форматорм-вулканизатором	262
Филатова М.В., Шевцов Ю.В., Казаков Т.И., Саввина Е.А., Олейников С.В. Низкомолекулярный полиизобутилен (PIB): производственно-экономическое назначение, анализ рынка	269
Твердов И.Д., Ямалеева Е.С., Готлиб Е.М., Холин К.В., Султанов Т.П. Изучение фазовых превращений в процессе твердофазного синтеза диоксида на основе золы рисовой шелухи	277
Студеникина Л.Н., Коленко И.В., Углова В.Е., Мельников А.А. Технологические аспекты получения материалов на основе термопластичного крахмала	284

CONTENTS

PROCESSES AND APPARATUSES OF FOOD ENGINEERING

Zhachkin S.Yu., Trifonov G.I., Egorova G.N. Technology of restoration of cylindrical and screw surfaces of the conveyor by plasma spraying of coatings	17
Gribkova V.A., Semenov E.V., Slavyansky A.A., Mitroshina D.P., Antipov S.T. Calculation of the powder fractionation process in a tubular centrifuge rotor	25
Cherepanova N.G., Novikova K.I., Agarkova A.A., Belyaeva N.P., Prosekova E.A. Tinctorial properties of a non-meat proteins	33
Shestakov K.V., Lazarev S.I., Dolgova O.V., Polyansky K.K. Analysis and substantiation of trends in the development of electromembrane methods in the purification of industrial solutions	40
Bugaev Yu.V., Korobova L.A., Shurupova I.Yu. On the statistical stability of the optimal solution, found from the regression equation	48

FOOD BIOTECHNOLOGY

Urubkov S.A., Korolev A.A., Smirnov S.O. Technology of flour from grain-fruit stillage	56
Egorova M.I., Belyaeva L.I., Puzanova L.N., Pruzhin M.K. Reference values for selected consumer characteristics of white sugar	63
Khlopov A.A., Efimenko S.G., Lybenko E.S. The influence of flaxseed flour on the quality of rye bread	74
Zhuravleva N.D., Toshev A.D. Development of chips technology using plant raw materials	81
Ponomareva E.I., Fedorchenko N.N., Nikitina L.A. Increasing the nutritional value of premium wheat flour cake	87
Chernousova O.V., Rudakov O.B., Abbod M. Digital colorimetry using smartphones in the express control of sugar chromaticity	93
Alkhateeb R., Barakova N.V., Gunkova P.I., Baskovtceva A.S., Grinvald S.A. The effect of resistant starch production methods on the activity of lactobacilli	99
Kopylova A.V., Gurova D.V., Martynovich A.D. Visual association, emotional impact, and authenticity in food design in modern gastronomy	107
Ustinova Y.V., Borodulin D.M. Electrophysical effect on protein raw materials	113
Shestakov K.V., Lazarev S.I., Dolgova O.V., Polyansky K.K. Application of virtual simulators in the processes of electro dialysis separation of industrial solutions	119
Alferov S.V., Fedina V.V., Egorov K.A., Trubitsina L.I. Bioelectrocatalytic oxygen reduction by bacterial laccase on electrodes modified with multi-walled carbon nanotubes	126
Reshetnik E.I., Pakusina A.P., Platonova T.P., Gribova S.L., Babukhadia K.R., Shkolnikov P.N. Application of raw ingredients from beet roots in the food industry	132
Kazartsev D.A., Klyuchnikov A.I., Klyuchnikova D.V., Zueva N.V., Krivanosov I.N., Kuligin D.R. Dry hopping of beer as a method of expansion range for small enterprises	138
Nurgalieva B.M., Zyuzina S.S., Beloglazova K.E., Rysmukhambetova G.E., Kurako U.M., Karpunina L.V. Nutritional potential of horsemeat pate with milk sauce	146
Pozhidaeva E.A., Popov E.S., Okorokova A.M., Khorpyakov M.M., Durova J.V., Grebennikova M.S. Fermented milk drink enriched with products of deep processing of grape seed	153
Dolmatova O.I., Mukhorkina S.V. Study of rheological properties of fermented milk drink	160
Antipova L.V., Boldyreva M.S. New assortment lines of meat food products using rabbit slaughter by-products	166
Kuchikhin Yu.A., Razmochaev E.A., Kochetkov N.I., Nikiforov-Nikishin D.L., Yevseyev E.V. The use of cold-pressed linseed oil in combination with white lupine, which has undergone barohydrothermal treatment, as part of compound feeds for Rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	174
El-Suhaimi S.A.A., Oleneva Z.A., Toshev A.D. Evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of peppermint, ginger and rosemary extracts	182
El-Suhaimy S.A.A., Oleneva Z.A., Toshev A.D., Tazeddinova D. The effect of peppermint extract on the storage of meat semi-finished products	189

- Klimuk A.A., Sergazieva O.D., Ponomarev A.K., Beketov S.V., Larkin A.D., Minaenko A.P.** 199
Comparison of technological characteristics of clarias gariepinus hybrid progress with the parental individuals
- Kryukova O.N., Bushuev A.I., Kovaleva T.S., Yakovleva S.F.** Effects of sport and physical activity 207
on the human intestinal microbiome
- Veber A.L., Leonova S.A.** Possibility of using a plant dispersion from legume grains to improve the 213
properties of wheat bread
- Pashina L.L., Reshetnik E.I., Pakusina A.P., Griбанова S.L., Derzhapolskaya Yu.I.,** 224
Shkolnikov P.N. Properties of soybeans as a guarantee of economic accessibility of the product
- Derkanosova A.A., Kurchayeva E.E., Panina E.V.** Technological approaches to the production of 237
minced meat semi-finished products enriched with composites of animal and plant origin
- Rozhnov E.D., Shkolnikova M.N., Abbazova V.N., Averyanova E.V., Romanyuk T.I.,** 248
Ososko P.K. Targeted fermentolysis of pumpkin pulp as a tool for developing the quality of semi-finished products
- Shaginova L.O., Zabodalova L.A., Demianenko T.F., Domoroshchenkova M.L.,** 255
Krylova I.V. Effects of Ultrasonic Treatment on Protein Extractability During Complex Processing of Sunflower Seeds

CHEMICAL TECHNOLOGY

- Alekseev M.V., Kudryashov V.S., Avtsinov I.A., Gavrilov A.N., Ivanov A.V., Kozenko I.A.,** 262
Medvedev A.V. Development and implementation of a digital control system for a former-vulcanizer
- Filatova M.V., Shevtsov Yu.V., Kazakov T.I., Savvina E.A., Oleynikov S.V.** Low molecular weight 269
polyisobutylene (PIB): industrial and economic applications, market analysis
- Tverdov I.D., Yamaleeva E.S., Gotlib E.M., Kholin K.V., Sultanov T.P.** Study of phase 277
transformations in the process of solid-phase synthesis of diopside based on rice husk ash
- Studenikina L.N., Kolenko I.V., Uglova V.E., Melnikov A.A.** Technological aspects of obtaining 284
materials based on thermoplastic starch

Процессы и аппараты пищевых производств

Processes and devices for food production

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-2-17-24>

Оригинальная статья/Research article

УДК 621.793.74

Open Access

Available online at vestnik-vsuet.ru

Технология восстановления цилиндрических и винтовых поверхностей транспортера плазменным напылением покрытий

Сергей Ю. Жачкин ^{1, 2}	zhach@list.ru	 0000-0002-1844-5011
Григорий И. Трифонов ²	trifonov_gi@mail.ru	 0000-0002-7739-5587
Галина Н. Егорова ³	egorovahp@gmail.com	 0000-0002-9907-9649

1 Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия

2 Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54А, г. Воронеж, 394064, Россия

3 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В условиях серьезной загрузки отечественных предприятий, в особенности ремонтно-восстановительных центров и цехов, особо важной задачей становится совершенствование процесса различных машин и технологий по их восстановлению. Так, на современном этапе особую актуальность приобретает создание новых технологий, обеспечивающих качественное восстановление изношенных поверхностей деталей, а также создание композитных покрытий с необходимыми эксплуатационными свойствами. С экономической точки зрения данный вопрос весьма остро стоит в рамках государственной программы импортозамещения, поскольку как показывает практика, срок службы восстановленных деталей машин достигает уровня новых, при этом стоимость таких деталей в разы меньше. В работе представлены результаты исследований, направленные на получение технологических режимов плазменного напыления как для винтовых, так и для цилиндрических поверхностей детали (шнека) при его восстановлении. Проведен корреляционный анализ полученных данных по влиянию режимов напыления на адгезию покрытия с целью выявления мультиколлинеарных связей. Также проведен регрессионный анализ, по итогу которого были получены уравнения, которые описывают влияние на адгезию покрытия режимов напыления. Представлена графическая интерпретация полученных зависимостей в виде функций желательности, что позволило оценить характер и степень влияния режимов напыления на значения адгезии получаемого покрытия. Кроме того, используя существующие программные комплексы, были получены диапазоны единых технологических режимов для напыления рабочих поверхностей шнека. Проведены измерения твердости и износостойкости покрытия. Полученные результаты проведенного исследования позволяют рекомендовать технологические режимы с назначенным составом материала напыления для восстановления изношенных поверхностей шнеков транспортирующих конвейеров, которые весьма активно используются в авиа- и машиностроении.

Ключевые слова: восстановление, плазменное напыление, композитное покрытие, технологические режимы, адгезия, твердость, износостойкость.

Technology of restoration of cylindrical and screw surfaces of the conveyor by plasma spraying of coatings

Sergey Yu. Zhachkin ^{1, 2}	zhach@list.ru	 0000-0002-1844-5011
Grigory I. Trifonov ²	trifonov_gi@mail.ru	 0000-0002-7739-5587
Galina N. Egorova ³	egorovahp@gmail.com	 0000-0002-9907-9649

1 Voronezh State Agrarian University, 1 Michurina str., Voronezh, 394087, Russia

2 The Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 54A Starye Bolshevikov str., Voronezh, 394064, Russia

3 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av. 19, Voronezh, 394036, Russia

Abstract. In conditions of serious workload of domestic enterprises, especially repair and restoration centers and workshops, improving the process of various machines and technologies for their restoration becomes a particularly important task. Thus, at the present stage, the creation of new technologies that provide high-quality restoration of worn surfaces of parts, as well as the creation of composite coatings with the necessary performance properties, is of particular relevance. From an economic point of view, this issue is very acute within the framework of the state import substitution program, since, as practice shows, the service life of restored machine parts reaches the level of new ones, while the cost of such parts is several times lower. The paper presents the results of research aimed at obtaining technological modes of plasma spraying for both helical and cylindrical surfaces of a part (screw) during its restoration. A correlation analysis of the obtained data on the effect of spraying modes on coating adhesion was carried out in order to identify multicollinear relationships. A regression analysis was also carried out, as a result of which equations were obtained that describe the effect of spraying modes on the adhesion of the coating. A graphical interpretation of the obtained dependencies in the form of desirability functions is presented, which made it possible to evaluate the nature and degree of influence of spraying modes on the adhesion values of the resulting coating. In addition, using existing software systems, ranges of uniform technological modes for spraying the working surfaces of the screw were obtained. The hardness and wear resistance of the coating were measured. The results of the study allow us to recommend technological modes with the prescribed composition of the spraying material for restoring worn surfaces of the screws of transport conveyors, which are very actively used in aircraft and mechanical engineering.

Keywords: restoration, plasma spraying, composite coating, technological modes, adhesion, hardness, wear resistance.

Для цитирования

Жачкин С.Ю., Трифонов Г.И., Егорова Г.Н. Технология восстановления цилиндрических и винтовых поверхностей транспортера плазменным напылением покрытий // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 17–24. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-17-24

For citation

Zhachkin S.Yu., Trifonov G.I., Egorova G.N. Technology of restoration of cylindrical and screw surfaces of the conveyor by plasma spraying of coatings. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 17–24. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-17-24

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В условиях серьезной загруженности отечественных предприятий, в особенности ремонтно-восстановительных центров и цехов, особо важной задачей становится совершенствование процесса различных машин и технологий по их восстановлению. Так, на современном этапе особую актуальность приобретает создание новых технологий, обеспечивающих качественное восстановление изношенных поверхностей деталей, а также создание композитных покрытий с необходимыми эксплуатационными свойствами. С экономической точки зрения данный вопрос весьма остро стоит в рамках государственной программы импортозамещения, поскольку как показывает практика, срок службы восстановленных деталей машин достигает уровня новых, при этом стоимость таких деталей в разы меньше.

Ярким представителем интенсивно изнашиваемого агрегата промышленного оборудования является транспортирующий шнековый конвейер, у которого главный элемент конструкции, подвергаемый наибольшему износу – шнек. Так, известно [1–5], что завод изготовитель закладывает ресурс при производстве транспортирующих шнеков, который составляет до 350 часов, однако, условия эксплуатации, которые весьма активно воздействуют на рабочие поверхности вала шнека и его винтовую поверхность, снижают данный показатель и, как правило, ресурс работы шнека достигает до 170 часов. Возникает необходимость в его внеплановой замене, а поскольку завод изготовитель, согласно срокам гарантийного ремонта, может поставлять лишь один шнек на замену после его отработки, то возникают внеплановые экономические затраты на покупку нового шнека, цена которого в среднем достигает до 35 тысяч рублей, при этом стоит учитывать стоимость проведения ремонтно-восстановительных работ.

Следовательно, возникает задача по восстановлению и упрочнению цилиндрической и винтовой поверхностей шнека с целью повышения сроков службы промышленного конвейера, а также для сохранения финансовых активов производства.

Цель работы – разработать технологию восстановления цилиндрической и винтовой поверхностей шнека на основе плазменного напыления композитных покрытий с высокими показателями эксплуатационных свойств.

Задачи исследования

1) в установленных диапазонах технологических режимов напыления спланировать и осуществить ряд экспериментов по исследованию адгезии покрытия, как на винтовых, так и на цилиндрических поверхностях шнека;

2) получить регрессионные уравнения зависимости адгезии покрытия на винтовой и цилиндрической поверхностях шнека от технологических режимов напыления;

3) произвести рациональный подбор технологических режимов плазменного напыления, удовлетворяющих нанесению композитного покрытия, как на винтовые, так и на цилиндрические поверхности шнека.

Для решения поставленных задач была применены методы, описанные в методологии экспериментальных исследований [6–8]. Спланирован и реализован многофакторный эксперимент по центральному композиционному рототабельному плану [9].

При проведении экспериментальных исследований не учитывался способ подготовки поверхности детали под нанесение покрытия, так как задача исследования состояла не в нахождении конкретного значения адгезии покрытия к основе, а в определении режимов напыления, обеспечивающих ее максимальную величину. Кроме того, характеристики плана эксперимента выбирались из условия получения композитных покрытий со сжимающими остаточными напряжениями.

Материалы и методы

Исследования проводились на образцах, изготовленных по ГОСТ 103–2006 толщиной 20 мм и шириной 75 мм из стали 45, а также на цилиндрических образцах согласно ГОСТ 1497–84 (ISO 6892–84) диаметр которых составлял 50 мм ($D = 50$ мм), ввиду того, что допускается применение при испытании пропорциональных образцов других размеров.

Для нанесения исследуемых покрытий использовалась универсальная установка плазменного напыления УПУ-3Д с плазмотроном ПНК-50. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газа был выбран аргон.

Поскольку главной задачей исследования состояла в определении режимов напыления, обеспечивающих максимальную величину адгезии покрытия с винтовой и цилиндрической основой, то характер нанесения покрытия имел свои особенности.

Для напыления винтовых и цилиндрических поверхностей образцов были назначены следующие режимы [10, 11]: I – сила тока дуги плазмотрона, 200–250 А; L – дистанция плазменного напыления, 50–150 мм; n – скорость вращения образца, 35–55 об/мин; s – подача, 4–6 мм/об; v – скорость перемещения плазмотрона, 3–7 мм/мин; Q – расход плазмообразующего газа (аргона) 0,8–1,8 м³/с; G – расход материала напыления, 0,3–0,5 кг/с.

В качестве материала напыления была назначена порошковая смесь, состоящая из 76,5%

порошок ПР-НХ17СР4 фракцией 40–64 мкм и 23,5% порошка карбида титана фракцией 63–80 мкм (73,6 мкм) [12]. Основным свойством покрытия из выбранного материала напыления является высокая стойкость к абразивному и эрозионному износу. В работах [13, 14] детально представлены результаты и выводы, характеризующие состав данной порошковой композиции.

После проведения напыления образцов проводились измерения адгезии, твердости и износостойкости полученных покрытий на стандартизированном и сертифицированном оборудовании (твердомер ПМТ-3, Макро Скретч Тестер Revetest Express, машина трения СМЦ-2).

Результаты исследований

Характеристики плана эксперимента выбирались из условия получения покрытий со сжимающими остаточными напряжениями и максимальной прочностью сцепления покрытия с основой. После проведения предварительных экспериментов, были составлены уровни варьирования факторов (таблица 1).

После проведения экспериментов и обработки полученных данных проводился корреляционный анализ информации, для винтовой поверхности (таблица 2), для цилиндрической поверхности (таблица 3).

Таблица 1.

Уровни варьирования факторов

Table 1.

Levels of variation of factors

Наименование Name	Кодовое обозначение фактора Factor code	Нижний уровень Lower level	Средний уровень Middle level	Верхний уровень Upper level
Сила ток дуги плазматрона I , А Plasmatron arc current strength I , A	X ₁	200	225	250
Дистанция плазменного напыления L , мм Plasma spraying distance L , mm	X ₂	50	100	150
Скорость вращения образца n , об/мин Sample rotation speed n , rpm	X ₃	35	45	55
Подача s , мм/об Feed s , mm/rev	X ₄	4	5	6
Скорость перемещения плазматрона v , мм/мин Plasmatron moving speed v , mm/min	X ₅	3	5	7
Расход плазмообразующего газа, Q , л/с Plasma-forming gas consumption, Q , l/s	X ₆	0,8	1,3	1,8
Расход напыляемого материала, G , г/с Consumption of sprayed material, G , g/s	X ₇	0,3	0,4	0,5

Таблица 2.

Корреляционный анализ влияния режимов напыления на адгезию покрытия для винтовой поверхности

Table 2.

Correlation analysis of the effect of spraying modes on the adhesion of the coating for a screw surface

	Средние Mean	Ст. откл. St. Der.	У	X ₁	X ₂	X ₅	X ₆	X ₇
У	308,500	14,449	1,000	0,633	-0,492	-0,281	0,316	-0,422
X ₁	225,000	25,400	0,632	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
X ₂	100,000	50,800	-0,492	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000
X ₅	5,000	2,032	-0,281	0,000	0,000	1,000	-0,000	0,000
X ₆	1,300	0,508	0,216	0,000	0,000	-0,000	1,000	-0,000
X ₇	0,400	0,101	-0,422	0,000	0,000	0,000	-0,000	1,000

Таблица 3.

Корреляционный анализ влияния режимов напыления на адгезию покрытия для цилиндрической поверхности

Table 3.

Correlation analysis of the effect of spraying modes on coating adhesion for a cylindrical surface

	Средние Mean	Ст. откл. St. Der.	У	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₆	X ₇
У	316,500	14,907	1,000	0,608	-0,473	-0,304	-0,236	0,304	0,405
X ₁	225,000	25,197	0,608	1,000	0,000	-0,000	0,000	0,000	0,754
X ₂	100,000	50,395	-0,473	0,000	1,000	-0,000	0,000	0,000	-0,000
X ₃	45,000	10,079	-0,304	-0,000	-0,000	1,000	0,000	0,000	-0,000
X ₄	5,000	1,008	-0,236	0,000	0,000	0,000	1,000	-0,000	-0,000
X ₆	1,300	0,504	0,204	0,000	0,000	0,000	-0,000	1,000	-0,000
X ₇	0,400	0,101	0,405	0,754	-0,000	-0,000	-0,000	-0,000	1,000

Из таблицы 2 видно, что из представленных факторов оказывают влияние на адгезию композитного покрытия лишь – X₁, X₂, X₇.

Для цилиндрической же поверхности выявлена мультиколлинеарная связь между параметрами X₁ и X₇, и, следовательно, учитывая аспекты теории эксперимента [7], согласно

таблицы 3 на адгезию покрытия оказывают влияние факторы – X₁, X₂, X₃.

Затем проводился регрессионный анализ по влиянию режимов плазменного напыления на адгезию покрытий на винтовых (таблица 4) и цилиндрических поверхностях (таблица 5).

Таблица 4.

Регрессионный анализ влияния режимов напыления на адгезию покрытия на винтовой поверхности

Table 4.

Regression analysis of the effect of spraying modes on the adhesion of the coating on the screw surface

	σ парам.	σ ст. ош.	σ t	σ p	-95,00% дов. пр.	+95,00% дов. пр.	σ Beta(B)	σ ст. ош. B	-95,00% дов. пр.	+95,00% дов. пр.
Св. член Free term	306,375	0,236	1299,839	0,000	305,875	306,875	-	-	-	-
I	8,375	0,236	35,532	0,000	7,875	8,875	0,869	0,024	0,817	0,921
L	-3,958	0,236	-16,794	0,000	-4,458	-3,459	-0,411	0,024	-0,463	-0,359
m	-1,792	0,236	-7,601	0,000	-2,291	-1,292	-0,186	0,024	-0,238	-0,134
$I \times L$	1,375	0,236	5,834	0,000	0,875	1,875	0,143	0,024	0,091	0,194
$I \times m$	0,875	0,236	3,712	0,002	0,375	1,375	0,091	0,024	0,039	0,142
$L \times m$	-0,458	0,236	-1,945	0,069	-0,958	0,041	-0,047	0,024	-0,099	0,004
$I \times L \times m$	0,208	0,236	0,884	0,390	-0,291	0,708	0,021	0,024	-0,030	0,073

В результате регрессионного анализа данных были сформированы регрессионные уравнения в кодированных значениях

$$Y_1 = 297,12 + 27,79X_1 - 13,95X_2 - 4,21X_3 + 1,04X_1X_3 - 1,62X_2X_3 + 1,21X_1X_2X_3, \quad (1)$$

$$Y_2 = 306,37 + 8,37X_1 - 3,95X_2 - 1,79X_7 + 1,37X_1X_2 + 0,87X_1X_7 - 0,45X_2X_7 + 0,21X_1X_2X_7. \quad (2)$$

где Y_1 и Y_2 – адгезия покрытия, сформированного на цилиндрической и винтовой поверхностях.

Таблица 5.

Регрессионный анализ влияния режимов напыления на адгезию покрытия на цилиндрической поверхности

Table 5.

Regression analysis of the influence of spraying modes on coating adhesion on cylindrical surface

	σ парам.	σ ст. ош.	σ t	σ p	-95,00% дов. пр.	+95,00% дов. пр.	σ Beta(B)	σ ст. ош. B	-95,00% дов. пр.	+95,00% дов. пр.
Св. Член Free term	297,125	1,080	275,084	0,000	294,835	299,415	-	-	-	-
I	27,792	1,080	25,730	0,000	25,502	30,081	0,875	0,034	0,803	0,947
L	-13,958	1,080	-12,923	0,000	-16,248	-11,668	-0,439	0,034	-0,511	-0,367
n	-4,208	1,080	-3,896	0,001	-6,498	-1,918	-0,132	0,034	-0,204	-0,060
$I \times L$	1,042	1,080	0,964	0,349	-1,248	3,331	0,033	0,034	-0,039	0,105
$I \times n$	-0,042	1,080	-0,038	0,970	-2,331	2,248	-0,001	0,034	-0,073	0,071
$L \times n$	-1,625	1,080	-1,504	0,152	-3,915	0,665	-0,051	0,034	-0,123	0,021
$I \times L \times n$	1,208	1,080	1,119	0,280	-1,081	3,498	0,038	0,034	-0,034	0,110

Рассматривая уравнение (1), расчетный показатель критерия Фишера $F_p = 0,376$, что меньше табличного $F_{табл} = 3,2$, следовательно, уравнение адекватно. Расчетный показатель критерия Стьюдента оказался больше критического, следовательно, полученное уравнение значимо. Кроме того, видно, что исследуемая зависимость не линейная, при этом связь между исследуемыми параметрами (факторами) весьма сильная – множественный коэффициент корреляции 0,99.

Рассматривая уравнение (2), расчетный показатель критерия Фишера $F_p = 1,986$, что меньше табличного $F_{табл} = 3,2$, следовательно, уравнение адекватно. Из уравнения (2) видно,

что зависимость адгезии получаемого покрытия от режимов его напыления не линейная, при этом связь весьма сильная, поскольку множественный коэффициент корреляции достигает значения 0,995. Критерий Стьюдента, при проверке уравнения на значимость, оказался больше критического $t_{крит} = 2,12$.

Следовательно, уравнения (1) и (2) согласно критериям Фишера и Стьюдента – адекватны и значимы.

В заводских условиях принято использовать натуральные значения режимов напыления и параметров покрытия, поэтому полученные регрессионные уравнения (1) и (2) запишем следующим образом

$$\sigma_1 = 93,86 + 1,11I - 0,28L - 0,42n, \quad (3)$$

$$\sigma_2 = 302,082 + 0,086I - 0,33L - 96,2m + 0,001IL + 0,34Im. \quad (4)$$

Полученные уравнения (3) и (4) можно графически визуализировать в виде функций желательности (рисунок 1).

Беря во внимание экономическую составляющую восстановления шнеков, а именно то, что необходимо использовать имеющийся ресурс (площади, станки, расходные материалы) весьма

рационального, то данный вид деталей обрабатывается за один проход, то есть происходит одновременное воздействие на цилиндрические и винтовые поверхности. Следовательно, возникает задача о назначении единых технологических режимов нанесения покрытий, как для винтовых, так и для цилиндрических поверхностей шнека.

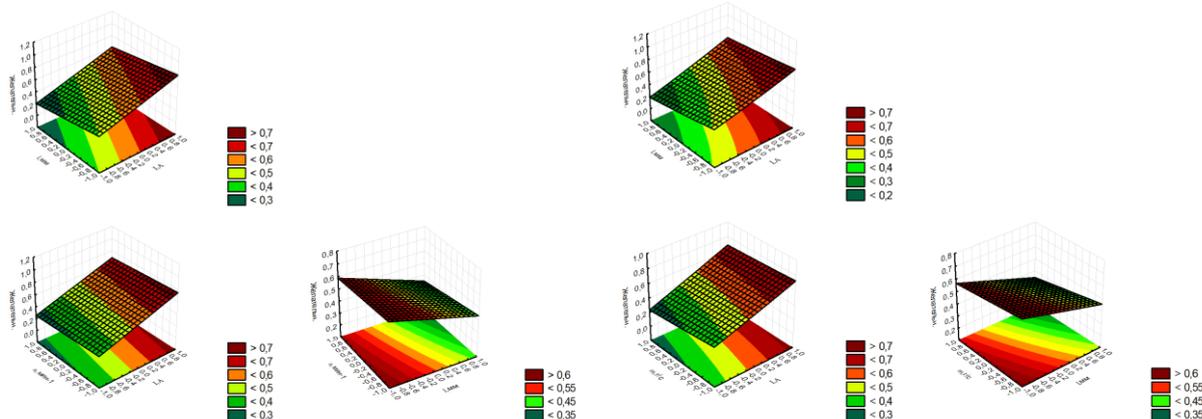


Рисунок 1. Визуализация функции желательности: а) для уравнения (3); б) для уравнения (4)
Figure 1. Visualization of the desirability function: a) for equation (3); b) for equation (4)

Используя программный комплекс «MathCad» [15] решаем поставленную задачу с уравнениями (3) и (4) (рисунок 2).

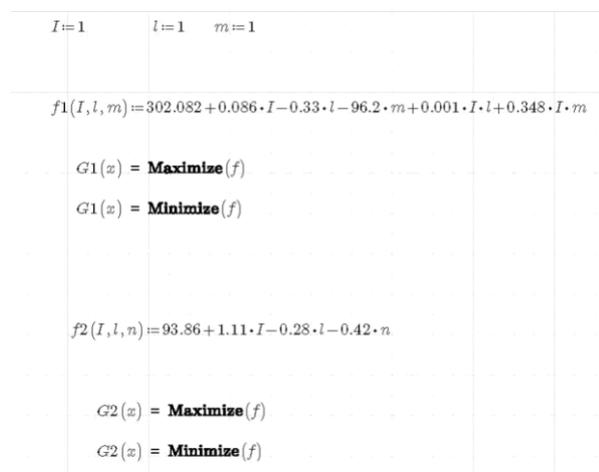


Рисунок 2. Постановка задачи в программном комплексе «MathCad»
Figure 2. Problem statement in the MathCad software package

Преобразование полученных данных производим в программе «Excel» [16].

В итоге получаем диапазоны режимов плазменного напыления для восстановления рабочих поверхностей шнека композитным покрытием [17]: сила тока дуги плазматрона I , 233–248 А; дистанция напыления L , 81–83 мм; расход напыляемого материала m , 0,4–0,5 г/с; скорость вращения детали n , 35–37 об/мин.

Обсуждение результатов

С целью подтверждения изысканий об адгезии покрытия были проведены исследование, используя метод скрэтч тестирования [18] с постоянной нагрузкой в 34 Н. Результаты представлены на рисунке 3а. У покрытия из порошкового материала [12, 17] разрушений и трещин не наблюдается.

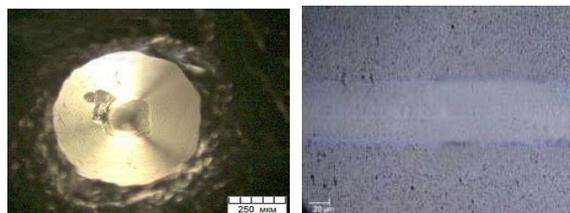


Рисунок 3. Результаты измерений: (а) царапина покрытия; (б) поверхность образца после измерения твердости

Figure 3. Measurement results: (a) coating scratch; (b) the surface of the sample after hardness measurement

Твердость композитного покрытия (HRC) измерялась на твердомере ПМТ-3 при нагрузке 50 Н по методу Роквелла [19] (рисунок 3б). По результатам измерений твердость составила 64–66 HRC.

Определение износостойкости композитного покрытия проводилось на машине трения СМЦ-2 [20] согласно ГОСТ 23.208–79. Использовался абразивный материал – электрокорунд зернистостью 16-П по ГОСТ 3647–80 с относительным содержанием влаги не более 0,15%. Относительная износостойкость составила 3.39.

Заключение

По итогу проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1) На основе корреляционного и регрессионного анализов был осуществлен подбор технологических режимов плазменного напыления, оказывающих непосредственное влияние на величину адгезии получаемого покрытия на винтовой и цилиндрической поверхностях шнека.

2) Проведены эксперименты, направленные на исследование адгезии покрытия, по итогу которых были получены регрессионные уравнения в кодированных и натуральных значениях. Получены графические интерпретации зависимости адгезии нанесенного покрытия от технологических режимов напыления в виде функций желательности, позволяющие оценить характер и степень влияния режимов на значения адгезии.

3) Произведен рациональный подбор технологических режимов плазменного напыления, удовлетворяющих нанесению композитного покрытия, как на винтовые, так и на цилиндрические поверхности шнека.

4) Исследована адгезия покрытия на экспериментальных образцах с применением метода

скрэтч тестирования, который показал низкую степень трещинообразования. Проведены измерения твердости и износостойкости покрытия, результат которых дал понимание о значительном превосходстве по указанным параметрам в сравнении с существующими современными аналогами.

Полученные результаты проведенного исследования позволяют рекомендовать технологические режимы с назначенным составом материала напыления для восстановления изношенных поверхностей шнеков транспортирующих конвейеров, которые весьма активно используются в авиа- и машиностроении.

Таким образом, проведя необходимые испытания и ряд экспериментов были сделаны выводы о том, что разработанные технологические режимы плазменного напыления с испытываемым порошковым составом [8, 10] необходимо рекомендовать на промышленные предприятия авиа- и машиностроения с целью рационализации процессов восстановления и ремонта изношенного оборудования, в частности транспортирующих агрегатов, как шнековый конвейер.

Литература

- 1 Бирюков В.П. Трение, износ и усталость. Москва: Российский университет транспорта, 2021. 227 с.
- 2 Зяблин В.Н., Безуглов А.М. К вопросу оптимизации формы винта шнекового погрузчика // Наука и инновации в современном мире: сборник научных статей. Москва: Издательство «Перо», 2021. С. 45–48.
- 3 Гвоздев А.А. Повышение ресурса узлов трения при ремонте и изготовлении сельскохозяйственной техники с использованием полимерных композиций. Иваново: Ивановский государственный университет, 2019. 256 с.
- 4 Бондарь В.С., Горячева И.Г., Матвиенко Ю.Г. и др. Ресурс материалов и конструкций. Москва: Московский Политех, 2019. 192 с.
- 5 Галиев И.Г., Мухаметшин А.А. Повышение эффективности эксплуатации тракторов в аграрном производстве. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2021. 130 с.
- 6 Дунченко Н.И., Купцова С.В. Планирование и выполнение экспериментальных исследований. Москва: ООО «Сам Полиграфист», 2021. 138 с.
- 7 Большакова Л.В., Яковлева Н.А. Теория проверки статистических гипотез при математико-статистическом исследовании педагогических проблем // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2016. № 4 (72). С. 149–157.
- 8 Усманов Р.Р. Методика экспериментальных исследований в агрономии (с расчетами в программах Excel и Straz). Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. 81 с.
- 9 Петров М.А., Крутина Е.В. Основы теоретических и экспериментальных исследований. Москва: Московский Политех, 2023. 73 с.
- 10 Жачкин С.Ю., Трифонов Г.И., Краснова М.Н., Пеньков Н.А. Моделирование кинематики плазменного напыления на сложнопровильные поверхности // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 128. С. 133–139.
- 11 Трифонов Г.И. Металломатричное композитное покрытие для восстановления и упрочнения поверхностей деталей плазменным напылением // Упрочняющие технологии и покрытия. 2023. Т. 19. № 5(221). С. 225–230.
- 12 Пат. № 2797988, RU, С22С 32/00, С23С 4/10. Порошкообразный материал для плазменного напыления композитных покрытий / Трифонов Г.И., Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А. № 2022108222; Заявл. 28.03.2022; Опубл. 13.06.2023.
- 13 Трифонов Г.И., Пеньков Н.А., Дерканосова А.А., Краснова М.Н. Упрочнение покрытия плазменного напыления дисперсной дополнительной фазой карбида титана // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 3(93). С. 191–197. doi: 10.20914/2310-1202-2022-3-191-197
- 14 Жачкин С.Ю., Трифонов Г.И., Егорова Г.Н., Белых А.Г. Исследование критериев качества двухфазных композитных покрытий на основе железа, формируемых методом плазменного напыления // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 4(90). С. 261–268. doi: 10.20914/2310-1202-2021-4-261-268

- 15 Qiryigitov B.A. Characterization different methods of approximation and interpolation and their implementation in Mathcad and Matlab // Экономика и социум. 2020. №. 12–1(79). P. 234–236.
- 16 Жидков А.А., Барсукова А.Е., Караганова К.А. и др. Значение оптимизации при работе в Excel // Современные научные исследования и инновации. 2019. № 12(104). С. 7.
- 17 Пат. № 2782903, RU, С23С 4/134, 4/10. Способ плазменного напыления покрытий на рабочие поверхности шнека / Жачкин С.Ю., Трифонов Г.И., Пеньков Н.А. № 2022108220; Заявл. 28.03.2022; Опубл. 07.11.2022.
- 18 Шугуров А.Р., Акулинкин А.А., Панин А.В., Сергеев В.П. и др. Исследование трещиностойкости покрытий TiAlN методом скретч-тестирования // Физическая мезомеханика. 2015. Т. 18. №. 6. С. 66-74. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-treschinostoykosti-pokrytiy-tialn-metodom-skretch-testirovaniya>
- 19 Пучков П.В. К вопросу о методах определения твердости материалов // NovaInfo. Ru. 2018. Т. 1. № 90. С. 44–48.
- 20 Загидуллина Д.Р., Ибатуллин И.Д., Емельянов С.Г. Устройства для испытаний на трение и изнашивание // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. №. 4-2. С. 285-290. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustroystva-dlya-ispytaniy-na-trenie-i-iznashivanie>

References

1. Biryukov V.P. Friction, wear and fatigue. Moscow: Russian University of Transport, 2021. 227 p. (in Russian).
2. Zyablin V.N., Bezuglov A.M. On the issue of optimizing the shape of a screw loader. Science and innovation in the modern world: collection of scientific articles. Moscow: Pero Publishing House, 2021. pp. 45–48. (in Russian).
3. Gvozdev A.A. Increasing the service life of friction units during the repair and manufacture of agricultural machinery using polymer compositions. Ivanovo, Ivanovo State University, 2019. 256 p. (in Russian).
4. Bondar V.S., Goryacheva I.G., Matvienko Yu.G. etc. Resource of materials and structures. Moscow, Moscow Polytechnic, 2019. 192 p. (in Russian).
5. Galiev I.G., Mukhametshin A.A. Increasing the efficiency of tractor operation in agricultural production. Moscow, Limited Liability Company "Ruseins", 2021. 130 p. (in Russian).
6. Dunchenko N.I., Kuptsova S.V. Design and execution of experimental studies. Moscow, OOO Sam Polygraphist, 2021. 138 p. (in Russian).
7. Bolshakova L.V., Yakovleva N.A. The theory of testing statistical hypotheses in mathematical and statistical research of pedagogical problems. Bulletin of the St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2016. no. 4 (72). pp. 149-157. (in Russian).
8. Usmanov R.R. Methods of experimental research in agronomy (with calculations in Excel and Straz). Moscow, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after. K.A. Timiryazeva, 2022. 81 p. (in Russian).
9. Petrov M.A., Krutina E.V. Fundamentals of theoretical and experimental research. Moscow, Moscow Polytechnic, 2023. 73 p. (in Russian).
10. Zhachkin S.Yu., Trifonov G.I., Krasnova M.N., Penkov N.A. Modeling the kinematics of plasma spraying on complex-profile surfaces. Proceedings of GOSNITI. 2017. vol. 128. pp. 133-139. (in Russian).
11. Trifonov G.I. Metal matrix composite coating for restoration and strengthening of surfaces of parts by plasma spraying. Hardening technologies and coatings. 2023. vol. 19. no. 5(221). pp. 225–230. (in Russian).
12. Trifonov G.I., Zhachkin S.Yu., Penkov N.A. Powdered material for plasma spraying of composite coatings. Patent RF, no. 2797988, 2023.
13. Trifonov G.I., Penkov N.A., Derkanosova A.A., Krasnova M.N. Strengthening of plasma spraying coating with a dispersed additional phase of titanium carbide. Proceedings of VSUET. 2022. vol. 84. no. 3(93). pp. 191–197. doi: 10.20914/2310–1202–2022–3–191–197 (in Russian).
14. Zhachkin S.Yu., Trifonov G.I., Egorova G.N., Belykh A.G. Study of quality criteria for two-phase iron-based composite coatings formed by plasma spraying. Proceedings of VGUET. 2021. vol. 83. no. 4(90). pp. 261–268. doi: 10.20914/2310–1202–2021–4–261–268 (in Russian).
15. Qiryigitov B.A. Characterization of different methods of approximation and interpolation and their implementation in Mathcad and Matlab. Economy and Society. 2020. no. 12–1(79). pp. 234–236. (in Russian).
16. Zhidkov A.A., Barsukova A.E., Karaganova K.A. and others. The importance of optimization when working in Excel. Modern scientific research and innovation. 2019. no. 12(104). pp. 7. (in Russian).
17. Zhachkin S.Yu., Trifonov G.I., Penkov N.A. Method of plasma spraying of coatings on the working surfaces of a screw. Patent RF, no. 2782903, 2022.
18. Shugurov A.R., Akulinkin A.A., Panin A.V., Sergeev V.P. et al. Study of the crack resistance of TiAlN coatings by scratch testing. Physical mesomechanics. 2015. vol. 18. no. 6. pp. 66-74. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-treschinostoykosti-pokrytiy-tialn-metodom-skretch-testirovaniya> (in Russian).
19. Puchkov P.V. On the issue of methods for determining the hardness of materials. NovaInfo. Ru. 2018. vol. 1. no. 90. pp. 44–48. (in Russian).
20. Zagidullina D.R., Ibatullin I.D., Emelyanov S.G. Devices for testing friction and wear. News of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2016. vol. 18. no. 4-2. pp. 285-290. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustroystva-dlya-ispytaniy-na-trenie-i-iznashivanie>

Сведения об авторах

Сергей Ю. Жачкин д.т.н., профессор, кафедра эксплуатации транспортных и технологических машин, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, ул. Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, zhach@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1844-5011>

Григорий И. Трифонов к.т.н., старший научный сотрудник, НИЦ (ППО и УА ВВС), Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54А, г. Воронеж, 394064, Россия, trifonov_gi@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-7739-5587>

Галина Н. Егорова к.п.н., доцент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, egorovahp@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-9907-9649>

Вклад авторов

Сергей Ю. Жачкин разработка концепции исследования, проведение экспериментальных исследований.

Григорий И. Трифонов обзор литературных источников по исследуемой проблеме, описание полученных результатов.

Галина Н. Егорова написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey Yu. Zhachkin Dr. Sci. (Engin.), professor, operation of transport and technological machines department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 1, Michurina, Voronezh, 394087, Russia, zhach@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1844-5011>

Grigory I. Trifonov Cand. Sci. (Engin.), research center, Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, 54A Starye Bolshevikov str., Voronezh, 394064, Russia, trifonov_gi@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-7739-5587>

Galina N. Egorova Cand. Sci. (Ped.), associate professor, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, egorovahp@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-9907-9649>

Contribution

Sergey Yu. Zhachkin development of the research concept, conducting experimental studies

Grigory I. Trifonov review of the literature sources on the problem under study, a description of the results obtained

Galina N. Egorova wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/03/2024	После редакции 20/03/2024	Принята в печать 18/04/2024
Received 01/03/2024	Accepted in revised 20/03/2024	Accepted 18/04/2024

Расчет процесса фракционирования порошка в роторе трубчатой центрифуги

Вера А. Грибкова	¹	vera_gribkova@list.ru	 0000-0002-5079-8132
Евгений В. Семенов	¹	sem-post@mail.ru	 0000-0001-6203-1783
Анатолий А. Славянский	¹	anatoliy4455@ya.ru	 0000-0002-0262-8841
Дарья П. Митрошина	¹	d_mitr96@mail.ru	 0000-0002-8724-3368
Сергей Т. Антипов	²	ast@vsuet.ru	 0000-0003-4299-1538

¹ Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной Вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Предлагаемая вниманию читателя центрифуга применяется в самых разнообразных отраслях промышленности. С технической точки зрения её отличает удлиненный, сплошной, движущийся с высокой частотой вращения ротор, откуда следует высокое значение фактора разделения. Данная машина с трубчатым ротором часто используется при обработке жидкостных обладающих уникальными свойствами сред, с целью их разделения (с частицами размером 0,5-5 мкм, объемной концентрацией твердого не более 2 %), а также в тех случаях, когда эмульсии разделяются с трудом; в пищевых производствах – при обработке фруктовых соков, бактериальных бульонов. Важным сегментом научно-технической области, когда прибегают к использованию трубчатой центрифуги на практике, является фракционирование на их основе взвесей по величине частиц твердой фазы, а также при дисперсионном анализе высокодисперсных и коллоидных систем. В тоже время следует подчеркнуть, что, хотя с позиций оптимизации процесса центрифугирования, формирования слоя осадка на стенке ротора, исследуемая здесь проблема и поднималась в работах таких учёных, как Соколов В.И., Беккер Е., Александров О.Е. и др., проработана все еще недостаточно. В данной статье на базе научного положения о заданном движении частицы с так называемым критическим диаметром в тонкослойном жидкостном потоке, предлагается методика поэтапного фракционирования полидисперсного взвешенного в жидкости порошка в роторе трубчатой центрифуги, с целью выделить из него частицы данного размера. На пробном измельченном материале проводится численное моделирование процесса фракционирования, что может быть использовано в практических условиях.

Ключевые слова: центрифугирование, разделение, трубчатая центрифуга, суспензия, фракционирование

Calculation of the powder fractionation process in a tubular centrifuge rotor

Vera A. Gribkova	¹	vera_gribkova@list.ru	 0000-0002-5079-8132
Evgeny V. Semenov	¹	sem-post@mail.ru	 0000-0001-6203-1783
Anatoly A. Slavyansky	¹	anatoliy4455@ya.ru	 0000-0002-0262-8841
Daria P. Mitroshina	¹	d_mitr96@mail.ru	 0000-0002-8724-3368
Sergey T. Antipov	²	ast@vsuet.ru	 0000-0003-4299-1538

¹ Moscow State University of Technology and Management. K.G. Razumovsky (the First Cossack University), St. Zemlyanoy Val, 73, 109004, Moscow, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The centrifuge offered to the reader's attention is used in a wide variety of industries. From a technical point of view, it is characterized by an elongated, solid, high-speed rotor that results in a high separation factor. This tubular rotor machine is often used in the processing of liquid media with unique properties, for the purpose of their separation (with particles of 0.5-5 μm in size, with a volume concentration of solids of no more than 2%), as well as in cases where emulsions are difficult to separate; In food production – in the processing of fruit juices, bacterial broths. An important segment of the scientific and technical field, when the use of tubular centrifuges in practice, is the fractionation of suspended solids based on them, as well as in the dispersion analysis of highly dispersed and colloidal systems. At the same time, it should be emphasized that, although from the standpoint of optimizing the centrifugation process, the formation of a layer of sediment on the rotor wall, the problem studied here was raised in the works of such scientists as Sokolov V.I., Becker E., Aleksandrov O.E. and others, it has not yet been sufficiently worked out. In this article, on the basis of the scientific position on the given motion of a particle with the so-called critical diameter in a thin-layer liquid flow, a method of step-by-step fractionation of polydisperse powder suspended in liquid in the rotor of a tubular centrifuge is proposed in order to isolate particles of a given size from it. Numerical simulation of the fractionation process is carried out on the test crushed material, which can be used in practical conditions.

Keywords: centrifugation, separation, tubular centrifuge, suspension, fractionation.

Для цитирования

Грибкова В.А., Семенов Е.В., Славянский А.А., Митрошина Д.П., Антипов С.Т. Расчет процесса фракционирования порошка в роторе трубчатой центрифуги // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 25–32. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-25-32

For citation

Gribkova V.A., Semenov E.V., Slavyansky A.A., Mitroshina D.P., Antipov S.T. Calculation of the powder fractionation process in a tubular centrifuge rotor. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 25–32. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-25-32

Введение

Центрифуги получили широкое распространение в процессах очистки масел, а также при создании вакцин и сывороток в фармацевтической промышленности, где используют центрифуги марок ОТР-102К-01 и ОТР-151К-01 – машины периодического действия с осветляющим трубчатым ротором [13–20]. С целью осветления суспензий с мелкодисперсной твердой фазой концентрацией не более 2%, и отношением плотностей твердой и жидкой фаз в диапазоне не менее 1,1, предназначены центрифуги марки РТР – 102К – 01.

Помимо этого, трубчатые центрифуги используют и для дисперсионного анализа высокодисперсных систем, а также в случаях, когда необходимо применять машины с малыми рабочими поверхностями. В частности, центрифуги марки ОТР, РТР применяют для осветления суспензий с тонкодисперсной твердой фазой с размером частиц в диапазоне 0,5 – 5 мкм, объемная концентрация их в жидкой фазе не более 1%.

Диаметры роторов промышленных центрифуг – 80 – 150 мм, лабораторных – 40 – 50 мм; производительность – 0,2 – 2 м³/ч. Данный тип машин используют в пищевой, химической, медицинской и других отраслях промышленности.

Следует отметить, что вследствие сравнительной простоты изготовления и надежности в эксплуатации за истекшие 30 лет технические параметры трубчатых центрифуг (диаметр и длина ротора, фактор разделения) практически не менялись.

В теоретическом плане проблема количественного анализа кинетики процесса разделения смесей, применительно к газовой центрифуге, исследовалась в работах [6–12], к жидкостной центрифуге – в работах [1–5]. Несмотря на это, такие вопросы как эволюция дисперсности взвеси при обработке ее во внутриворотном потоке, формировании слоя осадка на стенке ротора, оптимизации процесса центрифугирования и другое проработаны все еще недостаточно.

В связи с этим данная проблема нуждается в дальнейшем углубленном изучении, поскольку в практическом отношении необходимо располагать корректным расчетным аппаратом прогнозирования протекания данного процесса.

Ниже, с новых позиций, предлагается аналитический аппарат в известной степени свободный от отмеченных недостатков и численное моделирование процесса разделения суспензии с целью фракционирования затравочного порошка в рабочем объеме центробежной машины непрерывного действия, относящейся по типу к отстойной центрифуге.

В дальнейшем при анализе процесса седиментации взвеси в роторе центрифуги предполагают, что обрабатываемая суспензия представляет собой слабо концентрированную жидкостную смесь, включающую частицы малого размера и примерно сферической формы. Считают, что ротор центрифуги находится в равномерном движении с угловой скоростью ω , поток ограничен областью $r_0 \leq r \leq R$ (где r_0 и R , соответственно, радиус свободной поверхности жидкости и радиус ротора), $0 \leq z \leq L$ (рисунок 1).

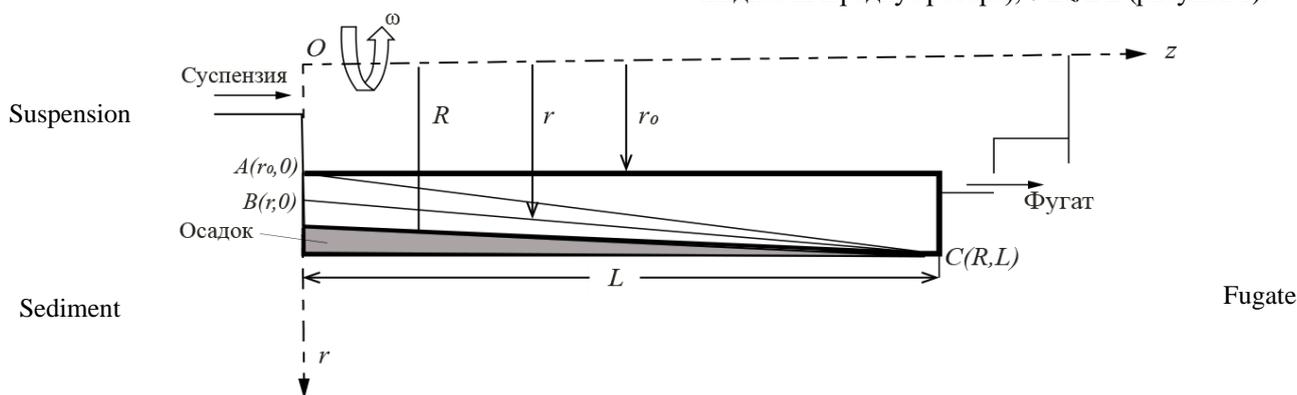


Рисунок 1. Схема ротора трубчатой центрифуги непрерывного действия (в меридиональном сечении)
Figure 1. Diagram of the rotor of a continuous tubular centrifuge (in the meridional section)

По данным ряда работ установлено, что значение числа Рейнольдса во внутриворотном потоке центрифуги в таких случаях невелико. Поэтому режим течения в роторах этих машин следует считать ламинарным. Это создает предпосылки для количественного анализа в аналитической форме кинетики взвеси в потоке, с использованием известной, справедливой для тонкодисперсного порошка, зависимости [2]

$$v_0 = \frac{\omega^2 r \Delta \delta^2}{18\mu}, \quad (1)$$

где $\Delta = \rho_t - \rho_j$, ρ_t , ρ_j – соответственно, плотность твердого и жидкости, кг/м³; и для определенности $\rho_t > \rho_j$, $\Delta > 0$; μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с; δ – диаметр частицы, м; $v_0 = v_r$ – характерная скорость частицы (м/с).

В свою очередь, осевая составляющая скорости потока выбирается по зависимости [2]

$$v_z = \frac{V}{\pi\beta} \left[\frac{R^2 - r^2}{2} + r_0^2 \ln \left(\frac{r_0}{R} \right) \right], \quad (2)$$

где

$$\beta = \frac{R^4}{4} + \frac{3r_0^4}{4} - R^2 r_0^2 - r_0^4, \text{ м}^4; \quad (3)$$

V – расход жидкости, м³/с; $V = Q/3600$, Q – производительность центрифуги, м³/ч.

В таком случае, исходя из дифференциального уравнения траектории пробной частицы $dr/dz = v_r/v_z$, с учетом (1)–(3) приходят к соотношению

$$18\mu V \left[0,5 \left(\frac{R^2}{r} - r \right) + \ln \left(\frac{r}{R} \right) + r_0^2 \frac{1}{r} \right] dr = \pi\beta\omega^2 \Delta\delta^2 dz. \quad (4)$$

Для того чтобы получить зависимость между параметрами потока жидкости и пробной (гипотетической) частицей, перемещающейся по траектории BC (где $B(r, 0)$, $C(R, L)$), уравнение (4) интегрируют слева по r в пределах от r до R , справа по z – в пределах от 0 до L (рисунок 1).

В результате чего получают выражение для так называемого критического диаметра данной частицы

$$\delta(r, \omega, c_0) = \frac{1}{\omega} \sqrt{\gamma V(c_0) l(r)}, \quad (5)$$

где обозначено

$$\gamma = \frac{9\mu}{2\pi\beta L \Delta}, \text{ м}^{-3}\text{с}^{-1};$$

$$l(r) r^2 - R^2 + 2R^2 \ln \left(\frac{R}{r} \right) - 2r_0^2 \ln^2 \left(\frac{R}{r} \right), \text{ м}^2;$$

β рассчитывают по (3).

Величина $\delta_k = \delta_k(r_0)$ – называемый глобальным критическим диаметром – т. е. диаметр частицы, перемещающейся по траектории AC (рисунок 1) (BC – траектория частицы текущим диаметром δ).

Пусть $F(\delta)$ – счётная функция распределения частиц, такая, что

$$F(\delta) = \frac{n(\delta < \delta')}{n_0}, \quad (6)$$

где n – количество частиц размером $\delta < \delta'$, n_0 – количество частиц в исходной суспензии, δ' вычисляется по (5).

В принятом допущении о невысоком значении концентрации твердой фазы в исходной суспензии, согласно результатам [2], коэффициент ε уноса рассчитывается по формуле

$$\varepsilon = \frac{n}{n_0} = \frac{2}{R^2 - r_0^2} \int_{r_0}^R F(\delta(r)) r dr. \quad (7)$$

В свою очередь, коэффициент осветления – относительное число частиц в осадке – вычисляется по зависимости

$$\eta = \frac{2}{R^2 - r_0^2} \int_{r_0}^R \Phi(\delta(r)) r dr,$$

где $\Phi(\delta) = 1 - F(\delta)$, $\Phi(\delta)$ – так называемая характеристическая функция, $F(\delta)$ определяют согласно (7).

Причём, очевидно, что величины ε и η , по определению, связаны соотношением $\varepsilon + \eta = 1$.

Материалы и методы

Объектом исследования являлась (условно) суспензия типа «жидкостная фаза + частицы» затравочного материала с полидисперсной твердой фазой затравки примерно сферической формы. Чтобы путём расчёта выделить из суспензии взвешенные в ней частицы заданного целевого диапазона твердую фазу подвергали процедуре фракционирования, используя для этой цели трубчатую центрифугу.

Расчеты проводили (в дополнение к данным расчетного примера к формуле (2)) на базе параметров: радиус свободной поверхности жидкости $r_0 = 0,015$ м; производительность по исходной жидкости $Q = 0,2; 0,4$ м³/ч; динамической вязкости $\mu = 0,01; 0,04$ Па·с; начальная счётная концентрация твердой фазы в суспензии $c_0 = 0,01 = 1\%$.

В качестве массовой функции распределения твердой фазы в исходной суспензии выбирали (для простоты, по соглашению)

$$F_0(\delta) = \begin{cases} \delta/\delta_{\max} & \text{при } 0 < \delta \leq \delta_{\max} \\ 1 & \text{при } \delta > \delta_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

где, $\delta_{\max} = 10^{-5}$ м.

Предполагается, что пробная двухфазная жидкостная система (типа сахарного утфеля) с объемной концентрацией c_0 твердого и заданной счётной функцией $F(\delta)$ распределения твердой фазы по крупности равномерно перемешана в этой системе, причем плотность ρ_1 твердой фазы превышает плотность ρ жидкостной фазы.

Требуется, обрабатывая эту суспензию в центробежной машине, получить с её помощью частицы размером $\delta \in (\delta_1, \delta_2)$, где δ_1, δ_2 – соответственно – наименьший и наибольший диаметр частиц заданной целевой крупности, другими словами, произвести систематизацию (фракционирование) частиц в заданном размерном диапазоне.

Решение поставленной задачи проводили на базе научного положения о движущейся по заданной траектории частицы с критическим диаметром $\delta_{кр}$ (рисунок 1). А именно, это положение состоит в том, что в рабочем объеме машины частицы размером, превышающие $\delta_{кр}$, осаждаются раньше, чем частицы размером не более, чем $\delta < \delta_{кр}$.

Соответственно, так называемая траектория: *BC* – частицы текущим критическим диаметром, *AC* – частицы глобальным (по Г.И. Бремеру) критическим диаметром (рисунок 1).

Эта (гипотетическая) особенность поведения частицы критическим диаметром в рабочем объеме центрифуги создает предпосылки обосновать математическую модель организации такого режима работы машины, чтобы была обеспечена, в основном, аккумуляция частиц размером $\delta \in (\delta_1, \delta_2)$ в данном объеме.

В теории седиментации по Г.И. Бремеру под понятием «глобальный критический диаметр» понимают научное положение о том, что при разделении суспензии частицы размером не менее чем δ_k , полностью уходят в осадок (одновременно с некоторыми частицами меньшим диаметром).

В соответствии с этим при первой обработке исходной суспензии с параметром управления $\delta_{гп} = \delta_2$ и угловой скоростью ω_1 может быть записан коэффициент уноса

$$\varepsilon_1 = \frac{n}{n_0} = \frac{2}{R^2 - r_0^2} \int_{r_0}^R F_0(\delta(r)) r dr, \quad (9)$$

где, соответственно, n – число частиц в фугате, ε_1 – относительное число частиц в фугате, то есть в расположенной над линией *AC* области потока, $F_0(\delta)$ – счётная функция распределения частиц в исходной суспензии.

Отмеченная особенность процесса осветления данной жидкостной смеси может быть эффективно использована при обосновании аналитического приближённого выражения $F_1(\delta)$ функции распределения на последующем после нулевого этапа обработки порошкообразной субстанции с функцией распределения $F_0(\delta)$.

А именно, в качестве функции распределения используется зависимость

$$F_1(\delta) = \begin{cases} F_0(\delta) & \text{при } \delta < \delta_{гп}, \\ F_0(\delta_{гп}) & \text{при } \delta < \delta_{гп}. \end{cases} \quad (10)$$

И так далее, со своим $\delta_{гп}$, по каждому из этапов расчёта.

Принимая во внимание (7), например, для коэффициента уноса ε_2 (5) в явном виде получают

$$\varepsilon_2 = \frac{2}{R^2 - r_0^2} \int_{r_0}^R F_1(\delta(r, \omega, c_0, \mu)) r dt, \quad (11)$$

где F_1 задано по (10), $\delta(r, \omega, c_0)$ – по (5).

Формулы (1)–(11) полагают в основу численного анализа процесса фракционирования порошкообразной субстанции в роторе трубчатой центрифуги, принимая в качестве параметра управления процесса фракционирования частиц на этой машине зависящие от граничных значений $\delta_{гп} = \delta_1$ или δ_2 диапазона целевой фракции (10) угловую скорость ω ротора.

В качестве параметра управления процессом (ПУ) выбирали, последовательно, размеры пробных частиц δ_2 и δ_1 . Эти значения параметров процесса согласно (8) и (9) принимаются в качестве заданных глобальных критических диаметров, сначала $\delta_{гп2} = \delta_2$, где в соответствии с (5) $\omega_2 = V(c_0) \gamma l(r_0) / \delta_2$, а затем $\delta_{гп1} = \delta_1$.

При этом на базе формул (1), (2) можно сделать заключение о том, соответствующие угловые скорости ротора машины связаны соотношением $\omega_1 = \omega_2 \delta_1 / \delta_2$.

Образовавшийся осадок с частицами в количестве $n_1 = n_0 \varepsilon_1$, где ε_1 определяемый по (9) коэффициент уноса, удаляют.

На втором этапе с пробной частицей $\delta_{гп} = \delta_1$ при угловой скорости $\omega = \omega_2$ обрабатывают фугат (принимая во внимание, что он уже освобождён от частиц размером больше, чем δ_2) имеют целью сохранить в фугате частиц размером, превышающем δ . Что реализуют на базе коэффициента осветления $\eta_2 = 1 - \varepsilon_2$, где ε_2 определяют по (11), $\eta_2 = n_2 / (n_0 \varepsilon_1)$, n_2 – число отошедших в осадок в фугате частиц размером $\delta_1 < \delta < \delta_2$ (вместе с некоторой долей частиц размером меньшим δ_1).

По своему смыслу коэффициент осветления η_2 определяет относительное (в долях к количеству $(n_0 - n_1) = n_0 \varepsilon_1$) число частиц, принадлежащих целевому интервалу $\delta \in (\delta_1, \delta_2)$.

После чего фугат высушивают, а полученную порошкообразную субстанцию используют как затравочный материал.

Численный эксперимент

Расчеты проводили (в дополнение к данным расчетного примера к формуле (2)) на базе параметров: радиус свободной поверхности жидкости $r_0 = 0,015$ м; производительность по исходной жидкости $Q = 0,2; 0,4$ м³/ч; динамической вязкости $\mu = 0,05$ Па·с; начальная концентрация твердой фазы в суспензии $c_0 = 1\%, 2\%$.

В качестве счётной функции распределения твердой фазы в исходной суспензии выбирали (8) (по соглашению, рисунок 1), в качестве заданных глобальных критических диаметров частиц заданного целевого диапазона фракционирования $\delta_1 = 2 \cdot 10^{-6}$ м; $\delta_2 = 3 \cdot 10^{-6}$ м.

Расчёты выполнялись на базе Mathcad 2000 [13].

Результаты

Визуализация кривых на рисунках 2–5 подтверждает согласие с физическим смыслом исследуемой проблемы. Результаты проведенных

аналитических и числовых расчетов процесса фракционирования частиц по этапам проведенного исследования и они имеют убывающий характер.

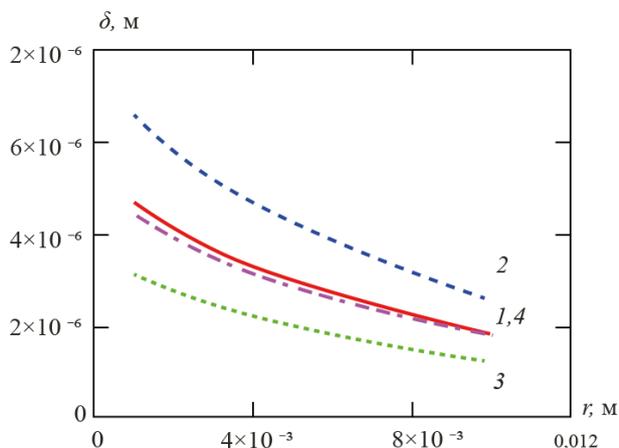


Рисунок 2. Зависимость величины критического диаметра δ пробной частицы от радиальной координаты r при параметрической зависимости диаметра δ от угловой скорости ω и объёмной концентрации c_0 твёрдого ($\mu = 0,05 \text{ Па} \times \text{с}$; $\omega = 1380 \text{ с}^{-1}$: 1 – $c_0 = 0,01$; 2 – $c_0 = 0,02$; $\omega = 2060 \text{ с}^{-1}$: 3 – $c_0 = 0,01$; 4 – $c_0 = 0,02$)

Figure 2. Dependence of the critical diameter δ of a test particle on the radial coordinate r with a parametric dependence of the diameter δ on the angular velocity ω and the volume concentration c_0 of solids ($\mu = 0,05 \text{ Па} \times \text{с}$; $\omega = 1380 \text{ с}^{-1}$: 1 – $c_0 = 0,01$; 2 – $c_0 = 0,02$; $\omega = 2060 \text{ с}^{-1}$: 3 – $c_0 = 0,01$; 4 – $c_0 = 0,02$)

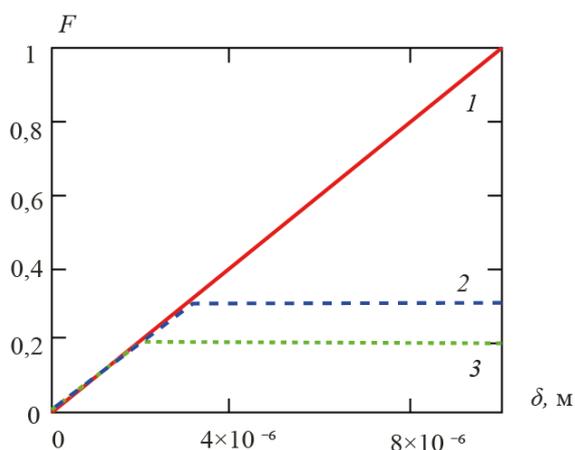


Рисунок 4. Коэффициенты уноса ε_1 и ε_2 в зависимости от радиуса r_0 свободной поверхности суспензии и параметрической зависимости от угловой скорости ω и объёмной концентрации c_0 твёрдого ($\mu = 0,05 \text{ Па} \times \text{с}$; $\omega = 1380 \text{ с}^{-1}$: 1 – $c_0 = 0,01$; 2 – $c_0 = 0,02$; $\omega = 2060 \text{ с}^{-1}$: 3 – $c_0 = 0,01$; 4 – $c_0 = 0,02$)

Figure 4. Entrainment coefficients ε_1 and ε_2 depending on the radius r_0 of the free surface of the suspension and the parametric dependence on the angular velocity ω and volume concentration c_0 ($\mu = 0,05 \text{ Па} \times \text{с}$; $\omega = 1380 \text{ с}^{-1}$: 1 – $c_0 = 0,01$; 2 – $c_0 = 0,02$; $\omega = 2060 \text{ с}^{-1}$: 3 – $c_0 = 0,01$; 4 – $c_0 = 0,02$)

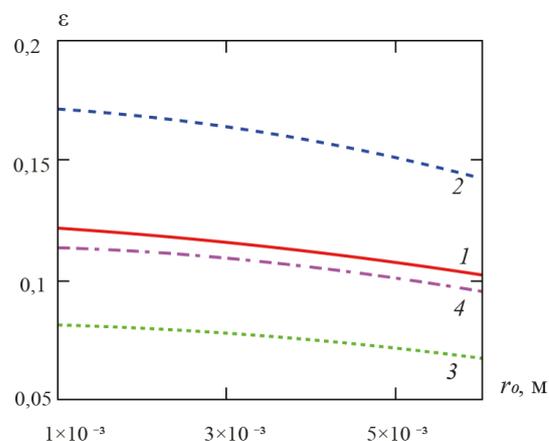


Рисунок 3. Функции счётного распределения частиц, соответственно, 1 – $F_0(\delta)$ в исходной суспензии; 2 – $F_1(\delta)$ и 3 – $F_2(\delta)$ – по первому и второму этапам расчёта по первому и второму этапам расчёта

Figure 3. Countable distribution functions of particles, respectively, 1 – $F_0(\delta)$ in the initial suspension; 2 – $F_1(\delta)$ and 3 – $F_2(\delta)$ – for the first and second stages of calculation

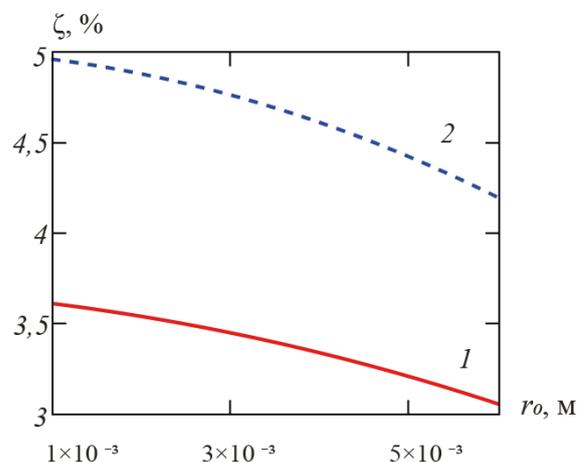


Рисунок 5. Относительно по исходному составу порошка счётное (%) содержание ζ частиц целевого размерного диапазона при параметрической зависимости от объёмной концентрации c_0 твёрдого (1 – $c_0 = 0,01$; 2 – $c_0 = 0,02$)

Figure 5. Relative to the initial composition of the powder, countable (%) content ζ of particles of the target size with a parameter depending on the volumetric mass c_0 of the solid (1 – $c_0 = 0,01$; 2 – $c_0 = 0,02$)

Обсуждение

В рамках постановки задачи, и с учетом данных (рисунки 2, 3, 4), анализ отражённых кривыми этих рисунков, при прочих фиксированных расчетных параметрах процесса показывает, что с увеличением частоты вращения ротора машины содержание частиц, вследствие осаждения их на стенке ротора, всегда снижается (т. е., эффективность работы машины возрастает).

В свою очередь, эффективность процесса обработки затравочного материала, естественным образом, снижается как с увеличением объёмного содержания с твёрдой фазы, так и с ростом производительности машины: например, на рисунке 2 кривая 2 выше кривой 1.

Следует иметь в виду, что предметом исследования является количественный анализ процесса фракционирования исходного затравочного материала заданного объёма по двум последовательным, независимо друг от друга,

этапам обработки с коэффициентами уноса ε_1 и ε_2 по каждому из них. Поэтому расчёт эффективности процесса проводили на базе величины синтетического коэффициента уноса $\zeta = \varepsilon_1(1 - \varepsilon_2)$, результаты расчёта которого представлены кривыми на рисунке 5.

Заключение

В рамках положений гидродинамики тонкослойного быстровращающегося потока жидкости с взвешенном в нём порошком заданного гранулометрического состава из тонкодисперсных частиц в роторе трубчатой центрифуги впервые предложена методика расчёта для данной машины процедура выделения из порошка совокупности частиц целевого размерного диапазона. Что может быть эффективно использовано для расчёта процесса фракционирования порошка при проектировании инновационных образцов центрифугального оборудования с целью реализации на нём этого процесса.

Литература

- 1 Никулина О.К., Колоскова О.В., Яковлева М.Р., Дымар О.В. Применение электродиализа для очистки диффузионного сока в сахарном производстве // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2021. Т. 14. № 3. С. 51–61.
- 2 Семенов Е.В., Славянский А.А., Карамзин В.А. Количественное моделирование процесса разделения суспензий в роторе фильтрующей центрифуги периодического действия // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. № 11. С. 7–10.
- 3 Гурьева К.Б., Тарасова Е.А. Оценка объективности метода определения гранулометрического состава сахара-песка // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. 2014. № 2. С. 80–86.
- 4 Крутлик С.В. Об оптимизации технологии на отдельных стадиях производства сахара // Сахар. 2020. № 4. С. 27–35.
- 5 Хабибуллин М.Я. Повышение эффективности разделения жидких систем на основе улучшения энергетических характеристик в роторах фильтрующих центрифуг различных конструкций // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 7. С. 149–156.
- 6 Salunkhe V.G., Desavale R., Khot S.M., Yelve N. et al. Identification of bearing clearance in sugar centrifuge using dimension theory and support vector machine on vibration measurement // Journal of nondestructive evaluation, diagnostics and prognostics of engineering systems. 2024. P. 1–26.
- 7 Romahadi D., Luthfie A.A., Suprihatiningsih W., Xiong H. Designing expert system for centrifugal using vibration signal and Bayesian Networks // Int. J. Adv. Sci. Eng. Technol. 2022. V. 12. № 1. P. 23.
- 8 Babaoglu N.U., Parvaz F., Hosseini S.H., Elsayed K. et al. Influence of the inlet cross-sectional shape on the performance of a multi-inlet gas cyclone // Powder Technology. 2021. V. 384. P. 82–99. doi:10.1016/j.powtec.2021.02.008
- 9 Olatunde A., Obidola M.S., Tijjani H. Centrifugation techniques // Analytical Techniques in Biosciences. Academic Press, 2022. P. 43–58. doi: 10.1016/B978-0-12-822654-4.00008-7
- 10 Babu A.S., Adeyeye S.A.O. Extraction of sugar from sugar beets and cane sugar // Extraction Processes in the Food Industry. Woodhead Publishing, 2024. P. 177–196. doi:10.1016/B978-0-12-819516-1.00007-7
- 11 Gandhi K., Sharma N., Brath Gautam P., Sharma R. et al. Centrifugation // Advanced Analytical Techniques in Dairy Chemistry. New York, NY: Springer US, 2022. P. 85–102.
- 12 Osman A., Rajab F. Exploring the dynamic growth of sugar crystals: A volume diffusion non-steady state model under variable conditions // AIP Advances. 2023. V. 13. № 6. doi:10.1063/5.0153275
- 13 Qodirova G.H., Ismoilova M.N. Chiziqli algebraik tenglamalar tizimini mathcad dasturi yordamida yechish // Educational Research in Universal Sciences. 2024. V. 3. № 2. P. 650–654.
- 14 de Castro B.J.C., Marciniuk M., Giuliatti M., Bernardo A. Sucrose crystallization: modeling and evaluation of production responses to typical process fluctuations // Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2019. V. 36. № 3. P. 1237–1253. doi: 10.1590/0104-6632.20190363s20180240
- 15 Singh K., Gupta S.P., Kumar A., Kumar A. The effect of high intensity ultrasound (HIU) on the kinetics of crystallization of sucrose: Elimination of latent period // Ultrasonics sonochemistry. 2019. V. 52. P. 19–24. doi: 10.1016/j.ultsonch.2018.05.030
- 16 Berzins K., Suryanarayanan R. Compression-induced crystallization in sucrose-polyvinylpyrrolidone amorphous solid dispersions // Crystal Growth & Design. 2018. V. 18. № 2. P. 839–848. doi: 10.1021/acs.cgd.7b01305
- 17 Hubbes S.S., Braun A., Foerst P. Sugar particles and their role in crystallization kinetics and structural properties in fats used for nougat creme production // Journal of Food Engineering. 2020. V. 287. P. 110130. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110130
- 18 Khaddour I., Bento L., Ferreira A., Rocha F. Kinetics and thermodynamics of sucrose crystallization from pure solution at different initial supersaturations // Surface Science. 2010. P. 1208–1214. doi: 10.1016/j.susc.2010.04.005

- 19 Zaiets N., Vlasenko L., Lutska N. Neural Network Model for Predicting Technological Losses of a Sugar Factory // Conference on Automation. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. P. 93–104.
- 20 Cheng M.H., H. Huang, B.S Dien, V. Singh. The costs of sugar production from different feedstocks and processing technologies // Biofuels, Bioproducts and Biorefining. 2019. T. 13. №. 3. P. 723–739. doi:10.1002/bbb.1976

References

- 1 Nikulina O.K., Koloskova O.V., Yakovleva M.R., Dymar O.V. Application of electro dialysis for purification of diffusion juice in sugar production. Food industry: science and technology. 2021. vol. 14. no. 3. pp. 51–61. (in Russian).
- 2 Semenov E.V., Slavyansky A.A., Karamzin V.A. Quantitative modeling of the process of separation of suspensions in the rotor of a batch filter centrifuge. Chemical and oil and gas engineering. 2014. no. 11. pp. 7–10. (in Russian).
- 3 Guryeva K.B., Tarasova E.A. Assessing the objectivity of the method for determining the granulometric composition of granulated sugar. Innovative technologies for the production and storage of material assets for state needs. 2014.n. 2. pp. 80–86. (in Russian).
- 4 Kruglik S.V. On optimization of technology at individual stages of sugar production. Sugar. 2020. no. 4. pp. 27–35. (in Russian).
- 5 Khabibullin M.Ya. Increasing the efficiency of separation of liquid systems based on improving the energy characteristics in the rotors of filtering centrifuges of various designs. News of the Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering. 2022. vol. 333. no. 7. pp. 149–156. (in Russian).
- 6 Salunkhe V.G., Desavale R., Khot S.M., Yelve N. et al. Identification of bearing clearance in sugar centrifuge using dimension theory and support vector machine on vibration measurement. Journal of nondestructive evaluation, diagnostics and prognostics of engineering systems. 2024. pp. 1–26.
- 7 Romahadi D., Luthfie A.A., Suprihatiningsih W., Xiong H. Designing expert system for centrifugal using vibration signal and Bayesian Networks. Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. 2022. vol. 12. no. 1. pp. 23.
- 8 Babaoglu N.U., Parvaz F., Hosseini S.H., Elsayed K. et al. Influence of the inlet cross-sectional shape on the performance of a multi-inlet gas cyclone. Powder Technology. 2021. vol. 384. pp. 82–99. doi:10.1016/j.powtec.2021.02.008
- 9 Olatunde A., Obidola M.S., Tijjani H. Centrifugation techniques. Analytical Techniques in Biosciences. Academic Press, 2022. pp. 43–58. doi: 10.1016/B978-0-12-822654-4.00008-7
- 10 Babu A.S., Adeyeye S.A.O. Extraction of sugar from sugar beets and cane sugar. Extraction Processes in the Food Industry. Woodhead Publishing, 2024. pp. 177–196. doi:10.1016/B978-0-12-819516-1.00007-7
- 11 Gandhi K., Sharma N., Brath Gautam P., Sharma R. et al. Centrifugation. Advanced Analytical Techniques in Dairy Chemistry. New York, NY, Springer US, 2022. p. 85–102.
- 12 Osman A., Rajab F. Exploring the dynamic growth of sugar crystals: A volume diffusion non-steady state model under variable conditions. AIP Advances. 2023. vol. 13. no. 6. doi:10.1063/5.0153275 (in Russian).
- 13 Kadirova G.H., Ismailova M.N. Solving the system of linear algebraic equations using the mathcad program // Educational Research in Universal Sciences. 2024. V. 3. No. 2. P. 650–654. (in Uzbek).
- 14 de Castro B.J.C., Marciniuk M., Giulietti M., Bernardo A. Sucrose crystallization: modeling and evaluation of production responses to typical process fluctuations. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2019. vol. 36. no. 3. pp. 1237–1253. doi: 10.1590/0104-6632.20190363s20180240
- 15 Singh K., Gupta S.P., Kumar A., Kumar A. The effect of high intensity ultrasound (HIU) on the kinetics of crystallization of sucrose: Elimination of latent period. Ultrasonics sonochemistry. 2019. vol. 52. pp. 19–24. doi: 10.1016/j.ulsonch.2018.05.030
- 16 Berzins K., Suryanarayanan R. Compression-induced crystallization in sucrose-polyvinylpyrrolidone amorphous solid dispersions. Crystal Growth & Design. 2018. vol. 18. no. 2. pp. 839–848. doi: 10.1021/acs.cgd.7b01305
- 17 Hubbes S.S., Braun A., Foerst P. Sugar particles and their role in crystallization kinetics and structural properties in fats used for nougat creme production. Journal of Food Engineering. 2020. vol. 287. pp. 110130. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2020.110130
- 18 Khaddour I., Bento L., Ferreira A., Rocha F. Kinetics and thermodynamics of sucrose crystallization from pure solution at different initial supersaturations. Surface Science. 2010. pp. 1208–1214. doi: 10.1016/j.susc.2010.04.005
- 19 Zaiets N., Vlasenko L., Lutska N. Neural Network Model for Predicting Technological Losses of a Sugar Factory. Conference on Automation. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023. pp. 93–104.
- 20 Cheng M.H., H. Huang, B.S Dien, V. Singh. The costs of sugar production from different feedstocks and processing technologies. Biofuels, Bioproducts and Biorefining. 2019. vol. 13. no. 3. pp. 723–739. doi:10.1002/bbb.197

Сведения об авторах

Вера А. Грибкова к.т.н., доцент, кафедра инновационных технологий продуктов из растительного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, vera_gribkova@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

Евгений В. Семенов д.т.н., главный научный сотрудник, проблемная научно-исследовательская лаборатория (ПНИЛ) «Конструирование и внедрение продуктов и рационов персонализированного питания», Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, sem-post@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6203-1783>

Information about authors

Vera A. Gribkova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, innovative technologies of products from plant raw materials department, Razumovsky Moscow State University of Technology and Management, Zemlyanoy Val Str., 73, Moscow, 109004, Russia, vera_gribkova@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

Evgeny V. Semenov Dr. Sci. (Engin.), chief researcher, problem research laboratory (PNRL) “Design and implementation of personalized nutrition products and diets”, Razumovsky Moscow State University of Technology and Management, Zemlyanoy Val Str., 73, Moscow, 109004, Russia, sem-post@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6203-1783>

Анатолий А. Славянский д.т.н., заведующий кафедрой, кафедра инновационных технологий продуктов из растительного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, anatoliy4455@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Дарья П. Митрошина ассистент, кафедра инновационных технологий продуктов из растительного сырья, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, d_mitr96@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

Сергей Т. Антипов д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ast@vsuet.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4299-1538>

Anatoly A. Slavyansky Dr. Sci. (Engin.), head of department, innovative technologies of products from plant raw materials department, Razumovsky Moscow State University of Technology and Management, Zemlyanoy Val Str., 73, Moscow, 109004, Russia, anatoliy4455@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Daria P. Mitroshina assistant, innovative technologies of products from plant raw materials department, Razumovsky Moscow State University of Technology and Management, Zemlyanoy Val Str., 73, Moscow, 109004, Russia, d_mitr96@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

Sergey T. Antipov Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and apparatuses for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Ave., 19, Voronezh, 394036, Russia, ast@vsuet.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4299-1538>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors contributed equally to the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/04/2024	После редакции 29/04/2024	Принята в печать 14/05/2024
Received 11/04/2024	Accepted in revised 29/04/2024	Accepted 14/05/2024

Тинкториальные свойства белковых растительных добавок

Надежда Г. Черепанова	¹	ncherepanova@rambler.ru	 0000-0001-7484-9021
Ксения И. Новикова	¹	nokia_nik@bk.ru	 0009-0005-1588-048X
Алиса А. Агаркова	¹	agarkova-vasilisa@mail.ru	 0009-0003-2696-2320
Нина П. Беляева	¹	nina_belyaeva@ro.ru	 0009-0006-0199-5662
Елена А. Просекова	¹	proseka2004@yandex.ru	 0000-0003-1819-0618

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская улица, 49, г. Москва, 127434, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы выявления растительных белковых добавок, используемых в мясной промышленности, с помощью гистологических методов. Исследовались следующие добавки: соевый изолированный белок (Soy Protein Isolate Powder 90%), гороховый протеин (Pea Protein Powder 80%) и рисовый протеин (Rice Protein Powder 80%), которые были предоставлены фирмой Summit Ingredients Co., Ltd. (Китай). Изготавливались образцы фарша из куриной грудки, в 10 г фарша добавлялось 0,2 г сухой добавки. Гистологические образцы изготавливались по стандартным методикам. Проводилось окрашивание разными группами красителей, указанных в нормативных документах. Каждый образец окрашивался следующими красителями: гематоксилин-эозином; гематоксилин-эозином с дополнительным окрашиванием суданом III; гематоксилином и суданом III. В результате был составлен каталог микрофотографий данных добавок. Фрагменты рисового протеина имеют форму многоугольных глыбок, неоднородной структуры без отверстия. Окрашиваются только эозином оксифильно. Фрагменты соевого изолята имеют разнообразную форму с округлыми очертаниями с отверстием внутри. Воспринимают гематоксилин, окрашиваются базофильно. Фрагменты горохового протеина характеризуются более округлыми формами, также с отверстием внутри. Воспринимают гематоксилин, окрашиваются в фиолетовый цвет. В данной работе мы столкнулись с несоответствием тинкториальных свойств соевого изолята и горохового протеина с нормативными документами, что делает актуальными дальнейшие исследования этих добавок. Растительные добавки сои и гороха, относящиеся к одному семейству, демонстрируют сходные морфологические и тинкториальные свойства, что затрудняет их гистологическую идентификацию и требует дополнительных генетических методов исследования. Это дает возможность недобросовестным производителям использовать гороховый протеин как фальсифицирующую добавку, так как при ПЦР исследовании чаще всего исследуют ДНК сои.

Ключевые слова: соевый изолят, растительные добавки, гистология, тинкторные свойства, качество продуктов, гороховый протеин, рисовый протеин.

Tinctorial properties of a non-meat proteins

Nadezhda G. Cherepanova	¹	ncherepanova@rambler.ru	 0000-0001-7484-9021
Ksenia I. Novikova	¹	nokia_nik@bk.ru	 0009-0005-1588-048X
Alisa A. Agarkova	¹	agarkova-vasilisa@mail.ru	 0009-0003-2696-2320
Nina P Belyaeva	¹	nina_belyaeva@ro.ru	 0009-0006-0199-5662
Elena A. Prosekova	¹	proseka2004@yandex.ru	 0000-0003-1819-0618

¹ Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550, Russian Federation

Abstract. The article discusses the identification of vegetable protein additives used in the meat industry using histological methods. The supplements tested were Soy Protein Isolate Powder 90%, Pea Protein Powder 80%, and Rice Protein Powder 80%, which were provided by Summit Ingredients Co., Ltd. (China). Samples of minced chicken breast were prepared; 0.2 g of dry additive was added to 10 g of minced meat. Histological samples were prepared using standard methods. Staining was carried out with different groups of dyes specified in regulatory documents. Each sample was stained with the following dyes: hematoxylin-eosin; hematoxylin-eosin with additional Sudan III staining; hematoxylin and Sudan III. As a result, a catalog of microphotographs of these additives was compiled. Rice protein fragments have the shape of polygonal lumps with a heterogeneous structure without holes. They stain only oxyphilically with eosin. Soy isolate fragments have a variety of shapes with rounded outlines with a hole inside. They perceive hematoxylin and stain basophilic. Pea protein fragments are characterized by more rounded shapes, also with a hole inside. They perceive hematoxylin and turn purple. In this work, we encountered a discrepancy between the tinctorial properties of soy isolate and pea protein and regulatory documents, which makes further research on these additives relevant. Soybean and pea food additives, which belong to the same family, demonstrate similar morphological and tinctorial properties, which complicates their histological identification and requires additional genetic research methods. This makes it possible for unscrupulous manufacturers to use pea protein as a counterfeit additive, since PCR studies most often examine soybean DNA.

Keywords: soy protein isolate, non-meat proteins, histology, tinctorial properties, products quality, pea protein, rice protein.

Для цитирования

Черепанова Н.Г., Новикова К.И., Агаркова А.А., Беляева Н.П., Просекова Е.А. Тинкториальные свойства белковых растительных добавок // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 33–39. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-33-39

For citation

Cherepanova N.G., Novikova K.I., Agarkova A.A., Belyaeva N.P., Prosekova E.A. Tinctorial properties of a non-meat proteins. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 33–39. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-33-39

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В настоящее время в мясной промышленности одной из задач является расширение ассортимента производимой продукции. При этом важно не только создать продукт, отвечающий спросу потребителей, но и сократить потери при производстве, для получения наибольшей выгоды. Для этого существует большое количество технологий, используемых в мясной промышленности, включая разработку различных белковых добавок, для сохранения питательности и удешевления мясных изделий, при сохранении их качества. С целью разработки новых немясных добавок изучаются различные животные и растительные компоненты, такие как молочные и сывороточные белки, белки на основе соединительных тканей. В литературе показана их роль в улучшении вкуса, цвета и текстурных свойств мясных продуктов [1, 2], а также способность связывать воду и жир для улучшения текстуры продукта [3]. Одно из наиболее частых используемых растений в качестве дополнительного источника белка – соя [437]. Эта культура содержит все незаменимые аминокислоты, кроме метионина и цистеина, содержит редкую жирную кислоту омега-3 [5]. Полагают, что соевый белок равнозначен белку куриного яйца или молока, и, следовательно, соя является лучшим источником для получения изолятов растительных белков [6].

На основе бобов сои получают следующие продукты: соевую муку (содержание белка (50–65% белка), концентрат соевого белка (SPC) (65–90% белка) и изолят соевого белка (SPI) (более 90% белка) [7].

Наибольшее распространение получил изолят соевого белка. Он получил широкое применение в пищевой промышленности, помимо использования в мясной промышленности для приготовления различных видов колбас и ветчин, его включают в смеси для детского питания, рекомендуемые для младенцев с непереносимостью белков коровьего молока [8]. Этому способствовали положительные качества этого продукта, такие как гелеобразующие свойства, влагоудерживающая способность, создание вязкости [9, 10]. Применение соевого изолята улучшает физико-химические свойства фарша для колбасных изделий [9], стабилизирует свойства мясных продуктов, повышает влаго-связывающую способность и липкость мясного фарша. Благодаря ему формируется густота и сочность продукта. По своим функциональным и технологическим свойствам изолят соевого белка действует аналогично структурообразующим мышечным белкам нежирного мяса [5].

Применение соевого изолята в рецептуре может способствовать увеличению выхода продукции [5, 11]. В некоторых случаях использование соевого изолята позволяет снизить использование жировой ткани [12]. Возможно применение изолята соевого белка для исправления качественных характеристик мясного сырья [2].

Обладая очевидными технологическими преимуществами, соя и ее продукты вызывают опасения в связи с некоторыми факторами. Например, для получения соевых белков в виде изолята или концентрата, бобы проходят многоступенчатую обработку, связанную с экстрагированием жира и удалением углеводов, применением растворителей и щелочей, что вызывает обеспокоенность их влиянием на здоровье потребителей [7].

В литературе нет однозначного мнения о влиянии сои, соевых продуктов и соевого белка на здоровье человека [13]. В качестве примеров положительного воздействия отмечают снижение уровня холестерина, липопротеинов низкой плотности и предотвращение рака [6, 14]. В то же время производные сои довольно часто вызывают аллергию [15]. Соевые бобы содержат много аллергенных белков, а именно липоксидазу, глицинин и β -глицинин, образующийся из глобулинов [16, 17]. Описаны негативные воздействия соевых протеинов на почки, печень, железы внутренней секреции [15].

Таким образом, необходимо регулировать количество сои и других растительных добавок (например, из гороха, пшеницы, риса) и их упоминание на этикетках товаров, чтобы избежать фальсификации и рисков, связанных со здоровьем потребителей [18].

Следовательно, необходим поиск способов выявления растительных добавок (например, изолята соевого белка) для контроля качества мясной продукции. Существует несколько способов идентификации растительных добавок. Самые известные из них полимеразная цепная реакция (ПЦР), иммуноферментный анализ и гистологический метод [17, 19]. Используя гистологический метод, можно увидеть растительные структуры, которые сильно отличаются от мышечных волокон и явно свидетельствуют о наличии растительных добавок в продукте.

Согласно ГОСТу 31474–2012 «Мясо и мясные продукты. Гистологический метод определения растительных белковых добавок» в гистологических исследованиях применяется гематоксилин и эозин, а по ГОСТу 31479–2012 «Мясо и мясные продукты. Метод гистологической идентификации состава» используется также судан III вместе с перечисленными красителями.

Гематоксилин окрашивает базофильные структуры клетки ярко-синим цветом [20], он достаточно устойчив к кислотным растворам, чтобы участвовать в гистологических методах с несколькими этапами. Эозин окрашивает эозинофильные клеточные структуры красно-розовым цветом, а судан используются для окрашивания триглицеридов в замороженных срезах и некоторых липидов, связанных с белками, и липопротеинов на парафиновых срезах.

Тинкториальные свойства растительных добавок мало освещены в литературе [21], но выявление этих компонентов в продуктах питания имеет важное значение при качественной оценке мясных изделий, как гарант безопасности для потребителя [22].

Цель работы – провести исследование микроструктурных и тинкториальных свойств растительных белковых добавок.

Материалы и методы

Материалами для исследования послужили растительные белковые добавки: соевый изолированный белок (изолят соевого белка) (Soy Protein Isolate Powder 90%), гороховый протеин (Pea Protein Powder 80%) и рисовый протеин (Rice Protein Powder 80%), которые были предоставлены фирмой Summit Ingredients Co., Ltd. Страна производства – Китай. В качестве мясного сырья использовался самостоятельно изготовленный фарш из куриной грудки, так как грудная мышца птицы содержит мало жира и является хорошим фоном для исследуемых добавок. Для изготовления образцов 10 г. фарша замешивались вручную с навесками белковых добавок по 0,2 г. Образцы для фиксации помещали в 10% формалин на 24 часа. Далее производилась заливка в желатин согласно ГОСТ 31479–2012 «Мясо и мясные продукты. Метод гистологической идентификации состава». Образцы последовательно проводили через желатин от 12,5 до 25% при температуре 37 °С по 24 часа. Далее их заливали 25% желатином до застывания желатина при комнатной температуре. Гистологические срезы изготавливались на замораживающем микротоме. Каждый из образцов окрашивался тремя методами: согласно ГОСТ 31479–2012 гематоксилин-эозином и гематоксилин-эозином с дополнительным окрашиванием суданом III. Для более точной детализации взаимодействия с красителями, проводили окрашивание образцов гематоксилином и суданом III, без применения эозина. После чего препараты заключались в глицерин-желатин и исследовались под световым микроскопом при увеличении в 400 раз. От каждого образца исследовали по 4 среза.

Результаты

При использовании гематоксилина и эозина ярко окрашены, как фрагменты белковых добавок, так и мышечная ткань на всех образцах. Жир прокрашивается суданом III и имеет ярко оранжевую окраску. При применении гематоксилина и судана III (без эозина) можно наблюдать жировые включения, но мышечная ткань менее интенсивно окрашена, так как гематоксилин, являясь основным ядерным красителем, хорошо прокрашивал ядерные структуры и слабо саркоплазму волокон. Если использовать все три красителя, то все структуры ярко окрашены, и видны жировые включения.

ГОСТ 31474–2012 «Мясо и мясные продукты. Гистологический метод определения растительных белковых добавок» описывает соевый изолированный белок как частицы, окрашенные в розовый цвет, округлой формы с отверстием внутри. Также могут встречаться частицы в виде гантели, цветка. Результаты нашего исследования окраски изолята соевого белка гематоксилином и эозином, представленные на рисунке 1, показывают, что форма частиц данной добавки отличается большим морфологическим разнообразием. Размеры частиц могут варьировать от нескольких до сотни микрометров. Встречаются частицы округлой, гантелевидной формы. Кроме того, встречаются частицы неправильной, произвольной формы или формы цветка. Но для всех частиц характерно наличие отверстия внутри. Больше воспринимают основные красители, окрашиваются базофильно при использовании гематоксилин-эозина и при дополнительном докрасивании суданом. При отсутствии эозина добавка имеет более светлый фиолетовый цвет. Это подтверждает, что соевый изолированный белок воспринимает гематоксилин.

Гороховый протеин, представленный на рисунке 2, представляет собой частицы разнообразной формы: округлые, овальные, гантелевидные, сложной формы. Во всех фрагментах внутри присутствует отверстие, повторяющее форму самой частицы. Окрашивание гематоксилином и эозином показывает, что частицы больше прокрашиваются гематоксилином и имеют фиолетовый цвет. При отсутствии эозина частицы прокрашиваются гематоксилином в слабо фиолетовый цвет. Размер частиц так же очень переменчивый, встречаются и небольшие фрагменты около 5 мкм, много фрагментов среднего размера, встречаются некоторые фрагменты размером около 100 мкм.

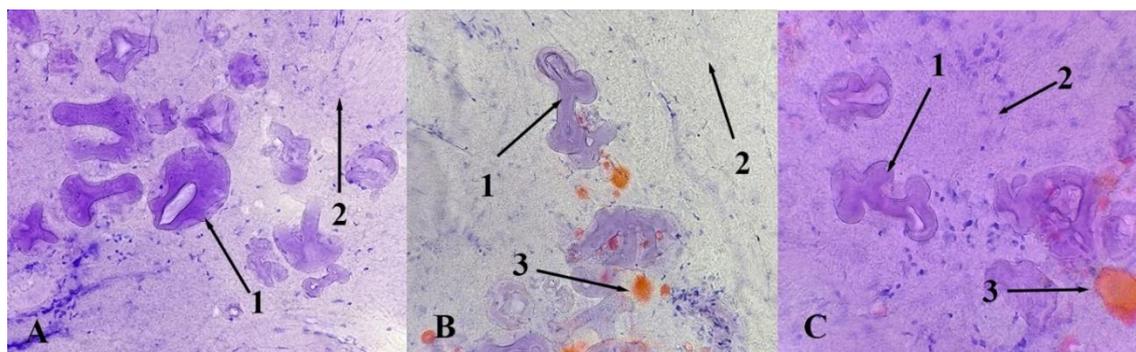


Рисунок 1. Фрагменты изолированного соевого белка в мясном фарше (увеличение в 400 раз): А – окраска гематоксилином и эозином; В – окраска гематоксилином и суданом III; С – окраска гематоксилином, эозином и суданом III; 1 – фрагменты изолята соевого белка; 2 – мышечная ткань; 3 – жир.

Figure 1. Isolated soy protein fragments in minced meat (400x magnification): A – hematoxylin and eosin staining; B – hematoxylin and sudan III staining; C – hematoxylin, eosin and sudan III staining; 1 – fragments of the isolated soy protein; 2 – muscle tissue; 3 – fat.

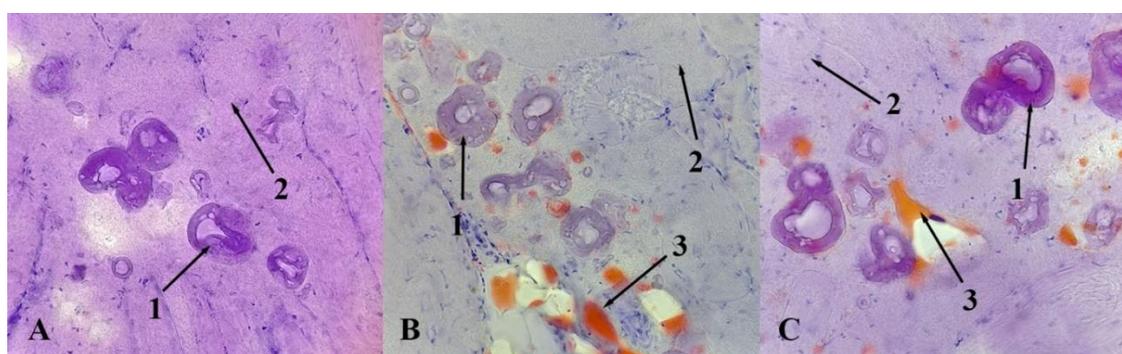


Рисунок 2. Фрагменты горохового протеина в мясном фарше (увеличение в 400 раз): А – окраска гематоксилином и эозином; В – окраска гематоксилином и суданом III; С – окраска гематоксилином, эозином и суданом III; 1 – фрагменты изолята горохового белка; 2 – мышечная ткань; 3 – жир.

Figure 2. Fragments of pea protein in minced meat (400x magnification): A – hematoxylin and eosin staining; B – hematoxylin and sudan III staining; C – hematoxylin, eosin and sudan III staining; 1 – fragments of the isolated soy protein; 2 – muscle tissue; 3 – fat.

На рисунке 3 представлены фотографии при разных методах окрашивания рисового протеина в мясном фарше. Фрагменты добавки представлены глыбками многоугольной формы разного размера, без полости внутри. Структура

частиц неомогенная, зернистая. При окрашивании гематоксилин-эозином и при докрасивании суданом фрагменты протеина окрашиваются оксифильно в ярко-розовый цвет. При отсутствии эозина фрагменты остаются бесцветными.

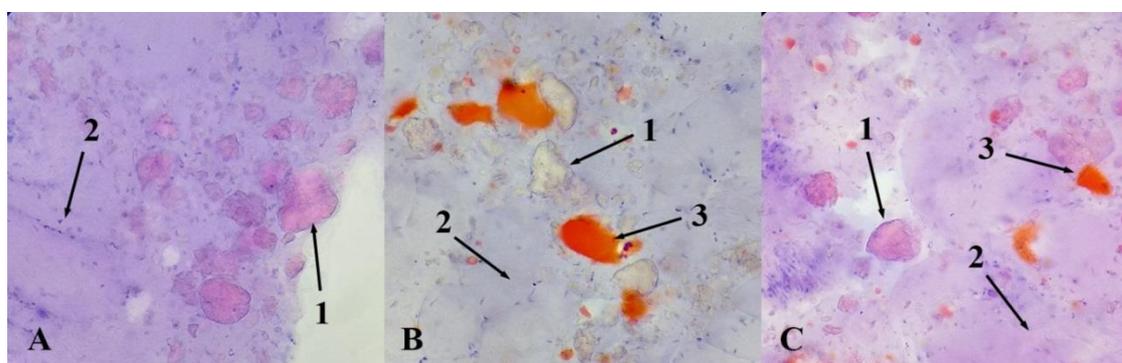


Рисунок 3. Фрагменты рисового протеина в мясном фарше (увеличение в 400 раз): А – окраска гематоксилином и эозином; В – окраска гематоксилином и суданом III; С – окраска гематоксилином, эозином и суданом III; 1 – фрагменты рисового протеина; 2 – мышечная ткань; 3 – жир.

Figure 3. Fragments of rice protein in minced meat (400x magnification): A – hematoxylin and eosin staining; B – hematoxylin and sudan III staining; C – hematoxylin, eosin and sudan III staining; 1 – fragments of the isolated soy protein; 2 – muscle tissue; 3 – fat.

Обсуждение

При всех используемых в оценке качества мясных продуктов методах окрашивания, соевый изолят и гороховый протеин демонстрирует похожую картину. Фрагменты добавок отличаются большим полиморфизмом. Можно встретить разнообразные формы от округлой и овальной до неправильной, встречаются формы в виде гантели или цветка. Особенность этих добавок обязательное наличие отверстия внутри фрагмента, чаще всего отверстие напоминает форму самой частицы. В каждом окрашивании четко прослеживаются структуры добавки, которые проявляют базофилию. Эозин очень слабо прокрашивает фрагменты в розовый цвет, частицы обладают большим сродством к гематоксилину. При отсутствии эозина фрагменты хорошо прокрашиваются гематоксилином, эозин же дает более розовый фон, не меняя окраску кардинально. Это противоречит описаниям данной добавки в исследованиях других авторов [21]. Возможно, такие противоречия обусловлены использованием разных видов гематоксилина.

Морфологически частицы соевого изолята и горохового протеина очень похожи друг на друга, что объясняется близким родством данных ботанических видов. Незначительной особенностью горохового протеина является то, что в добавке встречается больше частиц округлой формы, чем в соевом изоляте. Вероятность идентифицировать эти две добавки в составе готового продукта гистологическим методом мала, для подтверждения необходимы дополнительные методы исследования, такие как ПЦР метод. Сходная морфологическая картина дает возможность недобросовестным производителям добавлять в продукт гороховый протеин, который достаточно редко используется по сравнению с соевым. При этом стандартным ПЦР анализом на сою эта добавка не сможет быть выявлена.

Рисовый протеин морфологически очень сильно отличается от бобовых. Его форма, отсутствие отверстия и тинкториальные свойства позволяют его легко идентифицировать от изолята бобовых. Он окрашивался оксифильно только там, где применялся эозин, без использования эозина оставался бесцветным. Это говорит о том, что рисовый протеин обладает основными свойствами, в отличие от бобовых.

Заключение

Наши исследования белковых добавок из бобовых растений выявили их морфологическое сходство и похожие тинкториальные свойства. Фрагменты соевого изолята и горохового протеина имеют разнообразную форму с округлыми очертаниями с отверстием внутри. Воспринимают гематоксилин, окрашиваются базофильно в фиолетовый цвет. Незначительным морфологическим отличием горохового протеина является большее количество частиц с округлой формы. Таким образом гистологическая идентификация добавок из сои и гороха является затруднительной.

Фрагменты рисового протеина имеют форму многоугольных глыбок, неоднородной структуры без отверстия. Окрашиваются только эозином.

В нашей работе мы столкнулись с несоответствием выявленных свойств окрашивания добавок соевого изолята и горохового протеина данным других исследований. Противоречие полученных нами данных о способности соевого изолята и горохового протеина воспринимать гистологические красители говорит о том, что изучение тинкторные свойства данных добавок является актуальным и, возможно, возникнет необходимость корректировок нормативных актов.

Благодарности

Выражаем благодарность фирме Summit Ingredients Co., Ltd. за предоставленные для исследований образцы добавок.

Литература

- 1 Owusu-Ansah P., Kwarteng E., Bonah E., Amagloh F.K. Non-meat ingredients in meat products: A scoping review // *Journal Applied Food Research*. 2022. V. 2(1). P. 100–114. doi: 10.1016/j.afres.2022.100044
- 2 Зобнина Л.С., Прошко Л.А., Машанов А.И. Функционально-технологические свойства белоксодержащих добавок и белковых препаратов // *Вестник КрасГАУ*. 2009. № 7. С. 151–154.
- 3 Velemir A. Effects of non-meat proteins on the quality of fermented sausages // *Journal Foods and Raw Materials*. 2020. V. 8(2). P. 259–267. doi: 10.21603/2308-4057-2020-2-259-267
- 4 Прянишников В.В. Белковые компоненты в мясных технологиях // *Мясная индустрия*. 2011. № 11. С. 34–35.
- 5 Fatkhullaev A., Safarov A., Atazhanova A., Nazarov A. Production technology of soy protein additives for use in meat products // *E3S Web of Conferences* 2023. V. 389 (1). P. 03041. doi: 10.1051/e3sconf/202338903041
- 6 Vishal R., Sonawane S., Munje S. Food fortification of soy protein isolate for human health // *Research Journal of Chemistry and Environment*. 2018. V. 22. P. 108–115.
- 7 Mark M., Alison M., Virginia M., Lynch Heidi L. et al. The health effects of soy: A reference guide for health professionals // *Frontiers in Nutrition*. 2022. V. 9. doi: 10.3389/fnut.2022.970364
- 8 Astawan M., Prayudani A. The Overview of Food Technology to Process Soy Protein Isolate and Its Application toward Food Industry // *World Nutrition Journal*. 2020. V. 4. P. 12.
- 9 Sha, L., Liu S. Effects of soybean protein isolate on protein structure, batter rheology, and water migration in emulsified sausage // *Journal Citation Reports*. 2020. V. 44(9). P. 1–10. doi: 10.1111/jfpp.14711
- 10 Xie J., Zou X.L., Li Y. et al. Effects of high-pressure-modified soy 11S globulin on the gel properties and water-holding capacity of pork batter // *Journal Citation Reports*. 2020. V. 57 (4). P. 2459–2466. doi: 10.1111/ijfs.15607

- 11 Akesowan A. Effect of soy protein isolate on quality of light pork sausages containing konjac flour // *African Journal of Biotechnology*. 2008. V. 7. № 24
- 12 Moirangthem S., Laskar S., Das A. et al. Effect of incorporation of soy protein isolate and inulin on quality characteristics and shelf-life of low-fat duck meat sausages // *Anim Biosci*. 2022. V. 35. № 8. P. 1250–1257. doi: 10.5713/ab.21.0530
- 13 Xiao CW. Health effects of soy protein and isoflavones in humans // *J Nutr*. 2008. V. 138. № 6. P. 1244–1249. doi: 10.1093/jn/138.6.1244S
- 14 Hasler C.M. The cardiovascular effects of soy products // *The Journal of cardiovascular nursing*. 2002. V. 16. № 4. P. 50–76.
- 15 Sukalingam K., Ganesan K., Das S., Thent Z.C. An insight into the harmful effects of soy protein: A review // *Clin Ter*. 2015. V. 166. № 3. P. 131–9. doi: 10.7417/CT.2015.1843
- 16 De la Cruz S., Martín R., Gonzalez Alonso I., López-Calleja I. Recent advances in detection of food allergens // *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.). 2017. V. 1592. P. 263–295. doi: 10.1007/978-1-4939-6925-8_20
- 17 Soares S., Amaral J.S., Mafra I., Oliveira M. A PCR assay to detect trace amounts of soybean in meat sausages // *International Journal of Food Science & Technology*. 2010. V. 45. № 12. P. 2581–2588. doi: 10.1111/j. 1365-2621.2010.02421.x
- 18 Козлова Т.А. К вопросу безопасности и контроля качества мясного сырья и мясных продуктов в России // *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 2012. № 5(5). С. 33–38.
- 19 Cellierino K. Soy Protein Detection in Raw and Cooked Meat Products Using Different ELISA Kits // *Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2016. V. 4. P. 170. doi: 10.11648/j.jfns.20160406.15
- 20 Turkistani Hani Al., Faris N., Zuhair M. Histological Stains: A Literature Review and Case Study // *Global Journal of Health Science*. 2015. V. 8. doi: 10.5539/gjhs.v8n3p72
- 21 Хвьяля С.И., Пчелкина В.А., Бурлакова С.С. Применение гистологического анализа при исследовании мясного сырья и готовых продуктов // *Техника и технология пищевых производств*. 2012. № 3(26). С. 1–7.
- 22 Semak A.E., Kazakova E.V., Cherepanova N.G. et al. Improving the Quality of Evaluation of Meat Products // *Entomology and Applied Science Letters*. 2021. V. 8. №. 2. P. 78–84. doi: 10.51847/CUMJASGUCH

References

- 1 Owusu-Ansah P., Kwarteng E., Bonah E., Amagloh F.K. Non-meat ingredients in meat products: A scoping review. *Journal Applied Food Research*. 2022. vol. 2(1). pp. 100–114. doi: 10.1016/j.afres.2022.100044
- 2 Zobnina L.S., Proshko L.A., Mashanov A.I. Functional and technological properties of protein-containing additives and protein preparations. *Bulletin of KrasGAU*. 2009. no. 7. pp. 151–154. (in Russian).
- 3 Velemir A. Effects of non-meat proteins on the quality of fermented sausages. *Journal Foods and Raw Materials*. 2020. vol. 8(2). pp. 259–267. doi: 10.21603/2308-4057-2020-2-259-267
- 4 Pryanishnikov V.V. Protein components in meat technologies. *Meat industry*. 2011. no. 11. pp. 34–35. (in Russian).
- 5 Fatkhullaev A., Safarov A., Atazhanova A., Nazarov A. Production technology of soy protein additives for use in meat products». *E3S Web of Conferences* 2023. vol. 389 (1). pp. 03041. doi: 10.1051/e3sconf/202338903041
- 6 Vishal R., Sonawane S., Munje S. Food fortification of soy protein isolate for human health. *Research Journal of Chemistry and Environment*. 2018. vol. 22. pp. 108–115.
- 7 Mark M., Alison M., Virginia M., Lynch Heidi L. et al. The health effects of soy: A reference guide for health professionals. *Frontiers in Nutrition*. 2022. vol. 9. doi: 10.3389/fnut.2022.970364
- 8 Astawan M., Prayudani A. The Overview of Food Technology to Process Soy Protein Isolate and Its Application toward Food Industry. *World Nutrition Journal*. 2020. vol. 4. pp. 12.
- 9 Sha, L., Liu S. Effects of soybean protein isolate on protein structure, batter rheology, and water migration in emulsified sausage. *Journal Citation Reports*. 2020. vol. 44(9). pp. 1–10. doi: 10.1111/jfpp.14711
- 10 Xie J., Zou X.L., Li Y. et al. Effects of high-pressure-modified soy 11S globulin on the gel properties and water-holding capacity of pork batter. *Journal Citation Reports*. 2020. vol. 57 (4). pp. 2459–2466. doi: 10.1111/jifs.15607
- 11 Akesowan A. Effect of soy protein isolate on quality of light pork sausages containing konjac flour. *African Journal of Biotechnology*. 2008. vol. 7. no. 24
- 12 Moirangthem S., Laskar S., Das A. et al. Effect of incorporation of soy protein isolate and inulin on quality characteristics and shelf-life of low-fat duck meat sausages. *Anim Biosci*. 2022. vol. 35. no. 8. pp. 1250–1257. doi: 10.5713/ab.21.0530
- 13 Xiao CW. Health effects of soy protein and isoflavones in humans. *J Nutr*. 2008. vol. 138. no. 6. pp. 1244–1249. doi: 10.1093/jn/138.6.1244S
- 14 Hasler C.M. The cardiovascular effects of soy products. *The Journal of cardiovascular nursing*. 2002. vol. 16. no. 4. pp. 50–76.
- 15 Sukalingam K., Ganesan K., Das S., Thent Z.C. An insight into the harmful effects of soy protein: A review. *Clin Ter*. 2015. vol. 166. no. 3. pp. 131–9. doi: 10.7417/CT.2015.1843
- 16 De la Cruz S., Martín R., Gonzalez Alonso I., López-Calleja I. Recent advances in detection of food allergens». *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.). 2017. V. 1592. P. 263–295. doi: 10.1007/978-1-4939-6925-8_20
- 17 Soares S., Amaral J.S., Mafra I., Oliveira M. A PCR assay to detect trace amounts of soybean in meat sausages. *International Journal of Food Science & Technology*. 2010. vol. 45. no. 12. pp. 2581–2588. doi: 10.1111/j. 1365-2621.2010.02421.x
- 18 Kozlova T.A. On the issue of safety and quality control of raw meat and meat products in Russia. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. 2012. no. 5(5). pp. 33–38. (in Russian).
- 19 Cellierino K. Soy Protein Detection in Raw and Cooked Meat Products Using Different ELISA Kits. *Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2016. vol. 4. pp. 170. doi: 10.11648/j.jfns.20160406.15
- 20 Turkistani Hani Al., Faris N., Zuhair M. Histological Stains: A Literature Review and Case Study. *Global Journal of Health Science*. 2015. V. 8. doi: 10.5539/gjhs.v8n3p72
- 21 Khvylya S.I., Pchelkina V.A., Burlakova S.S. Application of histological analysis in the study of raw meat and finished products. *Equipment and technology of food production*. 2012. no. 3(26). pp. 1–7. (in Russian).
- 22 Semak A.E., Kazakova E.V., Cherepanova N.G. et al. Improving the Quality of Evaluation of Meat Products. *Entomology and Applied Science Letters*. 2021. vol. 8. no. 2. pp. 78–84. doi: 10.51847/CUMJASGUCH

Сведения об авторах

Надежда Г. Черепанова старший преподаватель, кафедра морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, ncherepanova@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7484-9021>

Ксения И. Новикова студент, кафедра морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, nokia_nik@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-1588-048X>

Алиса А. Агаркова аспирант, кафедра частной зоотехнии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, Россия, agarkova-vasilisa@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-2696-2320>

Нина П. Беляева к.б.н., доцент, кафедра морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, г. Москва, 127434, nina_belyaeva@ro.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-0199-5662>

Елена А. Просекова к.б.н., доцент, кафедра морфологии и ветеринарно-санитарной экспертизы, Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева, Тимирязевская улица, дом 49, г. Москва, 127434, Россия, proseka2004@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1819-0618>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Nadezhda G. Cherepanova senior lecturer, morphology and veterinary and sanitary examination departments, Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550, Russian Federaton, ncherepanova@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7484-9021>

Ksenia I. Novikova student, morphology and veterinary and sanitary examination departments, Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550 Russian Federaton, nokia_nik@bk.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-1588-048X>

Alisa A. Agarkova graduate student, special animal husbandry department, Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550 Russian Federaton, agarkova-vasilisa@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-2696-2320>

Nina P Belyaeva Cand. Sci. (Biol.), associate professor, morphology and veterinary and sanitary examination departments, Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550 Russian Federaton, nina_belyaeva@ro.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-0199-5662>

Elena A. Prosekova Cand. Sci. (Biol.), associate professor, morphology and veterinary and sanitary examination departments, Russian State Agrarian University-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya street, 49, Moscow, 127550, proseka2004@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1819-0618>

Contribution

All authors equally participated in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 13/03/2024	После редакции 09/04/2024	Принята в печать 26/04/2024
Received 13/03/2024	Accepted in revised 09/04/2024	Accepted 26/04/2024

Анализ и обоснование тенденций развития электромембранных методов в очистке промышленных растворов

Константин В. Шестаков	¹	kostyanshestakov@mail.ru	 0000-0003-0746-5161
Сергей И. Лазарев	¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	 0000-0002-3429-1139
Ольга В. Долгова	¹	o.v.dolgova@mail.ru	 0009-0000-9588-4897
Константин К. Полянский	²	kaf-kit@vfreu.ru	

¹ Тамбовский государственный технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия

² Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. В работе рассмотрены тенденции развития технологического оформления электромембранных методов разделения, динамично развивающейся технологии, характеризующейся высокой эффективностью, простотой эксплуатации и обслуживания. На сегодняшний день исследования технологии электромембранного разделения проводятся как с целью оптимизации и улучшения характеристик стандартных элементов, так в связи с разработкой и внедрением новых материалов и процессов. Выявлено четыре основных вектора развития технологий электромембранного разделения. Новые подходы и методики электромембранного разделения промышленных растворов, в том числе широкое внедрение математического моделирования для описания процессов протекающих в аппаратах, на анионообменных или катионообменных мембранах, изменение плотности тока в аппарате. Усовершенствование или разработка новых электромембранных аппаратов и устройств, результатом является увеличение площади соприкосновения, которое предлагается достичь или путем изменения формы, количества мембран или их пористости и шероховатости. Разработка новых типов мембран и материалов для их изготовления, изменяющих структуру и физико-химические свойства мембран, включает внедрение в состав мембран разнообразных компонентов (углеродных квантовых точек, наночастиц оксидов металлов и др.), физико-химическая воздействия на мембрану, изменяющие ее на этапе формирования. Интеграция мембранного разделения и электрохимии, привела к разработке электропроводящих мембран, в состав которых включены углеродные наноматериалы, обладающие превосходной электропроводностью и стабильность. Цель исследований в данном направлении, уменьшение загрязнения мембран. Мембраны с электрохимическим действием могут своевременно разлагать мелкие органические загрязнители, механизмы воздействия на которые при обычным мембранным разделением отсутствуют.

Ключевые слова: мембраны, технологическое оформление, тенденции развития, перспективы, электромембранные методы.

Analysis and substantiation of trends in the development of electromembrane methods in the purification of industrial solutions

Konstantin V. Shestakov	¹	kostyanshestakov@mail.ru	 0000-0003-0746-5161
Sergey I. Lazarev	¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	 0000-0002-3429-1139
Olga V. Dolgova	¹	o.v.dolgova@mail.ru	 0009-0000-9588-4897
Konstantin K. Polyansky	²	kaf-kit@vfreu.ru	

¹ Tambov State Technical University, Sovetskaya Str., 106, Tambov, 392000, Russia

² Voronezh branch of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Karl Marx, 67A, Voronezh, 394030, Russia

Abstract. The paper considers the trends in the development of technological design of electromembrane separation methods, a dynamically developing technology characterized by high efficiency, ease of operation and maintenance. To date, research on the technology of electromembrane separation is carried out both to optimize and improve the characteristics of standard elements, and to develop and implement new materials and processes. Four main vectors of development of electromembrane separation technologies have been identified. New approaches and techniques for the electromembrane separation of industrial solutions, including the widespread introduction of mathematical modeling to describe processes occurring in apparatuses, on anion-exchange or cation-exchange membranes, and changes in current density in the apparatus. The improvement or development of new electromembrane devices and devices, the result is an increase in the area of contact, which is proposed to be achieved either by changing the shape, number of membranes or their porosity and roughness. The development of new types of membranes and materials for their manufacture, which change the structure and physico-chemical properties of membranes, includes the introduction of various components into the composition of membranes (carbon quantum dots, metal oxide nanoparticles, etc.), physico-chemical effects on the membrane, changing it at the stage of formation. The integration of membrane separation and electrochemistry has led to the development of electrically conductive membranes, which include carbon nanomaterials with excellent electrical conductivity and stability. The purpose of research in this area is to reduce membrane contamination. Membranes with electrochemical action can decompose small organic pollutants in a timely manner, the mechanisms of action on which are absent with conventional membrane separation.

Keywords: membranes, technological design, development trends, prospects, electromembrane methods.

Для цитирования

Шестаков К.В., Лазарев С.И., Долгова О.В. Полянский К.К. Анализ и обоснование тенденций развития электромембранных методов в очистке промышленных растворов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 40–47. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-40-47

For citation

Shestakov K.V., Lazarev S.I., Dolgova O.V., Polyansky K.K. Analysis and substantiation of trends in the development of electromembrane methods in the purification of industrial solutions. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 40–47. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-40-47

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Технологии электромембранных методов разделения (ЭМР) являются важным инструментом для очистки промышленных растворов (гальванических производств, опреснения и очистки воды, разделения в пищевой и других отраслях производства) и имеют большой потенциал для улучшения производительности и качества конечного продукта. Метод основан на использовании разности потенциалов электрического поля, под действием которого заряженные ионы перемещаются через катионообменные или анионообменные мембраны в зависимости от заряда проникающих ионов, что позволяет с высокой селективностью проводить процесс очистки. Небольшая занимаемая площадь, высокая эффективность, низкое энергопотребление, экономия за счет масштаба, простота эксплуатации и обслуживания, минимальный контроль и модульная конструкция являются одними из преимуществ мембранных систем, делающих их конкурентоспособными по сравнению с признанными технологиями очистки различных видов промышленных сточных вод.

Успешное применение ЭМР в промышленности зависит от целого ряда параметров, из которых следует выделить следующие: установление оптимальных параметров процесса, таких как: ток, напряжение, температура и концентрация раствора. Немаловажным является правильный выбор конфигурации мембран и электродов, перечень которых непрерывно пополняется и перерабатывается, так как исследования и разработки в этом направлении довольно востребованы. Современные технологии ЭМР также включают автоматизацию процесса с помощью специализированных систем контроля и управления, что позволяет повысить производительность и качество продукта, а также уменьшить затраты на обслуживание и ремонт оборудования. Целью данной работы было выявление тенденций развития технологического оформления ЭМР.

Современные тенденции развития технологического оформления мембранных и, в частности, электрохимических мембранных методов разделения, направлены на повышение эффективности процесса разделения, уменьшении затрат энергии и введение новых, более современных материалов и технологий для достижения оптимальных результатов. Одной из важных тенденций развития технологического оформления электрохимического мембранного разделения является улучшение структуры мембран и электродов, что позволит повысить эффективность и понизить затраты на технологический процесс разделения. При этом работы по улучшению структуры и проницаемости мембран

ведутся в нескольких направлениях: готовые мембраны обрабатывают специально подобранным реагентом [1], на этапе изготовления мембраны в состав исходной смеси вводятся вещества, изменяющие ее структуру в процессе формирования [2], подготовка мембран воздействием на них различными видами физико-химических методов [3], подбираются соотношения и виды растворителей. На химическую структуру мембран не влияют использование различных растворителей, полимеров и масштабы производства, меняя структуру пор мембраны и шероховатость поверхности возможно с помощью регулирования скорости диффузии, при диффузии растворителей/соразтворителей в носитель, а также времени испарения. При этом особое внимание уделяется экологической чистоте материалов, применяемых при производстве мембран.

Осуществляется разработка новых и современных материалов для изготовления мембран. Существует широкий спектр комбинаций составов мембран, который постоянно расширяется. Для изготовления мембран используют различные полимеры (полисульфон, полиэфирсульфон, поливинилиденфторид и другие) [4, 5], нанотехнологические материалы (углеродные наноматериалы, углеродные квантовые точки, металлоорганические каркасы, наночастицы оксидов металлов [2, 6], мембраны с полимерными включениями.

Наноматериалы вводят в состав мембран для улучшения их физико-химических свойств, способствующих уменьшению загрязнения, улучшению смачивания пор. Металлические наночастицы вводят в состав мембран для придания мембранам гидрофобных характеристик, создания шероховатой поверхности. Наночастицы некоторых оксидов металлов обладают антибактериальными свойствами. Наноматериалы на основе углерода в структуре мембраны увеличивают их порозность (большое соотношение площади поверхности к объему), увеличивают механическую прочность и снижают уровень загрязненности [7]. Углеродные квантовые точки легко интегрируются в состав, придают ей гидрофильные свойства и способствуют защите мембраны от биообрастания. Немаловажным фактором при выборе углеродных квантовых точек для модификации мембран является простота и низкая стоимость их производства, экологическая чистота, в отличие от высокотоксичных полупроводниковых квантовых точек [8].

Мембраны с полимерными включениями состоят из базового полимера, экстрагента (чаще всего называемого носителем) и, при необходимости, пластификатора / модификатора. Базовый полимер обеспечивает механическую поддержку и структуру мембраны. Носитель

связывает извлекаемые элементы, экстрагирует и транспортирует их из загрязненной воды в принимающий раствор. Пластификатор представляет собой органическое соединение с неполярной алкильной основной цепью с одной или несколькими сильно сольватирующими полярными группами. Однако стоит отметить, что некоторые носители обладают пластифицирующими свойствами и могут образовывать гомогенные, стабильные и гибкие мембраны без добавления модификатора синтезируется путем растворения базового полимера, носителя и пластификатора в небольшом объеме органического растворителя, такого как хлороформ или тетрагидрофуран, с образованием гомогенного раствора.

Технологическая схема электромембранной очистки сточных вод, применяемая на производстве химического синтеза, представлена на рисунке 1. Схема включает две линии, которые могут работать независимо друг от друга. На первой линии осуществляется очистка кислых промывных вод. Сначала промывные воды копятся в емкости сбора 1, откуда их закачивают с помощью насоса 3 в аппарат нейтрализации растворов 4. После нейтрализации воды поступают в электродиализатор 5 для последующей очистки. Далее дилуат перекачивают в емкость сбора очищенной воды 6, а концентрат в емкость 7 сбора растворов, подлежащих утилизации или направляемых на выделение металлов.

В это же время происходит параллельное накопление кислых сточных вод в емкости 2. Насосом 3, сточные воды перекачиваются в фильтр грубой очистки 8, где проводится гравитационное осаждение наиболее крупной фракции взвешенных частиц очищаемого раствора, которые после накапливаются в шламоборнике 9. Оставшаяся часть загрязняющих веществ, вместе со сточными водами, через насос 3 поступает в тонкослойный отстойник 10. В отстойнике происходит осаждение остатков взвешенных частиц, которые также направляются в шламоборник 9. Очищенные от взвешенных частиц сточные воды затем перекачиваются насосом 5 через установки для коррекции pH 11 и поступают в электробаромембранный аппарат 12. Количество необходимых электробаромембранных аппаратов зависит от общего объема сточных вод, требующих очистки.

В процессе очистки производится отделение загрязняющих веществ, в результате чего образуется концентрат. Этот концентрат, представленный в виде ретентата, выводится из аппарата с целью последующего выделения товарных продуктов или для дальнейшей утилизации. Очищенная вода, представленная в виде пермеата, направляется дальше по системе. Кроме того, к электрогиперфильтрационному аппарату 12 подключена

емкость с чистящими реагентами 13. С помощью насоса 5 реагенты подаются в аппарат для очистки мембран. Затем используемые чистящие реагенты собираются в емкости сбора чистящих реагентов 14 для дальнейшего использования или обработки.

Очищенная вода в виде пермеата подается насосом в электродиализатор 5 для дополнительной очистки. Из электродиализатора перекачивается вода с повышенной степенью очистки, или дилуат, снова с помощью насоса 5, и направляется в емкость сбора очищенной воды 6. Затем эта вода возвращается обратно в промышленный цикл для повторного использования. Загрязненная вода, представленная в виде ретентата, выводится из аппарата и направляется в емкость сбора концентрата после очистки сточных вод 7. Дальнейшая обработка этого концентрата может включать товарного продукта или утилизацию в соответствии с необходимыми требованиями и нормами.

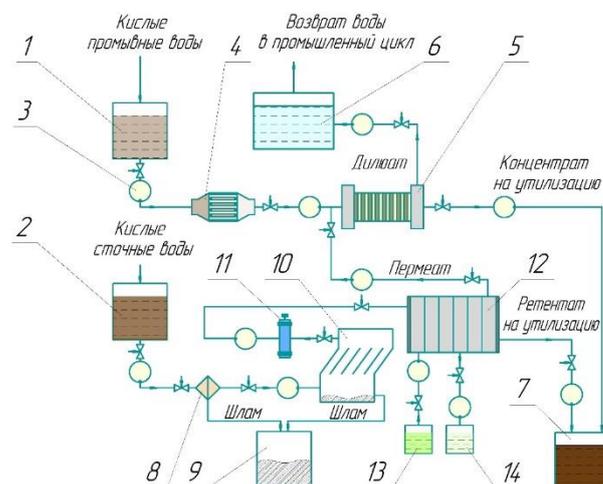


Рисунок 1. Технологическая схема очистной системы на производстве химического синтеза: 1 – емкость сбора кислых промывных вод; 2 – емкость сбора кислых сточных вод; 3 – насос; 4 – аппарат нейтрализации растворов; 5 – электродиализатор; 6 – емкость сбора очищенной воды; 7 – емкость сбора растворов, подлежащих утилизации; 8 – фильтр грубой очистки; 9 – шламоборник; 10 – тонкослойный отстойник; 11 – установка корректировки pH; 12 – электрогиперфильтрационный аппарат; 13 – емкость с чистящими реагентами; 14 – емкость сбора отработанных чистящих реагентов

Figure 1. Technological scheme of the purification system in the production of chemical synthesis: 1 – acidic washing water collection tank; 2 – acidic wastewater collection tank; 3 – pump; 4 – solution neutralization apparatus; 5 – electro-dialyzer; 6 – purified water collection tank; 7 – collection tank for solutions to be disposed of; 8 – coarse filter; 9 – sludge collector; 10 – thin-layer sump; 11 – pH adjustment unit; 12 – electrohyperfiltration apparatus; 13 – container with cleaning reagents; 14 – collection tank for spent cleaning reagents

Еще одной важной тенденцией является разработка методов управления параметрами разделения, включающая в себя развитие новых методов контроля и регулирования электродного потенциала, температуры и других процессных параметров [9], которые позволяют оптимизировать эффективность процесса и снизить затраты на энергию.

На основе проведенного литературного обзора в отечественных и зарубежных источниках [10–13] и собственных исследований в современной тенденции развития технологического оформления электромембранных методов разделения можно выделить несколько основных групп:

1. Новые подходы и методики электромембранного разделения промышленных растворов. Существующие методы электромембранного разделения растворов имеют свои ограничения, и поэтому проводятся исследования с целью разработки новых методик. Главная цель заключается в создании эффективных и устойчивых процессов, которые могут быть применены в промышленности для разделения компонентов в технологических растворах. Исследования и разработки новых подходов и методик электромембранного разделения включают экспериментальные и теоретические подходы, что позволяет оценить производительность и эффективность новых методов, провести оптимизацию параметров процесса и предсказать поведение системы на основе моделирования [14–17].

Многочисленные исследования мембранного разделения направлены на определение характеристик процесса при повышенной плотности тока. Процесс разделения проводят при относительно небольших плотностях тока, поскольку существует прямая зависимость ионного потока от плотности тока, но известна тенденция к увеличению скорости извлечения за счет увеличения плотности тока, которая приводит как к положительным, так и к отрицательным эффектам [18].

Математическое моделирование процессов, протекающих в электромембранных ячейках, широко используют для разработки новых методик разделения и моделирования процессов в аппарате [19]. Выделяют три наиболее используемые модели для оценки процессов на ионселективных мембранах: модель с поверхностным зарядом, пространственным зарядом и модель массива наноканалов. Численное моделирование базируется на основных уравнениях Навье-Стокса и Нернста-Планка в предположении электронейтральности, вычисляются поля давления, скорости, концентрации и электрического потенциала [20].

2. Модернизация или разработка новых электромембранных аппаратов и устройств.

Где можно выделить несколько ключевых направлений, которые сфокусированы на повышении эффективности и качества разделения, а также снижении энергопотребления и стоимости производства [21–24].

В настоящее время одно из представленных направлений в развитии мембранных технологий заключается в стремлении к увеличению площади соприкосновения между мембраной и технологическим раствором внутри аппарата или устройства. Данное направление является ответом на потребности в повышении эффективности разделения и повышении производительности мембранных систем. Это может быть достигнуто путем разработки новых структур мембран, изменения геометрии аппарата или устройства, а также совершенствования методов и технологий производства.

Снижение энергопотребления также является важным фактором в усовершенствовании электромембранных аппаратов и устройств. Работы по оптимизации параметров и режимов работы, а также разработке новых энергосберегающих технологий помогут снизить энергозатраты, сделав процессы разделения более эффективными.

Кроме того, современные технологии в производстве и новые инженерные решения позволяют снизить стоимость изготовления электромембранных аппаратов и устройств. Это может быть достигнуто через использование экономически выгодных материалов, оптимизацию производственных процессов и разработку более простых и эффективных конструкций.

Наконец, разработка новых конструкций аппаратов и технологических схем играет важную роль в усовершенствовании электромембранных устройств. Новые архитектуры и дизайны позволяют достичь лучшей производительности, оптимизировать процессы разделения и улучшить качество получаемых продуктов.

Все эти усовершенствования и новые разработки в области электромембранных аппаратов и устройств вместе способствуют развитию и модернизации процессов разделения и применения электромембранных технологий в различных отраслях, таких как водоочистка, фармацевтика, химическая промышленность и другие.

3. Разработка новых типов мембран и материалов для их изготовления. Это одна из ключевых групп тенденций в области электрохимического мембранного разделения. Данное направление включает разработку и внедрение новых материалов с максимальным коэффициентом задержания и водопроницаемостью для разделения конкретных компонентов [25–27]. Новые материалы обладают улучшенными характеристиками,

такими как высокая селективность разделения, повышенная эффективность и стабильность процесса, а также сниженное энергопотребление.

В процессе разработки новых материалов учеными и инженерами проводятся исследования по синтезу и модификации различных типов мембран, включая полимерные, керамические, металлические и композитные материалы. Использование новых материалов позволяет создать мембраны с оптимальными физико-химическими свойствами, которые справляются с особыми вызовами и требованиями каждого конкретного процесса разделения.

Например, использование наноматериалов позволяет достичь лучшего коэффициента разделения и снизить проницаемость для нежелательных компонентов. Кроме того, применение новых функциональных мембран, таких как ионометрические мембраны или селективные мембраны с определенными свойствами, предоставляет возможность разделения более сложных и разнообразных смесей.

Инновационные подходы, такие как использование 3D-печати и нанокompозитных материалов, позволяют создавать мембраны с уникальными структурами и свойствами. Такие материалы могут обеспечивать более эффективную передачу и разделение ионов и молекул, а также обладать повышенной механической прочностью и стабильностью при эксплуатации.

В целом, разработка и использование новых материалов в электрохимическом мембранном разделении способствует повышению технологической и экономической эффективности процессов разделения, а также открывает новые возможности для применения технологии в различных отраслях, включая водоподготовку, энергетику, химическую промышленность и другие.

4. Интеграция мембранного разделения и электрохимии. Исследования в данном направлении ведутся с целью решения одной из основных проблем мембранного разделения – загрязнения мембран. Загрязнение мембран происходит в результате накопления загрязнителей (веществ, не прошедших через мембрану) на поверхности и в порах. Негативные эффекты от загрязнения мембран разнообразны. Это и увеличение энергопотребления, вследствие снижения потока, и увеличение частоты замены мембран, и невозможность использования мембранных методов при разделении некоторых растворов.

Уменьшение загрязнения мембран предлагается достичь благодаря интеграции мембранного разделения и электрохимии, разработке нового типа мембран – электропроводящих мембран. Мембраны должны обладать электрохимическими свойствами, такими как хорошая

электропроводность и электрохимическая стабильность, чтобы обеспечить перенос электронов и длительную работу в воде [28]. Для этих целей идеально подходят углеродные наноматериалы, обладающие превосходной электропроводностью и стабильностью из-за их делокализованной π -электронной системы и sp² – гибридных орбиталей с сильными σ -связями в плоскости. Кроме того, они имеют атомно-гладкую поверхность, или внутренние каналы, или атомно-тонкую структуру и, следовательно, могут использоваться для создания высокоэффективных мембран с высокой селективностью и проницаемостью [29–31].

Катализатор закрепляется на мембранах, благодаря чему загрязняющие вещества могут подвергаться окислительному разложению с передачей их электронов окислителям. Электрокаталитические мембраны из углеродных нанотрубок обладают уникальными характеристиками, позволяющими во время мембранной фильтрации удалять загрязняющие вещества и уменьшать загрязнения за счет электрохимического окисления молекул загрязняющих веществ, природных органических веществ и биомолекул, попавших на поверхность или в каналы мембраны [32, 33].

Заключение

Электромембранные процессы – динамично развивающаяся технология со многими существующими и перспективными направлениями применения, включающая разделение промышленных растворов, очистку сточных вод, опреснение морской воды и другие. Использование электромембранных процессов при очистке промышленных сточных вод позволяет осуществлять полную очистку и повторно использовать в производстве регенерированную воду. Внедрение мембранной технологии позволит преодолеть или значительно минимизировать ограничения, накладываемые на существующие технологии.

Процессы и элементы, входящие в состав установок электромембранного разделения, находятся под постоянным вниманием исследователей, что позволяет сделать вывод о востребованности и перспективности технологии электромембранного разделения.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта «Теоретические и экспериментальные исследования электрокинетических и структурных характеристик полимерных мембран посредством применения искусственных нейронных сетей в процессах электромембранной очистки промышленных растворов, содержащих ионы металлов» (FEMU-2024-0011).

Литература

- 1 Сазонов О.О., Панов Н.М., Дулмаев С.Э. Клинов А.В. и др. Первапорационные характеристики элементарноорганических полиуретанов // Вестник Технологического университета. 2023. Т. 26. № 2. С. 73–78.
- 2 Selatile K., Ray S.S., Kumar N., Ojijo V. et al. Fabrication of Advanced 2D Nanomaterials Membranes for Desalination and Wastewater Treatment // Two-Dimensional Materials for Environmental Applications. 2023. P. 245–268. doi: 10.1007/978-3-031-28756-5_8
- 3 Назаров В.Г., Нагорнова И.В., Столяров В.А., Доронин Ф.А. и др. Влияние фторирования сверхвысокомолекулярного полиэтилена и композитов на его основе на поверхностную структуру и свойства // Химическая физика. 2018. №. 12. С. 63–73. doi:10.1134/S0207401X18110080
- 4 Li H., Huang L., Li X., Huang W. et al. Calcium-alginate/HKUST-1 interlayer-assisted interfacial polymerization reaction enhances performance of solvent-resistant nanofiltration membranes // Separation and Purification Technology. 2023. № 309. P. 123031. doi:10.1016/j.seppur.2022.123031
- 5 Лебедева О.В., Сипкина Е.И. Полимерные композиты и их свойства // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12. № 2 (41). С. 192–207. doi: 10.21285/2227-2925-2022-12-2-192-207
- 6 Sinha Ray S., Singh Bakshi H., Dangayach R., Singh R. et al. Recent developments in nanomaterials-modified membranes for improved membrane distillation performance // Membranes. 2020. V. 10. №. 7. P. 140. doi:10.3390/membranes10070140
- 7 Das R., Ali M.E., Abd Hamid S.B., Ramakrishna S. et al. Carbon nanotube membranes for water purification: A bright future in water desalination // Desalination. 2014. №. 336. P. 97–109. doi:10.1016/j.desal.2013.12.026
- 8 Zhao D.L., Chung T.-S. Applications of carbon quantum dots (CQDs) in membrane technologies: A review // Water Res. 2018. №. 147. P. 43–49. doi:10.1016/j.watres.2018.09.040
- 9 Филимонова А.А., Чичиринов А.А., Печенкин А.В., Чичирова Н.Д. Оптимизация гидродинамического режима в камерах прочного электромембранного аппарата // Мембраны и мембранные технологии. 2023. Т. 13. № 1. С. 15–22.
- 10 Сайт Роспатента. URL: <http://www.fips.ru/>
- 11 Google Patents. URL: <https://patents.google.com>
- 12 Заболоцкий В.И., Березина Н.П., Никоненко В.В., Шудренко А.А. Развитие мембранных технологий на основе электродиализа в России // Наука Кубани. 2010. № 3. С. 4–10.
- 13 Лепеш Г.В., Панасюк А.С., Лепеш Г.В., Чурилин А.С. Современные методы очистки сточных вод промышленных предприятий // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2016. № 3(37). С. 14–23.
- 14 Козадерова О.А. Нифталиев С.И., Ким К.Б. Применение биполярных мембран МБ-2, модифицированных гидроксидом хрома (III), для конверсии сульфата натрия // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2019. Т. 62. № 3. С. 30–36.
- 15 Евдокимов И.А., Толмачев Л.И., Бондарчук А.Д. Классический и биполярный электродиализ в инновационных технологиях переработки творожной сыворотки // Молочная промышленность. 2018. № 9. С. 69–73.
- 16 Тураев Д.Ю., Колесников В.А., Попов А.Н. Теоретические и практические основы регенерации и утилизации мембранным и безмембранным электролизом серноокислых растворов травления меди, применяемых в производстве печатных плат // Теоретические основы химической технологии. 2021. Т. 55. № 1. С. 87–98.
- 17 Ткаченко Д.О., Зажигаева К.В. Применение установок электродеионизации в практике водоподготовки на тепловых электрических станциях // Новая наука: От идеи к результату. 2016. № 4–1. С. 87–89.
- 18 Strnad J., Kincl M., Beneš J., Svoboda M. et al. Overlimiting mechanisms of heterogeneous cation-and anion-exchange membranes: A side-by-side comparison // Desalination. 2024. №. 571. P. 117093. doi:10.1016/j.desal.2023.117093
- 19 Бурчу М.П., Липин А.Г., Шибашов А.В. Моделирование процесса разделения растворов электролитов в электромембранном аппарате // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ. 2013. № 3. С. 83–85.
- 20 Uzdenova A., Urtenov M. Potentiodynamic and galvanodynamic regimes of mass transfer in flow-through electrodiagnosis membrane systems: Numerical simulation of electroconvection and current-voltage curve // Membranes. 2020. V. 10. №. 3. P. 49. doi: 10.3390/membranes10030049
- 21 Su X., Hatton T.A. Electrosorption at functional interfaces: from molecular-level interactions to electrochemical cell design // Physical Chemistry Chemical Physics. 2017. № 19(35). P. 23570–23584. doi: 10.1039/c7cp02822a
- 22 Лазарев К.С., Ковалев С.В., Лазарев С.И., Кочетов В.И. Проектирование и расчет электробаромембранных аппаратов плоскокамерного типа для очистки промышленных стоков // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. № 5. С. 5–9.
- 23 Хохлов П.А., Шестаков К.В., Лазарев Д.С. О некоторых особенностях разработки электродиализатора с охлаждающими трубками // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент. Материалы XI Международной научно-инновационной молодежной конференции. Тамбов, 2019. С. 212–214.
- 24 Шестаков К.В., Лазарев С.И., Селиванов Ю.Т. Математическое описание и методика расчета технологических параметров электродиализного аппарата для очистки сточных вод химических производств // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2020. № 1. С. 32–34.
- 25 Кононенко Н.А., Демина О.А., Лозаа Н.В., Долгополов С.В. и др. Теоретическое и экспериментальное исследование предельного диффузионного тока в системах с модифицированными перфторированными сульфокатионитовыми мембранами // Электрохимия. 2021. Т. 57. № 5. С. 283–300.
- 26 Вайнертова К., Кршивчик Й., Недела Д., Странска Э. и др. Полимерные связующие для ионообменных мембран с повышенной механической стойкостью // Производство и использование эластомеров. 2016. № 2. С. 33–42.
- 27 Лебедева О.А., Седелкин В.М., Потехина Л.Н. Технология получения и характеристики хитозановых нанопермембран // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2022. Т. 65. № 1. С. 58–65. doi: 10.6060/ivkkt.20226501.6340
- 28 Sun M., Wang X.X., Winter L.R., Zhao Y.M. et al. Electrified Membranes for Water Treatment Applications // ACS ES&T Engg. 2021. №. 1. P. 725–752. doi:10.1021/acsestengg.1c00015

- 29 Zhang Z.X., Huang G.H., Li Y.P., Chen X.J. et al. Electrically conductive inorganic membranes: A review on principles, characteristics and applications // *Chem. Eng. J.* 2022. № 427. P. 131987. doi:10.1016/j.cej.2021.131987
- 30 Patil J.J., Jana A., Getachew B.A., Bergsman D.S. et al. Conductive carbonaceous membranes: recent progress and future opportunities // *J. Mater. Chem. A.* 2021. №. 9. P. 3270–3289. doi:10.1039/D0TA08928A
- 31 Ahmed F., Lalia B.S., Kochkodan V., Hilal N. et al. Electrically conductive polymeric membranes for fouling prevention and detection: A review // *Desalination.* 2016. №. 391. P. 1–15. doi:10.1016/j.desal.2016.01.030
- 32 Fan X., Zhao H., Liu Y., Quan X. et al. Enhanced permeability, selectivity, and antifouling ability of cnts/Al₂O₃ membrane under electrochemical assistance // *Environ. Sci. Technol.* 2015. №. 49. P. 2293–2300. doi: 10.1021/es5039479
- 33 Fan X., Zhao H., Quan X., Liu Y. et al. Nanocarbon-based membrane filtration integrated with electric field driving for effective membrane fouling mitigation // *Water Res.* 2016. №. 88. P. 285–292. doi: 10.1016/j.watres.2015.10.043

References

- 1 Sazonov O.O., Panov N.M., Dulmaev S.E. Klinov A.V. et al. Pervaporation characteristics of organoelement polyurethanes. *Bulletin of the Technological University.* 2023. vol. 26. no. 2. pp. 73–78. doi: 10.55421/1998–7072_2023_26_2_73 (in Russian).
- 2 Selatile K., Ray S.S., Kumar N., Ojijo V. et al. Fabrication of Advanced 2D Nanomaterials Membranes for Desalination and Wastewater Treatment. *Two-Dimensional Materials for Environmental Applications.* 2023. pp. 245–268. doi: 10.1007/978–3–031–28756–5_8
- 3 Nazarov V.G., Nagornova I.V., Stolyarov V.A., Doronin F.A. et al. The effect of fluorination of ultrahigh molecular weight polyethylene and composites based on it on the surface structure and properties. *Chemical Physics.* 2018. no. 12. pp. 63–73. doi:10.1134/S0207401X18110080 (in Russian).
- 4 Li H., Huang L., Li X., Huang W. et al. Calcium-alginate/HKUST-1 interlayer-assisted interfacial polymerization reaction enhances performance of solvent-resistant nanofiltration membranes. *Separation and Purification Technology.* 2023. no. 309. pp. 123031. doi:10.1016/j.seppur.2022.123031
- 5 Lebedeva O.V., Sipkina E.I. Polymer composites and their properties. *News of universities. Applied chemistry and biotechnology.* 2022. vol. 12. no. 2 (41). pp. 192–207. doi: 10.21285/2227–2925–2022–12–2–192–207 (in Russian).
- 6 Sinha Ray S., Singh Bakshi H., Dangayach R., Singh R. et al. Recent developments in nanomaterials-modified membranes for improved membrane distillation performance. *Membranes.* 2020. vol. 10. no. 7. pp. 140. doi:10.3390/membranes10070140
- 7 Das R., Ali M.E., Abd Hamid S.B., Ramakrishna S. et al. Carbon nanotube membranes for water purification: A bright future in water desalination. *Desalination.* 2014. no. 336. pp. 97–109. doi:10.1016/j.desal.2013.12.026
- 8 Zhao M., Chung T.–S. Applications of carbon quantum dots (CQDs) in membrane technologies: A review. *Water Res.* 2018. no. 147. pp. 43–49. doi:10.1016/j.watres.2018.09.040
- 9 Filimonova A.A., Chichirov A.A., Pechenkin A.V., Chichirova N.D. Optimization of the hydrodynamic regime in chambers of a flowing electromembrane apparatus. *Membranes and membrane technologies.* 2023. vol. 13. no. 1. pp. 15–22. (in Russian).
- 10 Rospatent's website. Available at: <http://www.fips.ru/> (in Russian).
- 11 Google Patents. Available at: <https://patents.google.com/> (in Russian).
- 12 Zabolotsky V.I., Berezina N.P., Nikonenko V.V., Shudrenko A.A. Development of membrane technologies based on electro dialysis in Russia. *Nauka Kubani.* 2010. no. 3. pp. 4–10. (in Russian).
- 13 Lepesh G.V., Panasyuk A.S., Lepesh G.V., Churilin A.S. Modern methods of wastewater treatment of industrial enterprises. *Technical and technological problems of service.* 2016. no. 3(37). pp. 14–23. (in Russian).
- 14 Kozaderova O.A. Niftaliev S.I., Kim K.B. Application of bipolar MB-2 membranes modified with chromium (III) hydroxide for sodium sulfate conversion. *News of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology.* 2019. vol. 62. no. 3. pp. 30–36. (in Russian).
- 15 Evdokimov I.A., Tolmachev L.I., Bondarchuk A.D. Classical and bipolar electro dialysis in innovative technologies for processing curd whey. *Dairy industry.* 2018. no. 9. pp. 69–73. (in Russian).
- 16 Turaev D.Yu., Kolesnikov V.A., Popov A.N. Theoretical and practical bases of regeneration and utilization by membrane and membrane-free electrolysis of sulfuric acid solutions of copper etching used in the production of printed circuit boards. *Theoretical foundations of chemical technology.* 2021. vol. 55. no. 1. pp. 87–98. (in Russian).
- 17 Tkachenko D.O., Zazhigaeva K.V. Application of electrodeionization installations in the practice of water treatment at thermal power plants. *New Science: From idea to result.* 2016. no. 4–1. pp. 87–89. (in Russian).
- 18 Strnad J., Kincl M., Beneš J., Svoboda M. et al. Overlimiting mechanisms of heterogeneous cation-and anion-exchange membranes: A side-by-side comparison. *Desalination.* 2024. no. 571. pp. 117093. doi:10.1016/j.desal.2023.117093
- 19 Burchu M.P., Lipin A.G., Shibashov A.V. Modeling of the process of separation of electrolyte solutions in an electromembrane apparatus. *Mathematical methods in engineering and technologies – MMTT.* 2013. no. 3. pp. 83–85. (in Russian).
- 20 Uzdenova A., Urtenov M. Potentiodynamic and galvanodynamic regimes of mass transfer in flow-through electro dialysis membrane systems: Numerical simulation of electroconvection and current-voltage curve. *Membranes.* 2020. vol. 10. no. 3. pp. 49. doi: 10.3390/membranes10030049
- 21 Su X., Hatton T.A. Electrosorption at functional interfaces: from molecular-level interactions to electrochemical cell design. *Physical Chemistry Chemical Physics.* 2017. no 19(35). pp. 23570–23584. doi: 10.1039/c7cp02822a
- 22 Lazarev K.S., Kovalev S.V., Lazarev S.I., Kochetov V.I. Design and calculation of electrobaromembrane flat-chamber type devices for industrial wastewater treatment. *Chemical and oil and gas engineering.* 2013. no. 5. pp. 5–9. (in Russian).
- 23 Khokhlov P.A., Shestakov K.V., Lazarev D.S. On some features of the development of an electro dialyzer with cooling tubes. *Modern solid-phase technologies: theory, practice and innovative management. Materials of the XI International Scientific and Innovative Youth Conference. Tambov, 2019.* pp. 212–214. (in Russian).
- 24 Shestakov K.V., Lazarev S.I., Selivanov Yu. T. Mathematical description and methodology for calculating technological parameters of an electro dialysis apparatus for wastewater treatment of chemical industries. *Chemical and oil and gas engineering.* 2020. no. 1. pp. 32–34. (in Russian).

25 Kononenko N.A., Demina O.A., Lozaa N.V., Dolgoplov S.V. et al. Theoretical and experimental investigation of the limiting diffusion current in systems with modified perfluorinated sulfocationite membranes. *Electrochemistry*. 2021. vol. 57. no. 5. pp. 283–300. doi: 10.31857/S0424857021050066 (in Russian).

26 Vainertova K., Krshivchik J., Nedela D., Stranska E., etc. Polymer binders for ion exchange membranes with increased mechanical resistance. Production and use of elastomers. 2016. no. 2. pp. 33–42. (in Russian).

27 Lebedeva O.A., Sedelkin V.M., Potekhina L.N. Technology of obtaining and characteristics of chitosan nanofiltration membranes. *Izvestia of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology*. 2022. vol. 65. no. 1. pp. 58–65. doi: 10.6060/ivkkt.20226501.6340 (in Russian).

28 Sun M., Wang X.X., Winter L.R., Zhao Y.M. et al. Electrified Membranes for Water Treatment Applications. *ACS ES&T Engg*. 2021. no. 1. pp. 725–752. doi:10.1021/acsestengg.1c00015

29 Zhang Z.X., Huang G.H., Li Y.P., Chen X.J. et al. Electrically conductive inorganic membranes: A review on principles, characteristics and applications. *Chem. Eng. J.* 2022. no. 427. pp. 131987. doi:10.1016/j.cej.2021.131987

30 Patil J.J., Jana A., Getachew B.A., Bergsman D.S. et al. Conductive carbonaceous membranes: recent progress and future opportunities. *J. Mater. Chem. A*. 2021. no. 9. pp. 3270–3289. doi:10.1039/D0TA08928A

31 Ahmed F., Lalia B.S., Kochkodan V., Hilal N. et al. Electrically conductive polymeric membranes for fouling prevention and detection: A review. *Desalination*, 2016, no. 391. pp. 1–15. doi:10.1016/j.desal.2016.01.030

32 Fan X., Zhao H., Liu Y., Quan X. et al. Enhanced permeability, selectivity, and antifouling ability of cnts/Al₂O₃ membrane under electrochemical assistance. *Environ. Sci. Technol.* 2015. no. 49. pp. 2293–2300. doi: 10.1021/es5039479

33 Fan X., Zhao H., Quan X., Liu Y. et al. Nanocarbon-based membrane filtration integrated with electric field driving for effective membrane fouling mitigation. *Water Res.* 2016. no. 88. pp. 285–292. doi: 10.1016/j.watres.2015.10.043

Сведения об авторах

Константин В. Шестаков к.т.н., доцент, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственных технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, kostyanshestakov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0746-5161>

Сергей И. Лазарев д.х.н., профессор, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственных технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, sergey.lazarev.1962@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3429-1139>

Ольга В. Долгова к.т.н., инженер, кафедра природопользования и защиты окружающей среды, Тамбовский государственных технический университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, o.v.dolgova@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-9588-4897>

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра коммерции и товароведения, Воронежский филиал Российского экономического университете имени ГВ. Плеханова, Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394030, Россия, kaf-kit@vfreu.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Konstantin V. Shestakov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetskaya Str., 106, Tambov, 392000, Russia, kostyanshestakov@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0746-5161>

Sergey I. Lazarev Dr. Sci. (Engin.), professor, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetskaya Str., 106, Tambov, 392000, Russia, sergey.lazarev.1962@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3429-1139>

Olga V. Dolgova Cand. Sci. (Engin.), engineer, nature management and environmental protection department, Tambov State Technical University, Sovetskaya Str., 106, Tambov, 392000, Russia, o.v.dolgova@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0000-9588-4897>

Konstantin K. Polyansky Dr. Sci. (Engin.), professor, commerce and commodity science department, Voronezh branch of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Karl Marx, 67A, Voronezh, 394030, Russia, kaf-kit@vfreu.ru

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/03/2024	После редакции 28/03/2024	Принята в печать 17/04/2024
Received 11/03/2024	Accepted in revised 28/03/2024	Accepted 17/04/2024

О статистической устойчивости оптимального решения, найденного по уравнению регрессии

Юрий В. Бугаев	¹	y_bugaev52@mail.ru	 0000-0002-1043-7682
Людмила А. Коробова	²	lyudmila_korobova@mail.ru	 0000-0003-1349-732X
Ирина Ю. Шурупова	¹	i_shur@mail.ru	 0000-0002-0992-2998

¹ Военно-воздушная академия» им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Результаты любых экспериментов сопровождаются погрешностями из-за неточности измерений и влияния неконтролируемых факторов. Это значит, что при проведении и использовании результатов экспериментов необходимо уметь установить точность полученных решений и выводов. Это особенно важно при поиске оптимальных условий, поскольку оптимизационные задачи обладают плохой обусловленностью и весьма чувствительны к погрешностям измерений и вычислений. Данная работа посвящена исследованию чувствительности статистических оптимизационных моделей, полученных на основании уравнения регрессии и применяемых при изучении процессов пищевых технологий. Для абстрактной оптимизационной задачи координата точки экстремума рассматривалась как некоторая случайная величина, значение которой варьирует под действием ошибок экспериментов. В результате проделанных исследований получены формулы для функции и плотности распределения этой величины. Они позволяют рассчитать доверительный интервал положения оптимума. На примере данных из литературного источника показано, что даже при удовлетворительных статистических характеристиках построенного уравнения регрессии координата точки экстремума может варьировать в весьма широких пределах – более 100% от найденной оценки. Предложены меры для повышения статистической устойчивости решения оптимизационной задачи посредством смещения области планирования в предполагаемую окрестность оптимальной точки. С помощью построенных законов распределения получены численные оценки степени сужения доверительного интервала координаты точки экстремума после подобного смещения. Достигнутый эффект продемонстрирован на примере оптимизационной задачи из литературного источника. Помимо этого, было также выяснено, что при построении квадратичного уравнения регрессии в оптимальной области возможно ухудшение показателей значимости регрессии по сравнению с моделями, построенным для удаленной области планирования. Поэтому при экспериментах в оптимальной области особенно важно добиваться уменьшения влияния экспериментальных ошибок, например, посредством увеличения количества параллельных опытов.

Ключевые слова: задача оптимизации, уравнение регрессии, точка экстремума, ошибки эксперимента, закон распределения, статистическая устойчивость, доверительный интервал.

On the statistical stability of the optimal solution, found from the regression equation

Yuri V. Bugaev	¹	y_bugaev52@mail.ru	 0000-0002-1043-7682
Lyudmila A. Korobova	²	lyudmila_korobova@mail.ru	 0000-0003-1349-732X
Irina Yu. Shurupova	¹	i_shur@mail.ru	 0000-0002-0992-2998

¹ Air Force Academy named after prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarina, st. Old Bolsheviks, 54 "A", Voronezh, 394064, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The results of any experiments are accompanied by errors due to measurement inaccuracy and the influence of uncontrollable factors. This means that when conducting and using the results of experiments, it is necessary to be able to establish the accuracy of the solutions and conclusions obtained. This is especially important when searching for optimal conditions, since optimization problems are poorly conditioned and are very sensitive to measurement and calculation errors. This work is devoted to the study of the sensitivity of statistical optimization models obtained on the basis of the regression equation and used in the study of food technology processes. For an abstract optimization problem, the coordinate of the extremum point was considered as some random variable, the value of which varies under the influence of experimental errors. As a result of the research, formulas for the function and density of distribution of this quantity were obtained. They allow you to calculate the confidence interval of the optimum position. Using data from a literary source as an example, it is shown that even with satisfactory statistical characteristics of the constructed regression equation, the coordinate of the extremum point can vary within a very wide range - more than 100% of the found estimate. Measures are proposed to increase the statistical stability of the solution to the optimization problem by shifting the planning area to the expected vicinity of the optimal point. Using the constructed distribution laws, numerical estimates of the degree of narrowing of the confidence interval of the coordinates of the extremum point after such a shift were obtained. The achieved effect is demonstrated using an example of an optimization problem from a literary source. In addition, it was also found that when constructing a quadratic regression equation in the optimal area, regression significance indicators may deteriorate compared to models built for a remote planning area. Therefore, when experimenting in the optimal region, it is especially important to reduce the influence of experimental errors, for example, by increasing the number of parallel experiments

Keywords: optimization problem, regression equation, extremum point, experimental errors, distribution law, statistical stability, confidence interval.

Для цитирования

Бугаев Ю.В., Коробова Л.А., Шурупова И.Ю. О статистической устойчивости оптимального решения, найденного по уравнению регрессии // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 48–55. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-48-55

For citation

Bugaev Yu.V., Korobova L.A., Shurupova I.Yu. On the statistical stability of the optimal solution, found from the regression equation. Vestnik VGUI [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 48–55. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-48-55

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Поиск оптимальных условий функционирования какой-либо системы является одной из наиболее распространенных научно-технических задач. Она возникает в тот момент, когда установлена возможность проведения проектируемого процесса и необходимо найти наилучшие в некотором смысле условия его реализации. При поиске оптимальных условий протекания процессов пищевой технологии важное место отводится экспериментам и математическим методам их обработки, в частности, регрессионному анализу и планированию экспериментов [1–21].

Поскольку любые экспериментальные исследования, в частности в пищевых технологиях, неизбежно сопряжены с погрешностями, вызванными неточностью измерений и влиянием неконтролируемых факторов, то важным и ответственным моментом при проведении и использовании результатов любых экспериментов является установление точности полученных решений. Это особенно важно при поиске оптимальных условий, т. к. оптимизационные задачи обладают плохой обусловленностью [22, 23] и весьма чувствительны к погрешностям измерений и вычислений.

Как известно [24], в статистических исследованиях для анализа точности и надежности полученных результатов и выводов используются так называемые интервальные оценки параметров случайных величин. Они указывают, в каких границах заключено точное значение параметра исследуемой случайной величины. Настоящая работа посвящена исследованию чувствительности статистических оптимизационных моделей, применяемых в изучении процессов пищевых технологий и разработке методики построения интервальных оценок для численного представления качества результатов оптимизации.

Материалы и методы

Рассмотрим пример оптимизации.

Пример 1. Работа [5] посвящена разработке оптимальной рецептуры комбинированной пищевой системы, т. е. мясного фарша с добавлением растительных ингредиентов. В частности, в ходе проведенных экспериментов была установлена связь массовой доли льняной муки (X , %) и влагосвязывающей способности (Y , %) комбинированного фарша. Согласно приведенным данным [5], квадратичное уравнение такой связи для ортогонализированной независимой переменной имеет вид

$$Y = 75.8333 + 1.8(X - 12.5) - 0.06143 \left[(X - 12.5)^2 - 72.9167 \right]. \quad (1)$$

Уравнение (1) имеет хорошие статистические характеристики: коэффициент детерминации $R^2 = 0.968$, расчетное значение критерия Фишера для оценки значимости регрессии $F_{\text{выч}} = 91.6$ при критическом $F_{\text{критич}} = 9.55$, остаточная дисперсия $s_{\text{остат}}^2 = 16.43$.

Согласно данному уравнению, наибольшая влагосвязывающая способность достигается при $X^{\text{opt}} = 1.8/2 \cdot 0.06143 + 12.5 = 27.15\%$.

Оценим степень влияния экспериментальных ошибок, допущенных при построении уравнения регрессии на точность определения координаты точки оптимума.

Пусть имеем квадратичное уравнение парной регрессии для ортогонализированной независимой переменной

$$Y = b_0 + b_1(X - \bar{X}) - b_2 \left[(X - \bar{X})^2 - A \right] \quad (2)$$

где $\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_i X_i$ – среднее арифметическое экспериментальных значений независимой переменной X ; A – коэффициент, полученный в процессе ортогонализации Грама-Шмидта.

Тогда оптимальное значение X определяется по формуле

$$X^{\text{opt}} = \bar{X} - \frac{b_1}{2b_2} \quad (3)$$

Как известно, при нормальном распределении экспериментальных ошибок МНК-оценки коэффициентов уравнения регрессии представляют собой случайные нормально распределенные величины, причем при использовании ортогонального плана эксперимента они независимы. Таким образом, координата оптимальной точки квадратичной функции регрессии вида (2), представляет собой случайную величину вида

$$\phi = C + \frac{\xi}{\eta} \quad (4)$$

где ξ и η – независимые нормально распределенные случайные величины, C – известная константа.

В литературе не были найдены данные о распределении случайной величины (4), поэтому авторы получили соответствующий результат самостоятельно.

Пусть ξ и η – независимые нормально распределенные случайные величины с параметрами (m_1, s_1) и (m_2, s_2) , соответственно. Построим функцию распределения $F(t)$ случайной величины (4). По определению функции распределения, значение $F(t)$ равно вероятности $P(\phi < t)$ того, что случайная величина ϕ меньше неслучайного числа t , т. е.

$$P \left(C + \frac{\xi}{\eta} < t \right)$$

Неравенство в скобках при фиксированном t эквивалентно следующим соотношениям:

$$\begin{aligned} \frac{\xi}{t-C} < \eta \text{ при } \frac{\eta}{t-C} > 0 \\ \frac{\xi}{t-C} > \eta \text{ при } \frac{\eta}{t-C} < 0 \\ \frac{\xi}{\eta} < 0 \text{ при } t = C \end{aligned} \quad (5)$$

Обозначим, а $F_1(x), f_1(x)$ – соответственно функцию и плотность распределения случайной величины ξ , а $F_2(x), f_2(x)$ – соответственно функцию и плотность распределения случайной величины η . Тогда в соответствии с (5) функция распределения $F(t)$ определится по формуле

$$F(t) = \begin{cases} 1 - P_1(t) \text{ при } t - C > 0 \\ P_2(t) \text{ при } t - C < 0 \\ P_3 \text{ при } t = C \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} P_1(t) &= \int_{-\infty}^0 f_1(x) \left(F_2(0) - F_2\left(\frac{x}{t-C}\right) \right) dx + \int_0^{\infty} f_1(x) \left(F_2\left(\frac{x}{t-C}\right) - F_2(0) \right) dx \\ P_2(t) &= \int_{-\infty}^0 f_1(x) \left(F_2\left(\frac{x}{t-C}\right) - F_2(0) \right) dx + \int_0^{\infty} f_1(x) \left(F_2(0) - F_2\left(\frac{x}{t-C}\right) \right) dx \\ P_3 &= F_1(0) \cdot (1 - F_2(0)) + (1 - F_1(0)) \cdot F_2(0) \end{aligned} \quad (8)$$

Вычисления по формулам (6), (8) не сложно выполнить с использованием системы компьютерной математики MathCAD с учетом того, что для нормального распределения в системе существуют встроенные функции $pnorm$ $dnorm$ для $F_j(x)$ и $f_j(x)$, $i = 1, 2$, соответственно.

На основании формул (6), (8) найдем выражение для плотности распределения $f(t) = F'(t)$, воспользовавшись правилом дифференцирования под знаком интеграла:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(x) f_2\left(\frac{x}{t-C}\right) \cdot \frac{|x|}{(t-C)^2} dx \quad (9)$$

Упростим выражение (9), выделив в подынтегральном выражении множитель, зависящий только от переменной интегрирования x и вычислив в явном виде интеграл. Получим

$$f(t) = \frac{s_1 s_2 e^T}{\pi V} - \frac{D}{V^{3/2} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(T + \frac{D^2}{2Vs_1^2 s_2^2}\right) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{-D}{s_1 s_2 \sqrt{2V}}\right) \quad (10)$$

где

$$V = (t-C)^2 s_2^2 + s_1^2, \quad T = -\frac{1}{2} \left(\frac{m_1^2}{s_1^2} + \frac{m_2^2}{s_2^2} \right),$$

$$D = m_1 s_2^2 (t-C) + m_2 s_1^2, \quad \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

встроенная функция системы MathCAD.

где

$$\begin{aligned} P_1(t) &= \int_{-\infty}^0 f_1(x) \int_{\frac{x}{t-C}}^0 f_2(y) dy dx + \int_0^{\infty} f_1(x) \int_0^{\frac{x}{t-C}} f_2(y) dy dx \\ P_2(t) &= \int_{-\infty}^0 f_1(x) \int_0^{\frac{x}{t-C}} f_2(y) dy dx + \int_0^{\infty} f_1(x) \int_0^{\frac{x}{t-C}} f_2(y) dy dx \\ P_3 &= \int_{-\infty}^0 f_1(x) \int_0^{\infty} f_2(y) dy dx + \int_0^{\infty} f_1(x) \int_{-\infty}^0 f_2(y) dy dx \end{aligned} \quad (7)$$

Поскольку

$$\int_a^b f_2(y) dy = F_2(b) - F_2(a)$$

то формулы (7) можно упростить, понизив кратность интегралов:

Для проверки адекватности полученной плотности воспользуемся имитационной моделью. Для повышения надежности результата вместо обычных псевдослучайных чисел применим ЛПт-последовательность И.М. Соболя [25]. На рисунке 1 приведен совместный график плотности (10) и гистограммы, полученной по результатам имитации случайной величины (4) с помощью 1023 чисел Соболя.

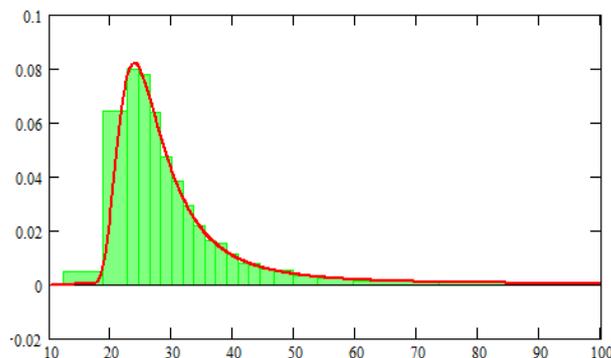


Рисунок 1. Результаты имитационной проверки адекватности плотности вероятностей (10)

Figure 1. Results of simulation verification of probability density adequacy (10)

Расчетное значение критерия Пирсона составило $\chi^2_{\text{выч}} = 1,304$ при $\chi^2_{\text{критич}}(0,95) = 30,144$.

Результаты и обсуждение

На основе формул (6), (8) можно определить область возможного положения оптимальной точки одномерной регрессии при рассеянии, вызванном экспериментальными ошибками. Обозначим

$$\xi = b_1, \eta = 2b_2, C = \bar{X} \quad (11)$$

Согласно известной теореме Гаусса–Маркова, величины МНК-оценок b_1 и b_2 распределены нормально с параметрами $(\beta_1, \sigma\sqrt{K_{11}})$ и $(\beta_2, \sigma\sqrt{K_{22}})$, соответственно. Здесь β_j – истинные значения коэффициентов квадратичного уравнения регрессии, σ^2 – дисперсия ошибок измерения зависимой переменной Y (ошибки экспериментов), K_{jj} – диагональные элементы ковариационной матрицы K коэффициентов функции регрессии (2). Выясним возможную область положения абсциссы X^{opt} , рассчитанной по формуле (3), если МНК-оценки b_j определены согласно (11).

Положим P – доверительная вероятность, с которой необходимо определить искомую область, $[c, d]$ – неизвестные границы этой области. Значения c и d будем искать из условия $(d - c) \rightarrow \min$ при $F(d) - F(c) = P$. (12)

Воспользуемся данными примера 1. Положим $m_1 = \beta_1 = 1.8$, $m_2 = 2\beta_1 = 0.1229$, $s_1 = \sigma\sqrt{K_{11}} = \sqrt{s_{остат}^2 K_{11}} = 0.1938$, $s_2 = \sigma\sqrt{4K_{22}} = \sqrt{4s_{остат}^2 K_{22}} = 0.05307$, $P = 0.9$. Тогда решением задачи (12) будут значения $c = 20.492$, $d = 57.267$. Относительно найденной оценки $X^{opt} = 27.15$ отклонения от границ возможной ошибки составят -24.5% и +111.9%, соответственно.

Результаты примера 1 показывают, что, несмотря на вполне удовлетворительную значимость полученной регрессии, возможная погрешность в определении положения оптимальной точки весьма велика. Выясним, какие меры следует предпринять, чтобы уменьшить величину погрешности.

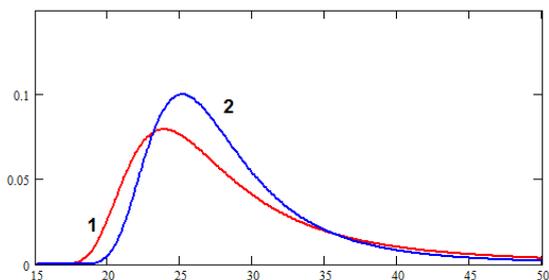


Рисунок 2. Влияние на форму кривой (10) уменьшение дисперсий s_j^2 .

Figure 2. Influence on the shape of the curve (10) reduction of variances s_j^2 .

Очевидно, для этого надо уменьшить ширину пика плотности $f(t)$. Несложно убедиться, что для этого достаточно уменьшить значения дисперсий s_1^2 и s_2^2 . На рисунке 2 приведены графики плотностей. У кривой 2 обе дисперсии уменьшены в 2 раза по сравнению с кривой 1. Для того чтобы уменьшить обе дисперсии в n раз можно увеличить число экспериментальных точек тоже примерно в n раз, в частности, провести параллельные опыты. При этом уменьшатся значения диагональных элементов K_{jj} . Однако из графика видно, что уменьшение ширины пика при $n = 2$ незначительно. Т.е. увеличивая число точек существенно повысить точность проблематично.

Теория планирования эксперимента при поиске оптимальных условий рекомендует решать задачу оптимизации в два этапа. На первом этапе с помощью простых линейных регрессий выходят в область оптимума, а затем строят квадратичную модель в найденной области для уточнения оптимальной точки. Выбор области планирования в окрестности точки экстремума теория объясняет тем, что так называемый коридор ошибок регрессии всегда сужается к центру области планирования, в результате точность модели в центре области максимальна. Однако как при этом меняется стабильность положения экстремума, и меняется ли вообще – неясно. Ответ на данный вопрос позволяют получить построенные нами функции распределения. Продемонстрируем это на данных примера 1.

В примере 1 область планирования – это промежуток $[0; 25]$, немного удаленный от найденной оптимальной точки 27.15. Сымитируем повторную серию экспериментов, используя данные примера 1, но сместим область планирования, взяв в ее качестве отрезок $[15; 40]$, так, чтобы предполагаемая точка оптимума находилась близко к центру области планирования. Для этого в качестве выходных значений Y возьмем значения, полученные в точках новой области по уравнению (1), наложив на них экспериментальные погрешности, совпадающие с полученными в примере 1. Построим по этим синтезированным данным новое уравнение регрессии:

$$Y = 89.0118 - 0.04285(X - 27.5) - 0.06143[(X - 27.5)^2 - 72.9167]$$

Как видим, при экспериментах в области оптимума значение коэффициента при линейном члене существенно уменьшилось.

Поскольку наложенные погрешности полностью совпадают с допущенными в примере 1, то величина остаточной дисперсии при этом не изменилась $s_{\text{остат}}^2 = 16.43$, так же как и элементы матрицы K . Не изменилась и «кривизна» графика регрессии, т. е. значение коэффициента b_1 . Значения же параметров m_1 и C функции $F(t)$ поменялись: $m_1 = -0.04285$; $C = 27.5$. Отметим, что при этом уменьшилась оценка числителя дроби (4), а знаменатель не изменился. Это должно привести к уменьшению диапазона величины (4). Действительно, на рисунке 3 приведены графики оригинальной плотности по данным примера 1 и синтезированной плотности после имитации смещения области планирования, второй пик заметно уже.

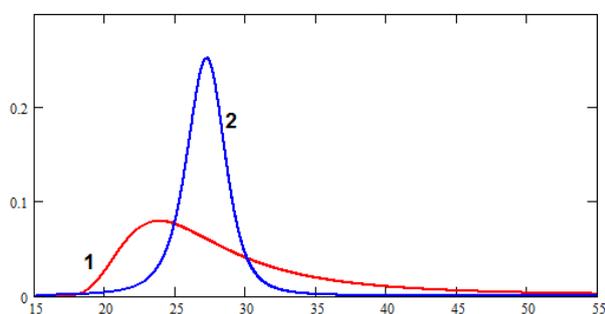


Рисунок 3. Влияние на форму графика плотности (10) смещение области планирования: кривая 1 – исходная плотность, 2 – плотность после смещения

Figure 3. Influence on the shape of the density graph (10) of the displacement of the planning area: curve 1 – initial density, 2 – density after the displacement

Замечание. Оценки значимости регрессии после смещения существенно ухудшились по сравнению с первоначальным вариантом: коэффициент детерминации $R^2 = 0.643$, расчетное значение критерия Фишера для оценки значимости регрессии $F_{\text{выч}} = 5.4$ при критическом $F_{\text{критич}} = 9.55$. Это произошло потому, что показатели R^2 и $F_{\text{выч}}$ вычисляются относительно диапазона варьирования экспериментальных значений Y . В области экстремума вариабельность Y значительно меньше, чем вдали от нее. Поэтому для того, чтобы в области экстремума получить значимую регрессию нужно уменьшить экспериментальную погрешность, например, за счет применения параллельных опытов. В результате имитации применения $n = 4$ параллельных опытов улучшились характеристики регрессии: $R^2 = 0.878$, $F_{\text{выч}} = 21.634$, а значения параметров s_1 и s_2 уменьшатся в \sqrt{n} раз. В результате ширина пика $f(t)$ еще уменьшится. Этот факт изображен на рисунке 4.

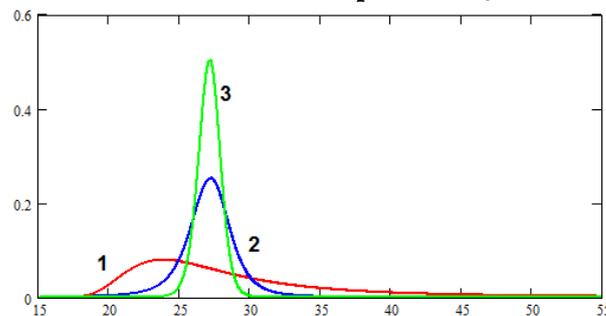


Рисунок 4. Изменения формы графика плотности (10). Кривая 3 – результат применения 4-х параллельных опытов в области экстремума

Figure 4. Changes in the shape of the density graph (10). Curve 3 – the result of applying 4 x parallel experiments in the extremum area

В результате смещения области планирования и применения параллельных опытов 90%-ная область вероятного положения оптимальной точки для примера 1 будет иметь следующие границы [25.744; 28.531]. Т.е. размер доверительной области уменьшится в 13 раз.

Заключение

Часто начальная область планирования экспериментов бывает либо слишком широкой, либо удаленной от оптимальной точки. Поэтому теория планирования эксперимента рекомендует проводить поиск оптимальных значений параметров исследуемого процесса в два этапа. На первом этапе посредством построения линейных регрессий производится локализация области экстремума. Для реализации этого этапа существуют целый набор методов экспериментальной оптимизации: метод Гаусса–Зайделя, метод Бокса–Уилсона, метод симплексов. Первый этап заканчивается, когда применяемые линейные регрессии становятся статистически незначимыми. Если в течение первого этапа требуемая точность не будет достигнута, то реализуется второй этап, на котором положение искомого экстремума уточняется с помощью квадратичной модели. Проведенные авторами исследования подтверждают необходимость указанных двух этапов. При этом получены новые аргументы эффективности их использования и разработаны дополнительные рекомендации при их планировании.

Важным аргументом в пользу необходимости локализации области экстремума и привязки к ней области планирования экспериментов является обнаруженная в ходе исследований возможность существенного повышения статистической устойчивости координат оптимальной точки, найденной по уравнению регрессии.

Полученные формулы для расчета значений функции и плотности распределений положения точки экстремума позволяют оценить размер зоны ее вероятного варьирования.

Было также выяснено, что при построении квадратичного уравнения регрессии в оптимальной области возможно ухудшение показателей значимости регрессии по сравнению с моделями первого этапа. Это может быть вызвано

существенным уменьшением диапазона варьирования выходного параметра в стационарной области. Поэтому для построения значимого уравнения регрессии на втором этапе необходимо принять меры для уменьшения влияния экспериментальных ошибок, например, увеличение количества параллельных опытов. Следует отметить, что подобная рекомендация ранее в специальной литературе не встречалась.

Литература

- 1 Магомедов Г.О., Лобосова Л.А., Рожков С.А., Селина Н.А. Выбор оптимальных параметров получения сбивных изделий без яичного белка // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48. № 2. С. 82–88.
- 2 Микулинич М.Л., Болотова П.В. Оптимизация технологических параметров получения суслу с использованием овса голозерного при производстве полисолодовых экстрактов // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. 2020. № 2 (29). С. 44–55.
- 3 Шамкова Н.Т., Тамова М.Ю., Варивода А.А., Шелест Н.С. Математическое моделирование рецептуры овсяного печенья, обогащенного продуктами переработки топинамбура // Новые технологии. 2022. № 3 (18). С. 106–117.
- 4 Микалаускас И.Р., Прейс В.В. Регрессионный анализ степени отжима виноградного суслу в шнековом прессе на основе композиционного плана второго порядка // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 12. С. 451–457.
- 5 Меренкова С.П., Ликсунова А.Д., Меренков А.В., Якимов С.И. Математические методы анализа свойств комбинированных пищевых систем // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2020. Т. 8. № 4. С. 46–52.
- 6 Дышлок Л.С., Просеков А.Ю. Оптимизация с использованием регрессионного анализа технологических параметров процесса экстракции с раздувом // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института. 2018. № 45. С. 123–126.
- 7 Доценко С.М., Гужель Ю.А., Гончарук О.В., Доронин С.В. Кинетика формирования коагуляционной структуры на основе сливочно-морковной композиции // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего. 2018. Т. 7. № 2 (42). С. 30–33.
- 8 Павлова О.В., Гладкая О.К., Трусова М.М. Влияние условий сорбции на сорбционную активность хитозана // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2019. Т. 12. № 4 (46). С. 86–93.
- 9 Невзоров В.Н., Кожухарь Е.Н., Салыхов Д.В., Янова М.А. и др. Оптимизация технологического процесса шелушения зерна пшеницы // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2018. № 1. С. 78–83.
- 10 Malekjani N., Jafari S.M. Food process modeling and optimization by response surface methodology (RSM) // Mathematical and statistical applications in food engineering. 2020. P. 181–203.
- 11 Therdtai N. Modeling and optimization of food processes // Engineering principles of unit operations in food processing. Woodhead Publishing, 2021. P. 419–441.
- 12 Sridhar A. et al. Extraction techniques in food industry: Insights into process parameters and their optimization // Food and Chemical Toxicology. 2022. V. 166. P. 113207.
- 13 Morales-Rivera J. et al. Modeling and optimization of COD removal from cold meat industry wastewater by electrocoagulation using computational techniques // Processes. 2020. V. 8. № 9. P. 1139.
- 14 Kumari N., Bansal S. Statistical modeling and optimization of microbial phytase production towards utilization as a feed supplement // Biomass Conversion and Biorefinery. 2023. V. 13. № 9. P. 8339–8349.
- 15 Kamal I. et al. Walnut shell for partial replacement of fine aggregate in concrete: modeling and optimization // Journal of Civil Engineering Research. 2017. V. 7. № 4. P. 109–119.
- 16 Suresh T. et al. Process intensification and comparison of bioethanol production from food industry waste (potatoes) by ultrasonic assisted acid hydrolysis and enzymatic hydrolysis: Statistical modeling and optimization // Biomass and Bioenergy. 2020. V. 142. P. 105752.
- 17 Chernyaeva S.N., Korobova L.A., Tolstova I.S. et al. Optimization of functioning of crystallization compartment in sugar production // Russian Conference on Digital Economy and Knowledge Management (RuDeCK 2020). Atlantis Press, 2020. P. 140–144. doi: 10.2991/aebmr.k. 200730.026
- 18 Skrypnik L., Novikova A. Response surface modeling and optimization of polyphenols extraction from apple pomace based on nonionic emulsifiers // Agronomy. 2020. V. 10. № 1. P. 92.
- 19 Pham T.N. et al. Extraction of anthocyanins from Butterfly pea (*Clitoria ternatea* L. Flowers) in Southern Vietnam: Response surface modeling for optimization of the operation conditions // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019. V. 542. № 1. P. 012032.
- 20 Varank G., Yazici Guvenc S., Demir A. A comparative study of electrocoagulation and electro-Fenton for food industry wastewater treatment: Multiple response optimization and cost analysis // Separation Science and Technology. 2018. V. 53. № 17. P. 2727–2740.
- 21 Weng Y.K., Chen J., Cheng C.W., Chen C. Use of modern regression analysis in the dielectric properties of foods // Foods. 2020. V. 9. № 10. P. 1472.
- 22 Черноруцкий И.Г. Методы оптимизации. Компьютерные технологии. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 384 с.
- 23 Чусова А.Е., Бугаев Ю.В., Новиков И.В., Романюк Т.И. и др. Оптимизация параметров экстрагирования дитерпеновых гликозидов из листьев стевии методом математического моделирования // Пищевая промышленность. 2022. № 12. С. 16–21. doi: 10.52653 / PPI.2022.12.12.003

24 Bugaev Yu.V., Korobova L.A., Polyanskikh S.V., Egorova G.N. Multi-criteria optimization of food production by an example of optimization of the process of rendering poultry fat in the presence of electroactivated liquid // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. V. 1052. №. 1. P. 012132. doi: 10.1088/1755-1315/1052/1/012132

25 Егоров И.Н., Кретинин Г.В., Кретинин А.Г. О выборе начального приближения при численном решении задач параметрической оптимизации // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2023. № 1. С. 28–39.

References

1 Magomedov G.O., Lobosova L.A., Rozhkov S.A., Selina N.A. Selection of optimal parameters for producing aerated products without egg whites. Equipment and technology of food production. 2018. vol. 48. no. 2. pp. 82–88. (in Russian).

2 Mikulinich M.L., Bolotova P.V. Optimization of technological parameters for producing wort using naked oats in the production of polymalt extracts. Bulletin of the Mogilev State University of Food. 2020. no. 2 (29). pp. 44–55. (in Russian).

3 Shamkova N.T., Tamova M.Yu., Varivoda A.A., Shelest N.S. Mathematical modeling of the recipe for oatmeal cookies enriched with Jerusalem artichoke processing products. New technologies. 2022. no. 3 (18). pp. 106–117. (in Russian).

4 Mikalauskas I.R., Preis V.V. Regression analysis of the degree of extraction of grape must in a screw press based on a second-order compositional plan. News of the Tula State University. Technical science. 2020. no. 12. pp. 451–457. (in Russian).

5 Merenkova S.P., Liksunova A.D., Merenkov A.V., Yakimov S.I. Mathematical methods for analyzing the properties of combined food systems. Bulletin of the South Ural State University. Series “Food and Biotechnologies”. 2020. vol. 8. no. 4. pp. 46–52. (in Russian).

6 Dyshlyuk L.S., Prosekov A.Yu. Optimization using regression analysis of technological parameters of the blow molding process. News of the St. Petersburg State Technological Institute. 2018. no. 45. pp. 123–126. (in Russian).

7 Dotsenko S.M., Guzhel Yu.A., Goncharuk O.V., Doronin S.V. Kinetics of the formation of a coagulation structure based on a creamy-carrot composition. XXI century: results of the past and problems of the present. 2018. vol. 7. no. 2 (42). pp. 30–33. (in Russian).

8 Pavlova O.V., Gladkaya O.K., Trusova M.M. Influence of sorption conditions on the sorption activity of chitosan. Food industry: science and technology. 2019. vol. 12. no. 4 (46). pp. 86–93. (in Russian).

9 Nevzorov V.N., Kozhukhar E.N., Salykhov D.V., Yanova M.A. and others. Optimization of the technological process of peeling wheat grain. News of Universities. Food technology. 2018. no. 1. pp. 78–83. (in Russian).

10 Malekjan N., Jafari S.M. Food process modeling and optimization by response surface methodology (RSM). Mathematical and statistical applications in food engineering. 2020. pp. 181–203.

11 Therdtai N. Modeling and optimization of food processes. Engineering principles of unit operations in food processing. Woodhead Publishing, 2021. pp. 419–441.

12 Sridhar A. et al. Extraction techniques in food industry: Insights into process parameters and their optimization. Food and Chemical Toxicology. 2022. vol. 166. pp. 113207.

13 Morales-Rivera J. et al. Modeling and optimization of COD removal from cold meat industry wastewater by electrocoagulation using computational techniques. Processes. 2020. vol. 8. no. 9. pp. 1139.

14 Kumari N., Bansal S. Statistical modeling and optimization of microbial phytase production towards utilization as a feed supplement // Biomass Conversion and Biorefinery. 2023. vol. 13. no. 9. pp. 8339–8349.

15 Kamal I. et al. Walnut shell for partial replacement of fine aggregate in concrete: modeling and optimization. Journal of Civil Engineering Research. 2017. vol. 7. no. 4. pp. 109–119.

16 Suresh T. et al. Process intensification and comparison of bioethanol production from food industry waste (potatoes) by ultrasonic assisted acid hydrolysis and enzymatic hydrolysis: Statistical modeling and optimization. Biomass and Bioenergy. 2020. vol. 142. pp. 105752.

17 Chernyaeva S.N., Korobova L.A., Tolstova I.S. et al. Optimization of functioning of crystallization compartment in sugar production. Russian Conference on Digital Economy and Knowledge Management (RuDecK 2020). Atlantis Press, 2020. pp. 140–144. doi: 10.2991/aebmr.k.200730.026

18 Skrypnik L., Novikova A. Response surface modeling and optimization of polyphenols extraction from apple pomace based on nonionic emulsifiers. Agronomy. 2020. vol. 10. no. 1. pp. 92.

19 Pham T.N. et al. Extraction of anthocyanins from Butterfly pea (*Clitoria ternatea* L. Flowers) in Southern Vietnam: Response surface modeling for optimization of the operation conditions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2019. vol. 542. no. 1. pp. 012032.

20 Varank G., Yazici Guvenc S., Demir A. A comparative study of electrocoagulation and electro-Fenton for food industry wastewater treatment: Multiple response optimization and cost analysis. Separation Science and Technology. 2018. V. 53. №. 17. P. 2727–2740.

21 Weng Y.K., Chen J., Cheng C.W., Chen C. Use of modern regression analysis in the dielectric properties of foods // Foods. 2020. vol. 9. no. 10. pp. 1472.

22 Chernorutsky I.G. Optimization methods. Computer technologies. St. Petersburg, BHV-Petersburg, 2011. 384 p. (in Russian).

23 Chusova A.E., Bugaev Yu.V., Novikov I.V., Romanyuk T.I. et al. Optimization of parameters for the extraction of diterpene glycosides from stevia leaves using mathematical modeling. Food Industry. 2022. no. 12. pp. 16–21. doi: 10.52653/PPI.2022.12.12.003 (in Russian).

24 Bugaev Yu.V., Korobova L.A., Polyanskikh S.V., Egorova G.N. Multi-criteria optimization of food production by an example of optimization of the process of rendering poultry fat in the presence of electroactivated liquid. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. vol. 1052. no. 1. pp. 012132. doi: 10.1088/1755-1315/1052/1/012132

25 Egorov I.N., Kretinin G.V., Kretinin A.G. On the choice of initial approximation in the numerical solution of parametric optimization problems. News of higher educational institutions. Volga region. Physical and mathematical sciences. 2023. no. 1. pp. 28–39. (in Russian).

Сведения об авторах

Юрий В. Бугаев д.ф.-м.н., профессор, кафедра математики, Военно-воздушная академия» им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия, y_bugaev52@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1043-7682>

Людмила А. Коробова к.т.н., доцент, кафедра информационных технологий, моделирования и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lyudmila_korobova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1349-732X>

Ирина Ю. Шурупова к.ф.-м.н., старший преподаватель, кафедра математики, Военно-воздушная академия» им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54 «А», г. Воронеж, 394064, Россия, i_shur@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0992-2998>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Yuri V. Bugaev Dr. Sci. (Phys.-Math.), professor, mathematics department, Air Force Academy named after prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarina, st. Senior Bolsheviks, 54 "A", Voronezh, 394064, Russia, y_bugaev52@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1043-7682>

Lyudmila A. Korobova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, information technologies, modeling and management department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lyudmila_korobova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-1349-732X>

Irina Yu. Shurupova Cand. Sci. (Phys.-Math.), senior lecturer, mathematics department, Air Force Academy named after prof. N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarina, st. Senior Bolsheviks, 54 "A", Voronezh, 394064, Russia, i_shur@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0992-2998>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 19/03/2024	После редакции 08/04/2024	Принята в печать 26/04/2024
Received 19/03/2024	Accepted in revised 08/04/2024	Accepted 26/04/2024

Пищевая биотехнология

Food biotechnology

DOI: <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-2-56-62>

Оригинальная статья/Research article

УДК 664.7

Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Технология муки из зерно-фруктовой барды

Сергей А. Урубков¹ glen.vniiz@gmail.com  0000-0002-2292-8649Алексей А. Королёв¹ korleh@mail.ru  0000-0002-7144-2522Станислав О. Смирнов¹ sts_76@bk.ru  0000-0002-8073-1238

¹ Научно-исследовательский институт пищекоцентрализованной промышленности и специальной пищевой, р.п. Измайлово, д. 22/1, Московская область, Ленинский городской округ, 142718, Россия

Аннотация. В спиртовой отрасли России более 15 млн т вторичных сырьевых ресурсов расходуется нецелесообразно. Комплексное использование отходов производства и побочных продуктов переработки растительного сырья позволит получить дополнительные резервы и источники питательных веществ. Целью данного исследования являлось определение основных параметров технологического процесса получения муки из послеспиртовой зерно-фруктовой барды с дальнейшей возможностью её использования в качестве пищевого ингредиента. Разрабатываемая технология переработки отходов в пищевые продукты рассматривалась как продолжение основной технологической схемы получения сухой барды. Результатом исследования является совершенствование существующих этапов переработки, а также разработка новых технологических параметров процессов сушки, измельчения и фракционирования сухой барды. Исследования показали, что технологические параметры этапа центрифугирования в разрабатываемой технологии не будут отличаться от традиционной технологии и будут зависеть от технического оснащения предприятия. Сушку кека осуществляли до влажности – 6%. Это ниже, чем в традиционной технологии (10%). На основании полученных данных можно сделать вывод что, режим сушки при 65°C предпочтителен, так как при этом достигаются заданные параметры готового продукта при оптимальной продолжительности процесса. Измельчение высушенной зерно-фруктовой барды осуществляется в две стадии. Целью первой стадии является измельчение крупных конгломератов высушенной зерно-фруктовой барды. На второй стадии предварительно измельченная фракция направляется на ножевую мельницу с установленной обечайкой с диаметром отверстий 0,45мм. Полученная мука из зерно-фруктовой барды сортируется по крупности (фракционируется) на сееве с использованием сита с размером отверстий 0,25мм. Проходная фракция выходом 60–70% представляет собой муку с размерами частиц от 0 до 0,25мм. Сходовая фракция, полученная в сееве, представляет собой крупные частицы муки размерами от 0,25 до 0,5мм с выходом муки 30–40%. При необходимости, повторное измельчение данной фракции позволит получить продукт с меньшим размером частиц.

Ключевые слова: технология муки, зерно-фруктовая барда, пищевые концентраты, вторичное сырье, сушка.

Technology of flour from grain-fruit stillage

Sergey A. Urubkov¹ glen.vniiz@gmail.com  0000-0002-2292-8649Aleksei A. Korolev¹ korleh@mail.ru  0000-0002-7144-2522Stanislav O. Smirnov¹ sts_76@bk.ru  0000-0002-8073-1238

¹ Scientific Research Institute of Food Concentrate Industry and Special Food Technology, v. Izmailovo, 22/1, Moscow region, Leninsky District, 142718, Russia

Abstract. In the alcohol industry of Russia, more than 15 million tons of secondary raw materials are used inexpediently. The integrated use of production waste and by-products of processing of plant raw materials will provide additional reserves and sources of nutrients. The purpose of this study was to determine the main parameters of the technological process of obtaining flour from dried distillers grain-fruit with solubles possibility of its use as a food ingredient. The technology being developed for processing waste into food products was considered as a continuation of the main technological scheme for obtaining dry bard. The result of the research is the improvement of existing processing stages, as well as the development of new technological parameters for drying, grinding and fractionation of dried distillers grain with solubles (DDGS). Research has shown that the technological parameters of the centrifugation stage in the technology being developed will not differ from traditional technology and will depend on the technical equipment of the enterprise. The wet cake was dried to a humidity of 6%. This is lower than in traditional technology (10%). Based on the data obtained, it can be concluded that the drying mode at 65 °C is preferable, since the specified parameters of the finished products are achieved at the optimal duration of the process. The milling of dried distillers grain-fruit with solubles is carried out in two stages. The purpose of the first stage is the grinding of large conglomerates of dried grain and fruit pulp. In the second stage, the pre-milling fraction is sent to a knife mill with an installed shell with a hole diameter of 0.45 mm. The resulting flour from dried distillers grain-fruit with solubles is sorted by size using a sieve with a hole size of 0.25 mm. The passing fraction with a yield of 60–70% is flour with particle sizes from 0 to 0.25 mm. The upper fraction obtained in sieving is large particles of flour ranging in size from 0.25 to 0.5 mm with a flour yield of 30–40%. If necessary, re-grinding this fraction will produce flour with a smaller particle size.

Keywords: flour technology, grain and fruit stillage, food concentrates, secondary raw materials, drying.

Для цитирования

Урубков С.А., Королёв А.А., Смирнов С.О. Технология муки из зерно-фруктовой барды // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 56–62. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-56-62

For citation

Urubkov S.A., Korolev A.A., Smirnov S.O. Technology of flour from grain-fruit stillage. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 56–62. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-56-62

Введение

В соответствии с Федеральным законом «О качестве и безопасности пищевых продуктов» необходимо принятие неотложных мер для повышения уровня самообеспечения страны продуктами питания. Инновационные пищевые продукты должны обладать направленными функциональными свойствами, иметь химический состав, обеспечивающий эти свойства, поэтому для повышения эффективности агропромышленного производства необходимо комплексное использование сельскохозяйственного сырья, в том числе и вторичных сырьевых ресурсов (ВСР). К вторичным сырьевым ресурсам относятся отходы, остающиеся после использования сырья и вспомогательных производственных материалов для получения основной продукции данного производства, а также побочные продукты, получаемые в процессе производства параллельно с основной или в результате дополнительной промышленной обработки отходов.

В связи с этим ВСР находят различные сферы применения в отраслях агропромышленного комплекса и всего хозяйства страны. На сегодняшний день более 70% всего объема вторичных ресурсов используется в качестве кормов для сельскохозяйственных животных [1–5].

Одним из аспектов продовольственной проблемы, в том числе и мирового уровня, является белково-витаминная недостаточность, поэтому, комплексно используя сельскохозяйственное сырье, представляется целесообразным проведение исследований и создание новых продуктов, отвечающих современным требованиям [6].

Необходимо научное обоснование способов переработки вторичных ресурсов на основе физических, химических и биологических методов по извлечению и концентрированию необходимых пищевых веществ. Только за счет таких подходов можно дополнительно произвести на 20–30% больше продуктов питания.

В России в пищевых отраслях образуется более 45 млн т вторичных ресурсов, при этом на долю спиртовой промышленности относится одна треть [1]. Это ценное сырье часто расходуется нецелесообразно.

Рациональный подход к использованию ВСР позволит совершенствовать действующие технологии переработки растительного сырья и будет способствовать внедрению ресурсосберегающих технологий и безотходного производственного цикла.

Для производства спирта, основного сырья для получения ликероводочной продукции,

традиционно используются различные виды зерновых (пшеница, рожь, ячмень, овёс, кукуруза, просо). Также растет спрос на спиртные напитки, с повышенными вкусо-ароматическими свойствами, на основе дистиллятов и спирта, получаемых с использованием натурального фруктового и комбинированного зерно-фруктового сырья. Как следствие получается значительное количество барды богатой не только белками, но и пищевыми волокнами.

Таким образом, комплексное использование отходов производства и побочных продуктов переработки растительного сырья позволит получить дополнительные резервы и источники питательных веществ, поэтому целью настоящего исследования являлось определение основных параметров технологического процесса получения муки из послеспиртовой зерно-фруктовой барды с дальнейшей возможностью её использования в качестве пищевого ингредиента [7–9].

Материалы и методы

Объектом исследования являлась послеспиртовая барда полученная при переработке зерно-фруктового сырья, исходной влажностью – 94%, а также продукты её переработки.

При проведении лабораторных исследований и испытаний были использованы:

Центрифужная сушилка KRONEN KS-7 ECO (Германия) применялась с целью механического осушения сырой барды полученной при переработке зерно-фруктового сырья. Центрифужная сушилка KRONEN KS-7 ECO отжимает продукты со скоростью вращения 250–850 об/мин и имеет фиксированное время вращения. Удаление свободной влаги проводили ступенчато с повышением количества оборотов от 250 до 850 об/мин и продолжительности обработки от 30 до 90 секунд на каждом цикле.

Лабораторная сушильная установка с конвективным типом энергоподвода (Россия). Отбор проб – по ГОСТ 15113.0–77; массовую долю влаги определяли термогравиметрическим методом на анализаторе влажности ЭВЛАС 2М (Россия). Сушка проводилась в диапазоне температур 50–80 °С.

Молотковая дробилка МДУ-1 (Россия) с частотой вращения ротора 2900 об/мин и роторная ножевая мельница Brabender (Германия) с частотой вращения ротора 820 об/мин применялись для измельчения сухой зерно-фруктовой барды. Набор сит по ГОСТ Р 51568–99 (ИСО 3310–1–90).

Результаты и обсуждение

Барда – отход производства этилового спирта (суспензия) светло-коричневого цвета

с запахом зерна или иного добавленного сырья. Содержание сухих веществ – 5–10%. После-спиртовая барда образуется в количестве от 120 до 140 м³ на 1000 дал спирта. Барда является ценным ресурсом с богатой пищевой ценностью, так как помимо зерновой клетчатки содержит до 30–35% протеина, а также значительное количество свободных аминокислот, витаминов и микроэлементов. После-спиртовая барда в жидком виде – продукт проблемный с коротким сроком хранения из-за белков, входящих в ее состав, подверженных разложению [10, 11].

Наиболее рациональным способом получения сухой барды, применяемым современными перерабатывающими предприятиями, является путь по представленной на рисунке 1 схеме (из расчета на 100 т исходной жидкой барды) [12, 13–20].

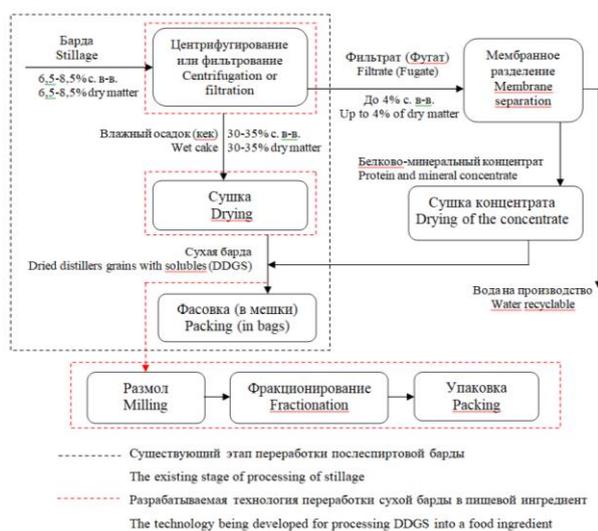


Рисунок 1. Схема получения муки из сухой зерно-фруктовой барды

Figure 1. Scheme for obtaining flour from dry grain-fruit stillage

Разрабатываемая технология переработки отходов в пищевые продукты рассматривалась как продолжение основной технологической схемы сухой барды. Целесообразным являлось совершенствование существующих этапов переработки, а также разработка новых технологических параметров процессов сушки, измельчения и фракционирования сухой барды, с целью обеспечения адекватных потребительских свойств новых продуктов.

В результате работы исследованы основные параметры технологического процесса, а также в лабораторных условиях смоделирована технология получения муки из зерно-фруктовой барды.

Описание технологического процесса производства муки из зерно-фруктовой барды.

Этап 1. Центрифугирование

Современные спиртоперерабатывающие предприятия в производственном цикле получения сухой после-спиртовой барды, как правило, применяют специальные горизонтальные центрифуги непрерывного действия со шнековой выгрузкой – декантеры. Данное оборудование позволяет разделить барду на влажный осадок нерастворимых веществ – кек (30...35% с. в-в.) и жидкую фракцию [12].

Технологические параметры данного этапа в разрабатываемой технологии не будут отличаться от традиционной технологии и будут зависеть от технического оснащения предприятия.

При моделировании технологического процесса и получения продукта с содержанием сухих веществ 30–35% в лабораторных условиях применялась центрифужная сушилка. Первоначальный продукт – жидкая смесь с содержанием сухих веществ 5–7%.

Механическим способом при центрифугировании удалось отделить фильтрат (фугат) и повысить содержание сухих веществ в нерастворимом осадке (кек) до 19% (рисунок 2), при этом полученная масса легко разделялась и, в целом, хорошо поддавалась дальнейшему технологическому процессу обработки.



Рисунок 2. Зерно-фруктовая барда на этапе центрифугирования: а – получение кека в лабораторной центрифужной сушилке; б – кек содержанием сухих веществ 19%

Figure 2. Grain-fruit DDGS at the centrifugation stage: a – wet cake preparation in a laboratory centrifuge dryer; b – wet cake with a dry matter content of 19%

Этап 2. Сушка

Для получения порошкообразного продукта, целесообразно получить сухой продукт с содержанием влаги ниже, чем это принято в традиционной технологии (10%). Поэтому сушку кека осуществляли до влажности – 6%. Пониженная влажность увеличивает эффективность получения муки с заданным гранулометрическим составом. Кроме того, при влажности муки из зерно-фруктовой барды более 6% вероятно его слеживание из-за содержания пектина в яблочной составляющей барды.

Обычно технология сушки барды предполагает применение контактной сушки при температуре более 150 °С. Но так как в составе экспериментального продукта помимо зерновой основы входит и яблочная часть, то применение температуры более 80 °С неприемлемо, вследствие денатурации белковых веществ, карамелизации углеводов с одновременным изменением цветности продукта за счет образования меланоидинов, окисления жиров и т. д.

Процесс обезвоживания проводили в диапазоне температур 50 – 80 °С. Кривые сушки кека при различных температурах представлены на рисунке 3.

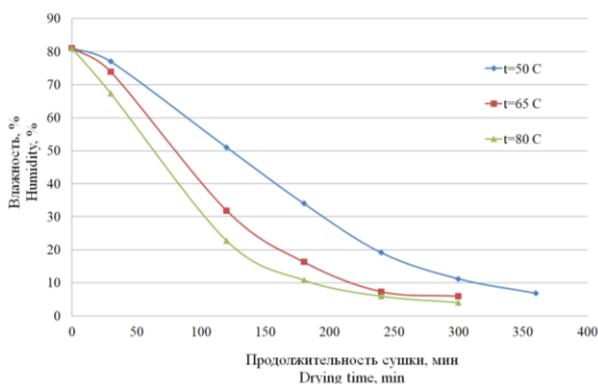


Рисунок 3. Кривые сушки зерно-фруктовой барды при различных температурах

Figure 3. Drying curves of grain-fruit DDGS at different temperatures

Первоначально в период прогрева материала и до начала удаления свободной влаги, процесс сушки идет медленно. После чего начинается период равномерной потери массы и завершается периодом удаления влаги из внутренних слоев материала. Наиболее равномерное и длительное изменение влажности барды, наблюдается при температуре 50 °С. Кривая сушки при этом отличается от кривых, полученных при сушке при температурах 65 и 80 °С. Заданную влажность 6% при температуре 65 °С достигнута за 300 минут, что на 60 минут позже, чем при 80 °С.

При анализе изменений скорости сушки, представленных на рисунке 4, видно, что кривые dW/dT 65 и 80 °С имеют также близкие значения. Но, при температуре 80 °С отмечались потемневшие участки барды, кроме того происходило спекание поверхностных слоев продукта, что нарушало равномерность влагоотдачи. Заметно, что скорость сушки при 65 °С, на участке от 100 до 200 минут выше чем при 80 °С.

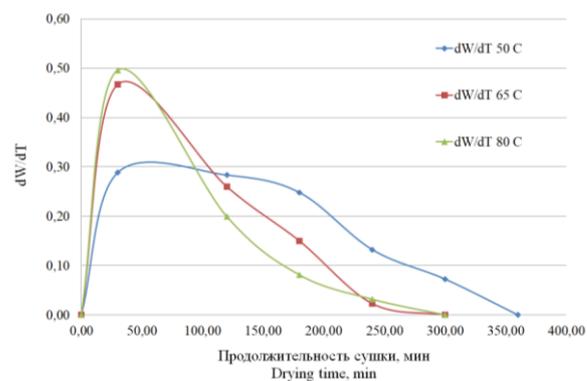


Рисунок 4. Скорости сушки зерно-фруктовой барды при различных температурах

Figure 4. Drying rates of grain-fruit DDGS at different temperatures

На основании полученных данных, можно сделать вывод что, режим сушки при 65 °С предпочтителен, так как при этом достигаются заданные параметры готового продукта при оптимальной продолжительности процесса.

На рисунке 5 представлена зерно-фруктовая барда после этапов центрифугирования и сушки.



Рисунок 5. Сухая зерно-фруктовая барда

Figure 5. Dry grain-fruit DDGS

Этап 3. Размол

Измельчение высушенной зерно-фруктовой барды осуществляется в две стадии. Целью первой стадии является измельчение крупных конгломератов высушенной зерно-фруктовой барды. Для этого высушенная зерно-фруктовая барда поступает на молотковую дробилку, которая оснащается обечайкой с диаметром отверстий 2,0 мм. Продукт обрабатывается в машине, подвергаясь ударному воздействию до достижения заданной крупности.

На второй стадии предварительно измельченная фракция направляется на ножевую мельницу с установленной обечайкой с диаметром отверстий 0,45 мм. Данный размер отверстий позволяет получить готовый продукт соответствующий по крупности муке из крупяных культур.

В процессе обработки в ножевой мельнице происходит резание частиц обрабатываемого продукта – сдвиговых деформаций частиц между ножами ротора и корпуса. Данное воздействие необходимо с целью измельчения продукта с волокнистой структурой, которыми являются пшеничные отруби и плодовые оболочки яблок. Измельчённая на ножевой мельнице до порошкообразного состояния сухая зерно-фруктовая барда представляет собой готовый продукт – муку.

В целом, процесс измельчения подразумевает переработку высушенной зерно-фруктовой барды с выработкой муки с базисным выходом $98 \pm 1\%$. Количество отходов и механические потери устанавливаются на этапе опытного промышленного производства и находятся в интервале 0–1%.

Этап 4. Фракционирование

При необходимости, мука из зерно-фруктовой барды сортируется по крупности (фракционируется). Фракционирование осуществляется на севе с использованием сита с размером отверстий 0,25 мм. Проходная фракция выходом 60–70% представляет собой муку с размерами частиц от 0 до 0,25 мм (рисунок 6).



Рисунок 6. Мука из зерно-фруктовой барды

Figure 6. Flour from grain-fruit DDGS

Муку из зерно-фруктовой барды возможно применять в качестве обогащающего пищевого ингредиента в хлебопекарной, кондитерской и пищевых концентратной отрасли при производстве таких категорий изделий как сухие зерновые

продукты, печенье и галеты, экструдированные продукты. Сходная фракция, полученная в севе, представляет собой крупные частицы муки размерами от 0,25 до 0,5 мм с выходом муки 30–40%. Данный размер частиц будет целесообразен при применении муки из зерно-фруктовой барды при производстве макаронных изделий. При необходимости повторное измельчение данной фракции позволит получить продукт с меньшим размером частиц.

Из рисунка 6 можно отметить склонность муки из зерно-фруктовой барды к образованию комков. Вероятно, это связано с высоким содержанием пищевых волокон, представленных главным образом пектиновыми веществами. Данное свойство необходимо учитывать в технологиях с применением муки из зерно-фруктовой барды, а также при упаковке и хранении готовой продукции.

Заключение

В результате разработки и моделирования технологии муки из послеспиртовой зерно-фруктовой барды с дальнейшей возможностью её использования в качестве пищевого ингредиента были разработаны основные параметры отдельных этапов технологического процесса.

Следующий этап исследования предполагает изучение химического состава муки из зерно-фруктовой барды включая содержание основных пищевых веществ, минеральных веществ и витаминов с целью оценки перспективы её применения в качестве пищевого ингредиента в хлебопекарной, кондитерской, макаронной промышленности, при производстве пищевых концентратов (сухих зерновых продуктов, первых и вторых блюд быстрого приготовления, экструдированных продуктов).

Благодарности

Научно-исследовательская работа проведена за счет субсидий на выполнение прикладных научных исследований в рамках темы № FGMP-2023–0004 «Разработка инновационных технологий переработки зернового и фруктового сырья для создания оригинальных спиртных напитков и дополнительных продуктов пищевого и кормового назначения».

Литература

- 1 Мусаева Н.М., Мусаева В.В. Вторичные сырьевые ресурсы и возможности их использования // Состояние и перспективы научно-технологического развития рыбопромышленного комплекса российской федерации. 2021. С. 105-116.
- 2 Vadel R., Minhas P.S., Kumar S., Singh Y. et al. Significance of vinasses waste management in agriculture and environmental quality-Review // African Journal of Agricultural Research. 2014. V. 9. №. 38. P. 2862-2873. doi: 10.5897/AJAR2014.8819
- 3 Бузетти К.Д., Головачева Н.А., Иванов М.В. Применение сухой послеспиртовой барды в кормах свиноводческой отрасли // Аграрная наука. 2020. №. 4. С. 25-27. doi: 10.32634/0869–8155–2020–337–4–25–27
- 4 Alimkulo Z., Velyamov M., Potoroko I., Kuanysh S. et al. Development of Resource-Saving Biotechnology for the Production of a Feed Additive from Distiller's Wastes with Probiotic Properties // Archives of Razi Institute. 2022. V. 77. №. 6. P. 2281. doi: 10.22092/ARI.2022.360053.2536

- 5 Пелевина Г.А., Леденев В.П. Спиртовая барда – наполнитель премиксов для животных // Хранение и переработка сельхозсырья. 2006. № 12. Р. 55–57.
- 6 Mikucka W., Zielińska M. Distillery stillage: characteristics, treatment, and valorization // Applied biochemistry and biotechnology. 2020. V. 192. P. 770-793. doi: 10.1007/s12010-020-03343-5
- 7 Абрамова И.М., Туршатов М.В., Соловьев А.О. и др. О производстве этилового спирта и дистиллятов с использованием фруктового сырья совместно с зерновым // Пищевая промышленность. 2023. № 5. С. 67–69. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.019
- 8 Коденцова В.М., Рисник Д.В., Серба Е.М., Абрамова И.М. и др. Яблочные выжимки как источник функциональных пищевых ингредиентов: обзор предметного поля // Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. №. 2. doi: 10.36107/spfp.2023.430
- 9 Римарева Л.В., Серба Е.М., Соколова Е.Н. и др. К вопросу о целесообразности использования ягод черной смородины для получения оригинальных зерно-фруктовых дистиллятов // Пищевая промышленность. 2023. № 5. С. 61–63. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.017
- 10 Кайшев А.Ш. Перспективы переработки спиртовых отходов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2009. №. 2. С. 76-78.
- 11 Поляков В.А., Абрамова И.М., Польшалина Г.В., Римарева Л.В. и др. Инструкция по техно-химическому и микробиологическому контролю спиртового производства. 2007.
- 12 Туршатов М.В., Поляков В.А., Леденев В.П. Современные возможности полной переработки зерна на спирт и белково-углеводные продукты // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2012. № 2. С. 18–19.
- 13 Кононенко В.В. Комплексная переработка сырья – реальная перспектива повышения рентабельности спиртового производства // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 10. С. 10–14.
- 14 Abramova I.M. et al. Protein feedstuff production based on microbial biomass // IOP conference series: earth and environmental science. IOP Publishing, 2020. V. 548. №. 8. P. 082080.
- 15 Kuznetsov I. Biologics for the protection of forests on the basis of mushroom *Phlebiopsis gigantea* with deep cultivation on alcohol stillage production // The Korean Journal of Food & Health Convergence. 2018. V. 4. №. 3. P. 6-11. doi: 10.13106/kjfhc.2018.vol4.no3.6
- 16 Danilova K., Oliynichuk S., Verbytskyi S. Bioutilization of the distillery stillage of different grain species from bioethanol production // Ecological Questions. 2023. V. 34. №. 4. P. 1-12. doi: 10.12775/EQ.2023.050.
- 17 Kovalchuk S., Mudrak T. A Resource-saving and energy-efficient technology of fermentation of wort from starch-containing raw materials for bioethanol production // Food Science & Technology (2073-8684). 2022. V. 16. №. 1.
- 18 Sharova N.Y., Mityukov A.S., Nsengumuremyi D. Antimicrobial activity of ultradisperse humic sapropel suspensions // EC Nutrition. 2020. V. 15. №. 3. P. 1-7. doi: 10.17586/2310-1164-2019-12-3-25-31
- 19 Korsheva I., Chaunina E. The effect of compound feed on the productivity of broiler chickens // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. V. 37. P. 00107.
- 20 Kovalchuk S., Dolomakin Y. Optimisation of technological parameters of fermentation of highly concentrated wort from grain raw materials for bioethanol production // Food Science & Technology (2073-8684). 2022. V. 16. №. 2. doi: 10.15673/fst.v16i2.2375

References

- 1 Musaeva N.M., Musaeva V.V. Secondary raw materials resources and possibilities for their use. State and prospects of scientific and technological development of the fishing industry of the Russian Federation. 2021. pp. 105-116. (in Russian)
- 2 Vadivel R., Minhas P.S., Kumar S., Singh Y. et al. Significance of vinasses waste management in agriculture and environmental quality-Review. African Journal of Agricultural Research. 2014. vol. 9. no. 38. pp. 2862-2873. doi: 10.5897/AJAR2014.8819
- 3 Buzetti K.D., Golovacheva N.A., Ivanov M.V. Application of dry post-alcohol stillage in feed for the pig industry. Agricultural Science. 2020. no. 4. pp. 25-27. doi: 10.32634/0869-8155-2020-337-4-25-27 (in Russian).
- 4 Alimkulo Z., Velyamov M., Potoroko I., Kuanysh S. et al. Development of Resource-Saving Biotechnology for the Production of a Feed Additive from Distiller's Wastes with Probiotic Properties. Archives of Razi Institute. 2022. vol. 77. no. 6. pp. 2281. doi: 10.22092/ARI.2022.360053.2536
- 5 Pelevina G.A., Ledenev V.P. Alcohol stillage – premix filler for animals. Storage and processing of agricultural raw materials. 2006. no. 12. pp. 55–57. (in Russian).
- 6 Mikucka W., Zielińska M. Distillery stillage: characteristics, treatment, and valorization. Applied biochemistry and biotechnology. 2020. vol. 192. pp. 770-793. doi: 10.1007/s12010-020-03343-5
- 7 Abramova I.M., Turshatov M.V., Solovyov A.O. et al. On the production of ethyl alcohol and distillates using fruit raw materials together with grain. Food industry. 2023. no. 5. pp. 67–69. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.019 (in Russian).
- 8 Kodentsova V.M., Risnik D.V., Serba E.M., Abramova I.M. et al. Apple pomace as a source of functional food ingredients: a review of the subject field. Storage and processing of agricultural raw materials. 2023. no. 2. doi: 10.36107/spfp.2023.430 (in Russian).
- 9 Rimareva L.V., Serba E.M., Sokolova E.N. et al. On the question of the advisability of using black currant berries to obtain original grain-fruit distillates. Food industry. 2023. no. 5. pp. 61–63. doi: 10.52653/PPI.2023.5.5.017 (in Russian).
- 10 Kaishev A.Sh. Prospects for processing alcohol waste. News of higher educational institutions. North Caucasus region. Natural Sciences. 2009. no. 2. pp. 76-78. (in Russian).
- 11 Polyakov V.A., Abramova I.M., Polygalina G.V., Rimareva L.V. et al. Instructions for techno-chemical and microbiological control of alcohol production. 2007. (in Russian).
- 12 Turshatov M.V., Polyakov V.A., Ledenev V.P. Modern possibilities of complete processing of grain into alcohol and protein-carbohydrate products. Production of alcohol and alcoholic beverages. 2012. no. 2. pp. 18–19. (in Russian).
- 13 Kononenko V.V. Integrated processing of raw materials - a real prospect for increasing the profitability of alcohol production. Storage and processing of agricultural raw materials. 2017. no. 10. pp. 10–14. (in Russian).

14 Abramova I.M. et al. Protein feedstuff production based on microbial biomass. IOP conference series: earth and environmental science. IOP Publishing, 2020. vol. 548. no. 8. pp. 082080.

15 Kuznetsov I. Biologics for the protection of forests on the basis of mushroom *Phlebiopsis gigantea* with deep cultivation on alcohol stillage production. The Korean Journal of Food & Health Convergence. 2018. vol. 4. no. 3. pp. 6-11. doi: 10.13106/kjfhc.2018.vol4.no3.6

16 Danilova K., Oliynichuk S., Verbytskyi S. Bioutilization of the distillery stillage of different grain species from bioethanol production. Ecological Questions. 2023. vol. 34. no. 4. pp. 1-12. doi: 10.12775/EQ.2023.050.

17 Kovalchuk S., Mudrak T. A Resource-saving and energy-efficient technology of fermentation of wort from starch-containing raw materials for bioethanol production. Food Science & Technology (2073-8684). 2022. vol. 16. no. 1.

18 Sharova N.Y., Mityukov A.S., Nsengumuremyi D. Antimicrobial activity of ultradisperse humic sapropel suspensions. EC Nutrition. 2020. vol. 15. no. 3. pp. 1-7. doi: 10.17586/2310-1164-2019-12-3-25-31

19 Korsheva I., Chaunina E. The effect of compound feed on the productivity of broiler chickens. BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. vol. 37. pp. 00107.

20 Kovalchuk S., Dolomakin Y. Optimisation of technological parameters of fermentation of highly concentrated wort from grain raw materials for bioethanol production. Food Science & Technology (2073-8684). 2022. vol. 16. no. 2. doi: 10.15673/fst.v16i2.2375

Сведения об авторах

Сергей А. Урубков к.т.н., старший научный сотрудник, отдел детского и диетического питания, НИИ пищекоцентрализованной промышленности и специальной пищевой технологии, р.п. Измайлово, д. 22/1, Московская область, Ленинский городской округ, 142718, Россия, glen.vniiz@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2292-8649>

Алексей А. Королёв к.т.н., заведующий отделом, отдел пищевых концентратов и оборудования, НИИ пищекоцентрализованной промышленности и специальной пищевой технологии, р.п. Измайлово, д. 22/1, Московская область, Ленинский городской округ, 142718, Россия, korleh@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7144-2522>

Станислав О. Смирнов к.т.н., заместитель директора по научной работе, НИИ пищекоцентрализованной промышленности и специальной пищевой технологии, р.п. Измайлово, д. 22/1, Московская область, Ленинский городской округ, 142718, Россия, sts_76@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8073-1238>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey A. Urubkov Cand. Sci. (Engin.), senior research, children's and dietary nutrition department, Scientific Research Institute of Food Concentrate Industry and Special Food Technology, v. Izmailovo, 22/1, Moscow region, Leninsky District, 142718, Russia, glen.vniiz@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2292-8649>

Aleksei A. Korolev Cand. Sci. (Engin.), head of division, food concentrates and equipment department, Scientific Research Institute of Food Concentrate Industry and Special Food Technology, v. Izmailovo, 22/1, Moscow region, Leninsky District, 142718, Russia, korleh@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7144-2522>

Stanislav O. Smirnov Cand. Sci. (Engin.), deputy director, Scientific Research Institute of Food Concentrate Industry and Special Food Technology, v. Izmailovo, 22/1, Moscow region, Leninsky District, 142718, Russia, sts_76@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8073-1238>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/04/2024	После редакции 30/04/2024	Принята в печать 27/05/2024
Received 12/04/2024	Accepted in revised 30/04/2024	Accepted 27/05/2024

Референтные значения отдельных потребительских характеристик белого сахара

Марина И. Егорова	¹	rniisp@gmail.com	 0000-0003-1333-7377
Любовь И. Беляева	¹	belyaeva_li@mail.ru	 0000-0001-6099-6063
Любовь Н. Пузанова	¹	info@rniisp.ru	 0000-0002-0857-5744
Михаил К. Пружин	¹	mihailpruzhin@mail.ru	 0000-0001-5977-771X

¹ Курский федеральный аграрный научный центр, ул. Карла Маркса, 70б, г. Курск, 305021, Россия

Аннотация. В исследовании представлены результаты изучения характера распределения и установления общих референтных значений отдельных потребительских характеристик белого свекловичного сахара четырех категорий: экстра, TC1, TC2, TC3. Выборки включали образцы белого сахара, выработанного в период 2016...2022 гг. 58 свеклосахарными заводами России. В качестве потребительских характеристик рассматривались цветность в растворе, мутность раствора, содержание золы и кальция с позиций требований производителей кондитерских изделий и напитков длительного хранения. Мониторинговые данные указанных характеристик обрабатывали с использованием методов математической статистики. Визуальный анализ графиков распределения мониторинговых данных показал близость абсолютных значений эмпирических и теоретических частот, характеризующих степень проявления нормального закона. Результат проверки нулевой гипотезы о соответствии нормальному распределению на основе теста Колмогорова-Смирнова дал положительный результат для всех потребительских характеристик у четырех категорий сахара, за исключением содержания кальция в белом сахаре категории TC2. Установлены референтные интервалы рассматриваемых потребительских характеристик белого сахара. Выявлен относительный рост их значений в разрезе категорий сахара по отношению к сахару более высокой предшествующей категории. Наиболее высокий рост отмечен для сахара категории TC3 по отношению к сахару категории TC2 – от 159 до 207%; для сахара категории TC2 по отношению к сахару категории TC1 рост составляет от 143 до 228%; около 140% составляет рост для сахара категории TC1 по отношению к категории экстра. Проведено сравнение референтных значений с пороговыми уровнями потребительских характеристик при производстве кондитерских изделий и напитков длительного хранения. Показано, что сахар категорий экстра и TC1 в целом удовлетворяет требованиям; отдельные партии сахара категории TC2 могут быть использованы при производстве кондитерских изделий, за исключением карамели; сахар категории TC3 является технологически неадекватным для данных промышленных потребителей.

Ключевые слова: белый сахар, потребительская характеристика, промышленный потребитель, референтные значения, характер распределения, проверка гипотезы.

Reference values for selected consumer characteristics of white sugar

Marina I. Egorova	¹	rniisp@gmail.com	 0000-0003-1333-7377
Luybov I. Belyaeva	¹	belyaeva_li@mail.ru	 0000-0001-6099-6063
Luybov N. Puzanova	¹	info@rniisp.ru	 0000-0002-0857-5744
Mikhail K. Pruzhin	¹	mihailpruzhin@mail.ru	 0000-0001-5977-771X

¹ Federal Agricultural Kursk Research Center, Karl Marks St., 70b, Kursk, 305021, Russia

Abstract. The study presents the results of studying the nature of the distribution and establishing general reference values for individual consumer characteristics of white beet sugar in four categories: extra, TC1, TC2, TC3. The selections included samples of white sugar produced in the period from 2016 to 2022 by 58 beet sugar factories in Russia. The consumer characteristics considered were color in the solution, turbidity of the solution, ash and calcium content from the standpoint of the requirements of manufacturers of confectionery products and shelf-stable drinks. The following consumer characteristics were considered: color in the solution, turbidity of the solution, ash and calcium content from the standpoint of the requirements of manufacturers of confectionery products and long-life beverages. Monitoring data of these characteristics were processed using mathematical statistics methods. Visual analysis of the distribution graphs of monitoring data showed the proximity of the absolute values of empirical and theoretical frequencies characterizing the degree of manifestation of the normal law. The result of testing the null hypothesis of compliance with the normal distribution based on the Kolmogorov-Smirnov test gave a positive result for all consumer characteristics in the four sugar categories, with the exception of calcium content in white sugar of TC2 category. Reference intervals for the considered consumer characteristics of white sugar have been established. A relative increase in their values in the context of sugar categories in relation to sugar of a higher previous category was revealed. The highest growth was noted for sugar of TC3 category in relation to sugar of TC2 category – from 159 to 207%; for sugar of TC2 category in relation to sugar of TC1 category, the increase ranges from 143 to 228%; the growth for sugar of TC1 category relative to the extra category is about 140%. A comparison of reference values with threshold levels of consumer characteristics in the production of confectionery products and long-life beverages was carried out. It has been shown that sugar in the extra and TC1 categories generally satisfies the requirements; individual batches of TC2 category sugar can be used in the production of confectionery products, with the exception of caramel; TC3 category sugar is technologically inadequate for these industrial consumers.

Keywords: white sugar, consumer characteristics, industrial consumer, reference values, nature of distribution, hypothesis testing.

Для цитирования

Егорова М.И., Беляева Л.И., Пузанова Л.Н., Пружин М.К. Референтные значения отдельных потребительских характеристик белого сахара // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 63–73. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-63-73

For citation

Egorova M.I., Belyaeva L.I., Puzanova L.N., Pruzhin M.K. Reference values for selected consumer characteristics of white sugar. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 63–73. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-63-73

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Белый сахар – пищевой продукт в виде кристаллизованной сахарозы различной степени очистки, который извлекают без конверсии [1] из растительного сырья, где он синтезируется природой. Имея более чем трехтысячелетнюю историю потребления человеком [2], сегодня он является основным углеводным подсластителем [3] с ежегодным производством в мире около 170 млн т, входит в продуктовую корзину большинства стран. В мире белый сахар получают из сахарной свеклы и сахарного тростника, при этом на долю тростникового приходится около 80%, свекловичного – от 16 до 22% [4].

Белый сахар имеет чистый сладкий вкус и является эталоном вкуса сладости [5]. В организме человека сахар легко усваивается, выделяя при метаболизме энергию в количестве 4 ккал/г, используемую для жизнедеятельности и работы, поэтому считается энергетически ценным углеводом. Он успокаивающе действует на центральную нервную систему, считается незаменимым для людей умственного и физического труда.

В России производство белого сахара осуществляется на 65 свеклосахарных заводах в 20 регионах с ежегодной выработкой около 6 млн т, что обеспечивает продовольственную независимость страны [6]. На рынке присутствует вырабатываемый по ГОСТ 33222–2015 «Сахар белый. Технические условия» продукт четырех категорий – экстра, ТС1, ТС2, ТС3 в кристаллическом и кусковом виде, в виде сахарной пудры. Потребление белого сахара ежегодно варьирует в диапазоне 5,8–6,0 млн т, которое распределяется по сегментам: население – до 55% общего потребления, предприятия пищевой индустрии и других отраслей экономики – до 40%, общественное питание – до 5%.

При производстве пищевых продуктов белый сахар используется в разной товарной форме и является многофункциональным ингредиентом [1]. В первую очередь, востребована сладость белого сахара [7], а также его способность формировать вкусовой и ароматический профиль продукта [8], структуру [9, 10] за счет взаимодействия с другими ингредиентами рецептуры [11–13]. Ввиду разнообразия ассортимента и структур пищевых масс, для производства конкретных пищевых продуктов востребованы определенные функциональные свойства белого сахара.

В этой связи между предприятиями пищевой индустрии и свеклосахарными заводами должны быть налажены определенные технологические связи для удовлетворения требований промышленных потребителей по заданным характеристикам сахара. При этом отмечается, что одной из проблем развития пищевой

промышленности России является недостаточный уровень конкурентоспособности продукции, решение которой связано с активизацией инновационной деятельности предприятий, в т. ч. путем развития форм контроля и оценки качества продукции [14]. Тогда управление качеством при выпуске белого сахара должно предполагать внедрение процессов цифровизации и фиксирование операций, осуществляемых с отклонением от заданных параметров [15]. Знание таких параметров весьма важно, поскольку обеспечение продовольственной безопасности осложняется различием в требованиях национальных стандартов на пищевые продукты и многомерностью информации, поступающей от различных участников рынка оценки качества продукции [16].

Так, для белого кристаллического сахара ГОСТ 33222 предусмотрены требования к содержанию влаги, сахарозы, редуцирующих веществ, золы, цветности в растворе. Промышленные потребители в дополнение к указанным требованиям ориентируются на содержание взвешенных веществ, кальция, мутность раствора, флокулообразующую способность и др. [17–22].

При этом информация о значимых пределах варьирования показателей качества белого сахара, как нормируемых стандартом, так и предъявляемых промышленными потребителями, практически отсутствует. Складывающаяся ситуация препятствует возможности обоснованного выбора поставщиков сахара предприятиями пищевой промышленности, которые часто ориентируются не на потребительские предпочтения, а логистические, ценовые и пр. Свеклосахарным заводам такая информация может быть необходимой как фактор управления качеством продукции [23], поскольку все характеристики вырабатываемого белого сахара являются результатом воздействия многих технологических и технических факторов: технологических свойств сахарной свеклы, поступающей в пищевую систему; используемых локальных технологий ее переработки и применяемых функциональных технологических вспомогательных средств; парка установленного оборудования; квалификации работников; рисков отклонения параметров процессов от оптимальных и др.

Между тем, во второй половине XX века в медицинской практике для интерпретации результатов лабораторных исследований предложен термин «референтные значения» (референсные значения), который в дальнейшем закрепился для применения; используется также термин «референтный интервал» как 95%-ный центральный диапазон референтных значений, ограниченный верхним и нижним референтными пределами [24]. Выбор статистического метода расчета референтного интервала осуществляют по характеру распределения ряда значений в выборке:

параметрический – при наличии нормально распределенных данных; непараметрический – если распределение значений отличается от нормального или гипотеза относительно распределения данных отсутствует [25].

В настоящее время существуют прямые и косвенные методики определения референтных интервалов (РИ) лабораторных показателей. Для прямого установления РИ статистически достаточной считают выборку из 120 объектов, по результатам исследования которых рассчитывают 95%-ный доверительный интервал. Широкое распространение получили косвенные методики установления РИ, использующие анализ базы данных, собранных лабораторией [26]. Ещё более простой и удобной является предлагаемая авторами [27] методика предварительной «очистки» выборки до нормального распределения с помощью нормированного отклонения с последующим расчётом 95%-ного доверительного интервала (ДИ) по 2,5 и 97,5 процентилем полученной выборки.

Такого рода единичные исследования имеются для отдельных продуктов питания [28–31], для сахара они проводятся впервые. Цель исследований – изучение характера распределения и установление общих референтных значений для отдельных потребительских характеристик белого сахара разных категорий.

Материалы и методы

Объектом исследований служили промышленные образцы белого свекловичного сахара по ГОСТ 33222 четырех категорий: экстра, ТС1, ТС2, ТС3. Предметом исследований являлись характеристики потребительских свойств белого сахара: цветность в растворе, мутность раствора, содержание золы и кальция.

Формирование массива количественных значений указанных показателей осуществлялось на основе данных мониторинга, проводимого испытательной лабораторией Курского ФАНЦ. Выборки представляли собой образцы белого сахара, выработанного в период 2016–2022 гг. 58 российскими свеклосахарными заводами (90% от количества действующих заводов) из 18 регионов страны (95% от количества регионов расположения заводов): для категории экстра – 32, ТС1 – 11, ТС2 – 158, ТС3 – 29. Выборки сахара категорий экстра и ТС1 не содержали образцы специально выработанных для отдельных промышленных потребителей партий заданного состава. Цветность сахара в растворе определяли согласно ГОСТ 12572–2015 «Сахар. Метод определения цветности»; содержание золы кондуктометрической – согласно ГОСТ 12574–2016 «Сахар. Метод определения золы»; содержание кальция – по методике, изложенной в «Руководстве по организации контроля технологического потока производства сахара из сахароносного

растительного сырья (сахарной свеклы)» (Курск: ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2022. 186 с.); мутность – по методике ICUMSA GS2/3–18 The Determination of the Turbidity of White Sugar Solutions.

Установление общих референтных значений характеристик потребительских свойств белого сахара проводили с учетом характера распределения на основе методов математической статистики, включающих предварительное исследование функций распределения случайных величин. Сформированные из численных значений потребительских характеристик белого сахара вариационные ряды проверяли с использованием критериев Граббса и Диксона на наличие выбросов (экстремальных значений). После исключения выбросов мониторинговые данные преобразовывали в интервальные вариационные ряды. Гипотезу о нормальном распределении интервальных вариационных рядов потребительских характеристик проверяли с помощью критерия Колмогорова-Смирнова и расчетных значений показателей асимметрии, эксцесса, выборочной средней, моды, медианы и коэффициента вариации [24, 32, 33]. Гипотезу считали принятой при условии, что фактические значения критерия Колмогорова-Смирнова ($\lambda_{\text{факт}}$) ниже предельных значений: $\lambda_{\text{пред}} = 1,36$ при $\alpha = 0,05$; $\lambda_{\text{пред}} = 1,63$ при $\alpha = 0,01$; $\lambda_{\text{пред}} = 1,95$ при $\alpha = 0,001$. Расчет доверительных интервалов для средних референтных значений осуществляли в соответствии с классической интервальной оценкой генеральной средней нормально распределенной случайной величины показателей при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

Обработка и представление полученных результатов выполнены с помощью программ MS Excel, XL STAT 2013.

Результаты

Результаты проверки вариационных рядов потребительских характеристик белого сахара четырех категорий на основе критериев Граббса и Диксона показали наличие единичного выброса (экстремального значения) лишь для одной характеристики – содержания кальция в белом сахаре категории ТС1, который, предположительно, обусловлен случайными ошибками при его измерении. После исключения выброса мониторинговые данные преобразованы в интервальные вариационные ряды.

По результатам обработки интервальных вариационных рядов получены диаграммы и графики распределения потребительских характеристик белого сахара по каждой из четырех категорий для их визуального анализа. На рисунке 1 представлены гистограммы, кумуляты

и полигоны по двум характеристикам – мутности раствора белого сахара категории экстра и содержанию золы в белом сахаре категории ТС2.

Из рисунка видно, что полигон полученного распределения частот по форме близок к колоколообразной кривой нормального распределения.

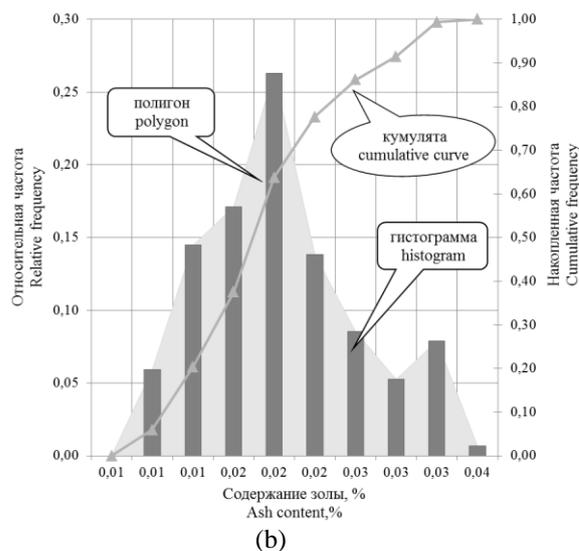
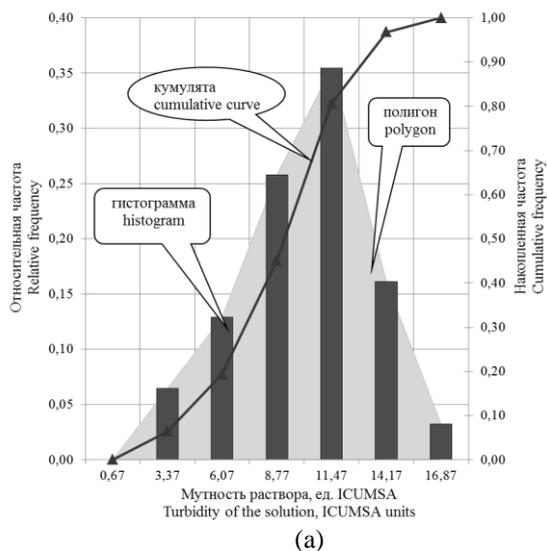


Рисунок 1. Распределение значений потребительских характеристик белого сахара в вариационных рядах: а – мутности раствора сахара категории экстра; б – содержания золы в сахаре категории ТС2

Figure 1. Distribution of values of consumer characteristics of white sugar in variation series: a – turbidity of a sugar solution in the extra category; b – ash content in sugar of TC2 category

Степень визуальной согласованности этих же мониторинговых данных с законом нормального распределения показана на рисунке 2. Кривые графиков свидетельствуют о близости

абсолютных значений эмпирических и теоретических частот, характеризующих степень проявления нормального закона.

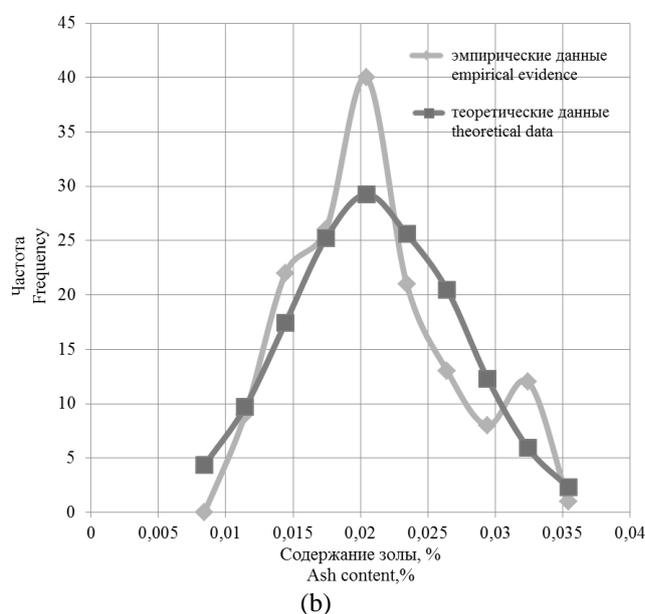
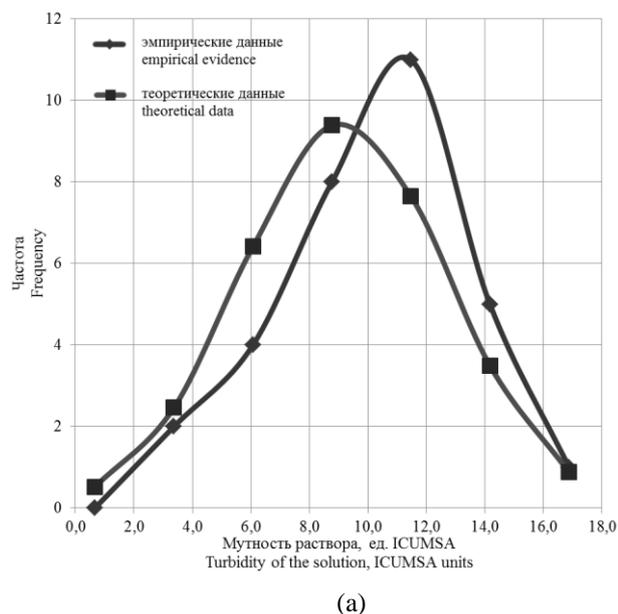


Рисунок 2. Эмпирические и теоретические частоты значений потребительских характеристик белого сахара в вариационных рядах: а – мутности раствора сахара категории экстра; б – содержания золы в сахаре категории ТС2

Figure 2. Empirical and theoretical frequencies of values of consumer characteristics of white sugar in variation series: a – turbidity of a sugar solution in the extra category; b – ash content in sugar of TC2 category

В целом для всех рассматриваемых потребительских характеристик белого сахара визуальный анализ характера распределения показал возможное соответствие их нормальному.

Результаты проверки нулевой гипотезы о соответствии фактического распределения вариационных рядов потребительских характеристик белого сахара нормальному распределению

на основе теста Колмогорова–Смирнова приведены в таблице 1. В графе таблицы результат проверки нулевой гипотезы обозначен знаком «+», если эмпирическое распределение не противоречит

нормальному закону (положительный результат); знаком «-» – если распределение противоречит нормальному закону (отрицательный результат).

Таблица 1.
Результаты теста Колмогорова–Смирнова и параметрические статистические показатели распределения вариационных рядов потребительских характеристик белого сахара

Table 1.
Results of the Kolmogorov–Smirnov test and parametric statistical indicators of the distribution of variation series of consumer characteristics of white sugar

Потребительская характеристика Consumer characteristics	$\lambda_{\text{факт}}$	Результат проверки гипотезы Hypothesis testing result	Параметрические статистические показатели Parametric statistical indicators					
			среднее mean	медiana median	мода mode	коэффициент вариации, % coefficient of variation, %	коэффициент эксцесса (E_k) coefficient of kurtosis (E_k)	коэффициент асимметрии (A_s) coefficient of skewness (A_s)
белый сахар категории экстра white sugar of extra category								
Цветность в растворе, ед. ICUMSA Colourity in the solution, ICUMSA units	1,11	+	40,9	40,5	40,0	8,6	-0,23	0,06
Мутность раствора, ед. ICUMSA Turbidity of the solution, ICUMSA units	0,88	+	9,17	10,0	8,0	38,5	0,60	-0,38
Содержание золы, % Ash content, %	0,19	+	0,01	0,01	0,01	22,2	0,63	-0,23
Содержание кальция, мг/кг Calcium content, mg/kg	1,87	+	15,1	11,0	10,0	45,9	0,35	1,24
белый сахар категории TC1 white sugar of TC1 category								
Цветность в растворе, ед. ICUMSA Colourity in the solution, ICUMSA units	0,84	+	56,91	57,00	57,00	5,1	2,40	-1,25
Мутность раствора, ед. ICUMSA Turbidity of the solution, ICUMSA units	-0,30	+	12,91	12,00	8,00	46,3	-0,02	-0,46
Содержание золы, % Ash content, %	-0,30	+	0,014	0,012	0,010	40,5	0,48	1,21
Содержание кальция, мг/кг Calcium content, mg/kg	0,18	+	30,91	30,00	30,00	38,0	3,27	1,62
белый сахар категории TC2 white sugar of TC2 category								
Цветность в растворе, ед. ICUMSA Colourity in the solution, ICUMSA units	1,78	+	88,13	90,5	104,0	31,6	-1,22	-0,48
Мутность раствора, ед. ICUMSA Turbidity of the solution, ICUMSA units	1,52	+	29,43	26,50	20,0	16,1	-0,34	0,66
Содержание золы, % Ash content, %	0,84	+	0,020	0,020	0,020	46,2	-0,09	0,62
Содержание кальция, мг/кг Calcium content, mg/kg	2,94	-	43,35	40,00	20,0	44,4	-0,82	0,51
белый сахар категории TC3 white sugar of TC3 category								
Цветность в растворе, ед. ICUMSA Colourity in the solution, ICUMSA units	0,63	+	140,0	138,0	140,0	16,9	0,78	1,03
Мутность раствора, ед. ICUMSA Turbidity of the solution, ICUMSA units	1,05	+	51,2	40,0	38,0	44,0	-0,95	0,73
Содержание золы, % Ash content, %	1,20	+	0,035	0,036	0,040	25,1	-0,03	-0,44
Содержание кальция, мг/кг Calcium content, mg/kg	0,88	+	89,5	90,0	90,0	31,0	1,35	0,97

Данные таблицы 1 показывают, что фактический критерий Колмогорова-Смирнова находился в диапазоне $\lambda_{\text{факт}} = 0,18 - 1,20$, т. е. ниже предельного значения $\lambda_{\text{пред}} = 1,36$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$, в 12 случаях: для 3 потребительских характеристик сахара категории экстра, 4 – категории ТС1, 1 – категории ТС2, 4 – категории ТС3. Для одной характеристики – мутности раствора сахара категории ТС2 $\lambda_{\text{факт}} = 1,52$ был ниже $\lambda_{\text{пред}} = 1,63$ при уровне значимости $\alpha = 0,01$; для двух характеристик – содержания кальция в сахаре категории экстра и цветности раствора сахара категории ТС2 $\lambda_{\text{факт}}$ (соответственно, 1,87 и 1,78) был ниже $\lambda_{\text{пред}} = 1,95$ при уровне значимости $\alpha = 0,001$. Лишь для содержания кальция в сахаре категории ТС2 предельное значение $\lambda_{\text{пред}} = 1,95$ оказалось ниже $\lambda_{\text{факт}} = 2,94$. В результате для потребительских характеристик белого сахара всех четырех категорий, за исключением содержания кальция в сахаре категории ТС2, фактический критерий Колмогорова-Смирнова не превышал предельных значений, что подтверждает нулевую гипотезу о соответствии их нормальному распределению.

Косвенные параметрические статистические показатели, представленные в таблице 1, дополнительно демонстрируют заметную степень сходимости фактических и теоретических частот нормального распределения. Об этом свидетельствуют выявленные близкие значения средней арифметической, медианы и моды по 9 позициям: 3 характеристикам белого сахара категории экстра, 2 – категории ТС1, 1 – категории ТС2,

3 – категории ТС3. Коэффициент вариации характеристик белого сахара не превышал предельного уровня 35% по 8 позициям: 2 характеристикам белого сахара категории экстра, 1 – категории ТС1, 2 – категории ТС2, 3 – категории ТС3, что указывает на более выраженное проявление нормального характера распределения этих характеристик. Полученная положительная величина коэффициента эксцесса говорит об островершинном распределении в половине вариационных рядов рассматриваемых характеристик, для другой половины, имеющей отрицательные значения этого коэффициента, характерно плосковершинное распределение. Отрицательная величина коэффициента асимметрии для 6 позиций характеристик белого сахара указывает на наличие для них незначительной левосторонней асимметрии, положительная величина для остальных характеристик свидетельствует о правосторонней асимметрии.

Таким образом, анализ характера распределения потребительских характеристик белого сахара четырех категорий выявил их соответствие нормальному закону, за исключением содержания кальция в сахаре категории ТС2. Поэтому референтные значения для этой характеристики не определяли.

В таблице 2 представлены рассчитанные референтные интервалы рассматриваемых потребительских свойств белого сахара; в числителе приведены диапазоны нижнего и верхнего пределов, в знаменателе – среднее референтное значение и доверительный интервал.

Таблица 2.
Референтные интервалы потребительских характеристик белого сахара

Reference intervals for consumer characteristics of white sugar

Table 2.

Потребительская характеристика Consumer characteristics	Категория белого сахара Category of white sugar			
	Экстра extra	ТС1	ТС2	ТС3
Цветность в растворе, ед. ICUMSA Colourity in the solution, ICUMSA units	39,6–42,2 (40,9 ± 1,3)	54,9–58,9 (56,9 ± 2,0)	85,9–90,3 (88,1 ± 2,2)	131,0–149,0 (140,0 ± 9,0)
Мутность раствора, ед. ICUMSA Turbidity of the solution, ICUMSA units	7,9–10,5 (9,2 ± 1,3)	8,9–16,9 (12,9 ± 4,0)	27,4–31,4 (29,4 ± 2,0)	42,6–59,8 (51,2 ± 8,6)
Содержание золы, % Ash content, %	0,009–0,011 (0,010 ± 0,001)	0,010–0,018 (0,014 ± 0,004)	0,019–0,021 (0,020 ± 0,001)	0,037–0,043 (0,040 ± 0,003)
Содержание кальция, мг/кг Calcium content, mg/kg	13–17 (15 ± 2)	23–38 (31 ± 8)	не определялись not defined	79–99 (89 ± 10)

Данные таблицы 2 показывают, что референтные интервалы потребительских характеристик белого сахара по показателям цветности в растворе и содержанию кальция не имеют пересечений для различных категорий сахара. В то же время отмечено пересечение референтных интервалов по показателям мутности раствора и содержанию золы, но только для категорий

белого сахара экстра и ТС1. Это свидетельствует о близости качественного состава сахара указанных категорий, что подтверждает наименьший относительный рост значений потребительских характеристик в разрезе категорий сахара по отношению к сахару более высокой предшествующей категории (таблица 3).

Таблица 3.
Относительный рост референтных значений потребительских характеристик белого сахара по отношению к более высокой предшествующей категории, %

Table 3.
Relative increase in reference values of consumer characteristics of white sugar in relation to the higher previous category, %

Потребительская характеристика Consumer characteristics	Категория белого сахара Category of white sugar			
	экстра extra	ТС1	ТС2	ТС3
Цветность в растворе, ед. ICUMSA Colourity in the solution, ICUMSA units	100	139	154	159
Мутность раствора, ед. ICUMSA Turbidity of the solution, ICUMSA units	100	140	228	174
Содержание золы, % Ash content, %	100	140	143	200
Содержание кальция, мг/кг Calcium content, mg/kg	100	207	не определялось not defined	207

Как видно, наиболее высокий рост отмечен для сахара категории ТС3 по отношению к сахару категории ТС2 (от 159 до 207%), далее следует категория ТС2 по отношению к категории ТС1 (от 143 до 228%), лишь затем категория ТС1 по отношению к категории экстра (рост в основном 140%).

Установленные общие референтные значения потребительских характеристик белого сахара разных категорий сравнивали с их пороговыми уровнями для разных промышленных

потребителей. В качестве таких потребителей рассматривали производство кондитерских изделий и напитков длительного хранения. Пороговые уровни потребительских характеристик белого сахара приведены в таблице 4, отсутствие требований обозначено как «О»; содержание кальция при производстве кондитерских изделий не нормируется, лишь при производстве карамели данный показатель является важным, поэтому соответствующий пороговый уровень 16,0 мг/кг дополнительно указан в знаменателе.

Таблица 4.
Пороговые уровни значений потребительских характеристик белого сахара для промышленных потребителей

Table 4.
Threshold levels of consumer characteristics of white sugar for industrial consumers

Потребительская характеристика Consumer characteristics	Производство кондитерских изделий Confectionery production	Производство напитков длительного хранения Production of long-life beverages
Цветность в растворе, ед. ICUMSA Colourity in the solution, ICUMSA units	104,0	35,0
Мутность раствора, ед. ICUMSA Turbidity of the solution, ICUMSA units	20,0	20,0
Содержание золы, % Ash content, %	0,036	0,015
Содержание кальция, мг/кг Calcium content, mg/kg	О/16,0	О

Для производства кондитерских изделий средние референтные значения (РЗ) всех четырех потребительских характеристик белого сахара категории экстра и ТС1 не превышали пороговый уровень. Однако для производства карамели сахар категории ТС1 оказался технологически неадекватным: по содержанию кальция РЗ 31 мг/кг было выше порогового уровня 16,0 мг/кг. Белый сахар категории ТС2 по одной потребительской характеристике не соответствовал требованиям: РЗ мутности 29,4 ед. ICUMSA было выше порогового уровня 20,0 ед. ICUMSA. Белый сахар категории ТС3 ни по какой потребительской характеристике не являлся технологически адекватным, РЗ превышали пороговый уровень. Также сахар категорий ТС2 и ТС3 не являлся технологически адекватным при производстве карамели.

Для производства напитков длительного хранения средние референтные значения белого сахара категорий экстра и ТС1 трех потребительских характеристик находились в пределах порогового уровня; по показателю цветности они превышали пороговый уровень: РЗ 40,9 и 56,9 ед. ICUMSA выше порогового уровня 35,0 ед. ICUMSA. Для сахара категорий ТС2 и ТС3 референтные значения по всем потребительским характеристикам превышали пороговый уровень.

Таким образом, вырабатываемый российскими свеклосахарными заводами белый сахар категории экстра полностью соответствует требованиям промышленных производителей кондитерских изделий; требования производителей напитков длительного хранения не выполняются по показателю цветности. Белый сахар категории ТС1 не в полной мере удовлетворяет

требования промышленных потребителей: при производстве карамели – по содержанию кальция, напитков длительного хранения – по цветности. Белый сахар категорий ТС2 и ТС3 не является технологически адекватным по рассмотренным потребительским характеристикам.

Вместе с тем, следует учесть ситуацию на рынке сахара, связанную с производством белого сахара разных категорий. Всего 14 свекло-сахарных заводов из 65 действующих производят сахар категорий экстра и ТС1, а его общий выпуск лишь в последние годы приблизился к 10% от общего выпуска сахара. При этом согласно ГОСТ 33222 цветность белого сахара категории экстра не должна быть более 45,0 ед. ICUMSA, категории ТС1 – более 60,0 ед. ICUMSA, в то время как для производства напитков длительного хранения – не более 35,0 ед. ICUMSA, т. е. требования промышленных потребителей по данному показателю более жесткие. Решение указанной ситуации предусматривает выпуск свеклосахарными заводами определенных партий сахара с заданными характеристиками, удовлетворяющими требования потребителей. Приняв определенные допущения о поставках сахара заданного качества промышленным потребителям, можно считать, что сахар категорий экстра и ТС1 в целом удовлетворяет требованиям производителей кондитерских изделий и напитков длительного хранения.

Заключение

Выявлено, что мониторинговые данные потребительских характеристик белого свекловичного сахара четырех категорий по цветности, мутности раствора, содержанию золы и кальция подчиняются закону нормального распределения, за исключением содержания кальция в белом сахаре категории ТС2. Для указанных характеристик установлены референтные интервалы. Показано, что наименьший относительный рост референтных значений уровня 140% наблюдается для сахара категории ТС1 по отношению к сахару категории экстра, наибольший – уровня от 159 до 207% для сахара категории ТС3 по отношению к сахару категории ТС2. Выполнено сравнение референтных значений с пороговыми уровнями потребительских характеристик для производителей кондитерских изделий и напитков длительного хранения. Показано, что сахар категорий экстра и ТС1 полностью удовлетворяет требованиям указанных производителей продуктов питания; отдельные партии сахара категории ТС2 могут быть использованы при производстве кондитерских изделий, за исключением карамели; сахар категории ТС3 является технологически неадекватным для данных промышленных потребителей.

Литература

- 1 Подгорнова Н.М., Петров С.М. Новые представления о восприятии сладкого вкуса // Сахар. 2023. № 12. С. 23–28. doi: 10.24412/2413–5518–2023–12–23–28
- 2 Rajaeifar M.A., Nemaayati S.S., Tabatabaei M., Aghashlo M. et al. A review on beet sugar industry with a focus on implementation of waste-to-energy strategy for power supply // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. V. 103. P. 423–442. doi: 10.1016/j.rser.2018.12.056
- 3 Филатов С.Л., Михайличенко М.С., Петров С.М., Подгорнова Н.М. Натуральные сиропы из топинамбура с пребиотическими свойствами // *Пищевая промышленность*. 2021. № 11. С. 15–21. doi: 10.52653/PPI.2021.11.11.005
- 4 Изтаев А., Языкбаев Е.С., Якияева М.А., Курбаниязов С.К. Сорговый сироп – альтернатива сахару при производстве продуктов питания // *Пищевая промышленность*. 2022. № 4. С. 12–15. doi: 10.52653/PPI.2022.4.4.002
- 5 Подгорнова Н.М., Петров С.М. Сахарозаменители и подсластители в продовольственных продуктах // *Товаровед продовольственных товаров*. 2021. № 11. С. 806–812. doi: 10.33920/igt-01–2111–01
- 6 Колончин К.В., Серегин С.Н., Сысоев Г.В. Пищевой комплекс России – 2019 год: результаты и задачи предстоящего периода в новых условиях развития // *Пищевая промышленность*. 2020. № 9. С. 34–40. doi: 10.24411/0235–2486–2020–10095
- 7 Iwuozor K.O., Anyanwu V.U., Olaniyi B.O., Mbamalu P.S. et al. Adulteration of sugar: A Growing Global Menace // *Sugar Tech*. 2022. V. 24. № 3. P. 914–919. doi: 10.1007/s12355–022–01122–6
- 8 Clemens R.A., Jones J.M., Kern M., Lee S-Y. et al. Functionality of sugars in foods and health // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016. V. 15. № 3. P. 433–470. doi: 10.1111/1541–4337.12194
- 9 Шобанова Т.В., Творогова А.А. Влияние замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир // *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 3. С. 604–614. doi: 10.21603/2074–9414–2021–3–604–614
- 10 Казанцев Е.В., Кондратьев Н.Б., Руденко О.С., Петрова Н.А. и др. Формирование пенообразной структуры кондитерских изделий // *Пищевые системы*. 2022. Т. 5. № 1. С. 64–69. doi: 10.21323/2618–9771–2022–5–1–64–69
- 11 Simoes S., Lelaj E., Rousseau D. The presence of crystalline sugar limits the influence of emulsifiers on cocoa butter crystallization // *Food Chemistry*. 2021. V. 346. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128848
- 12 Meza B.E., Peralta J-M., Zorrilla S.E. Effect of temperature and composition on rheological behaviour and sagging capacity of glaze materials for foods // *Food Hydrocolloids*. 2021. V. 117(2). doi: 10.1016/j.foodhyd.2021.106689
- 13 Querioz M.B., Sousa F.R., da Silva L.B., Alves R.M.V. et al. Co-crystallized sucrose-soluble fiber matrix: Physicochemical and structural characterization // *LWT – Food Science and Technology*. 2022. V. 154. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112685

- 14 Павлова А.В., Капнинова О.С., Полянин А.В. Повышение конкурентоспособности предприятий пищевой промышленности: кластерный подход // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 31(5). С. 170–181. doi: 10.24411/2309-4788-2020-10544
- 15 Рябова Т.Ф., Гусев В.В., Диброва Ж.Н. Развитие процессов цифровизации как эффективный ускоритель роста производства сахара // Пищевая промышленность. 2021. № 1. С. 20–23. doi: 10.24411/0235-2486-2021-10004
- 16 Алиева А.К., Труевцева О.А. Качество и безопасность товаров в современных условиях // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 3. С. 281–289. doi: 10.20914/2310-1202-2019-3-281-289
- 17 Тарасова Е.А., Гурьева К.Б., Славянский А.А., Лебедева Н.Н. и др. Развитие национальной инфраструктуры качества в области сахарной промышленности // Сахар. 2021. № 5. С. 20–23. doi: 10.24412/2413-5518-2021-5-20-23
- 18 Van der Sman R.G.M., Renzetti S. Understanding functionality of sucrose in biscuits for reformulation purposes // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019. V. 59. №. 14. P. 2225–2239. doi: 10.1080/10408398.2018.1442315
- 19 Simoes S., Lelaj E., Rousseau D. The presence of crystalline sugar limits the influence of emulsifiers on cocoa butter crystallization // Food Chemistry. 2021. №. 346. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128848
- 20 Лаптенко Н.С., Дударева А.Н., Севастей Л.И., Горошнякова С.Д. Влияние сахара на структурно-механические свойства хлебобулочных изделий из муки пшеничной первого сорта // Пищевая промышленность: наука и технологии. 2022. Т. 15. № 3(57). С. 62–68. doi: 10.47612/2073-4794-2022-15-3(57) – 62–68
- 21 Thorat A.A., Fomy L., Meunier V., Taylor L.S. et al. Effects of mono-, di-, and tri-saccharides on the stability and crystallization of amorphous sucrose // Journal of Food Science. 2018. V. 83. №. 11. P. 2827–2839. doi: 10.1111/1750-3841.14357
- 22 Андриевская Д.В., Захаров М.А., Ульянова Е.В., Трофимченко В.А. Исследования влияния сахаросодержащего сырья на остаточный процесс (старение) купажей ликеро-водочных изделий // Пиво и напитки. 2021. № 1. С. 16–20. doi: 10.24412/2072-9650-2021-1-0004
- 23 Егорова М.И., Кретова Я.А. Мутность растворов белого сахара как индикаторный показатель для потребителей и производителей // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Болгарии: сб. докл. XXIII междунар. науч.-техн. конф., Минск, 01 октября 2020 г. Минск: Беларуская навука, 2020. С. 363–367.
- 24 Евгина С.А., Савельев Л.И. Современные теория и практика референтных интервалов // Лабораторная служба. 2019. Т. 8. № 2. С. 36–44. doi: 10.17116/labs2019802136
- 25 Гришина Ж.В., Ключников С.О., Фещенко В.С., Жолинский А.В. Расчет референтных интервалов для показателей крови у детей и подростков: обзор проектов // Медицина экстремальных ситуаций. 2023. Т.25. № 1. С. 4–11. doi: 10.47183/mes.2023.008
- 26 Мирошников М.В., Султанова К.Т., Ковалева М.А., Акимова М.А. и др. Определение референтных интервалов клиренса эндогенного креатинина у лабораторных животных // Лабораторные животные для научных исследований. 2022. Т. 8. № 4. С. 21–30. doi: 10.57034/2618723X-2022-04-03
- 27 Архипкин А.А., Лянг О.В., Кочетов А.Г. Методика расчета референтных интервалов лабораторных показателей на примере фекальных белков // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2014. № 3(47). С. 23–25.
- 28 Скоркин В.К., Ларкин Д.К., Тихомиров И.А., Аксенова В.П. Характеристика качества молока и его зависимость от различных факторов // Вестник ВНИИМЖ. 2019. № 1(33). С. 14–20.
- 29 Шмалько Н.А., Никитин И.А., Велина Д.А., Пономарева Л.Ф. и др. Проверка гипотезы нормальности числа падения овсяной муки по малым выборкам // Вестник ВГУИТ. 2023. Т.85. № 1. С. 118–126. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-118-126
- 30 Шмалько Н.А., Никитин И.А., Муталлибзода Ш., Гончаров А.В. и др. Выборочное распределение наблюдений числа падения кукурузной муки // Вестник ВГУИТ. 2023. Т.85. № 1. С. 127–137. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-127-137
- 31 Дворянинова О.П., Алехина А.В., Косенко И.С., Евстратова А.С. Оценка качества хлебобулочных изделий с применением статистических методов анализа // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 1. С. 464–469. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-464-469
- 32 Тарасенко И.Д., Дударев В.А. Использование статистических критериев для оценки качества данных (на примере данных по свойствам неорганических веществ) // Тонкие химические технологии. 2017. Т. 12. № 3. С. 101–105
- 33 Кулешов Е.Л. Критерий согласия на основе интервальной оценки // Автотметрия. 2016. Т. 52. № 1. С. 30–36. doi: 10.153/AUT20160104

References

- 1 Podgornova N.M., Petrov S.M. New ideas about the perception of sweet taste of Sugar. 2023. no. 12. pp. 23–28. doi: 10.24412/2413-5518-2023-12-23-28 (in Russian).
- 2 Rajaeifar M.A., Hemayati S.S., Tabatabaei M., Aghashlo M. et al. A review on beet sugar industry with a focus on implementation of waste-to-energy strategy for power supply. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. vol. 103. pp. 423–442. doi: 10.1016/j.rser.2018.12.056
- 3 Filatov S.L., Mikhailichenko M.S., Petrov S.M., Podgornova N.M. Natural Jerusalem artichoke syrups with prebiotic properties. *Food industry*. 2021. no. 11. pp. 15–21. doi: 10.52653/PPI.2021.11.11.005 (in Russian).
- 4 Iztaev A., Yazykbaev E.S., Yakiyaeva M.A., Kurbaniyazov S.K. Sorghum syrup is an alternative to sugar in food production. *Food Industry*. 2022. no. 4. pp. 12–15. doi: 10.52653/PPI.2022.4.4.002 (in Russian).
- 5 Podgornova N.M., Petrov S.M. Sweeteners and sweeteners in food products. *Commodity expert of food products*. 2021. no. 11. pp. 806–812. doi: 10.33920/igt01-2111-01 (in Russian).
- 6 Kolonchin K.V., Seregin S.N., Sysoev G.V. Food complex of Russia - 2019: results and tasks of the upcoming period in the new conditions of development. *Food industry*. 2020. no. 9. pp. 34–40. doi: 10.24411/0235-2486-2020-10095 (in Russian).

- 7 Iwuozor K.O., Anyanwu V.U., Olaniyi B.O., Mbamalu P.S. et al. Adulteration of sugar: A Growing Global Menace. *Sugar Tech.* 2022. vol. 24. no. 3. pp. 914–919. doi: 10.1007/s12355-022-01122-6
- 8 Clemens R.A., Jones J.M., Kern M., Lee S-Y. et al. Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 2016. vol. 15. no. 3. pp. 433–470. doi: 10.1111/1541-4337.12194
- 9 Shobanova T.V., Tvorogova A.A. The influence of replacing sucrose with glucose-fructose syrup on the quality indicators of ice cream. *Equipment and technology of food production.* 2021. vol. 51. no. 3. pp. 604–614. doi: 10.21603/2074-9414-2021-3-604-614 (in Russian).
- 10 Kazantsev E.V., Kondratiev N.B., Rudenko O.S., Petrova N.A. and others. Formation of the foam-like structure of confectionery products. *Food systems.* 2022. vol. 5. no. 1. pp. 64–69. doi: 10.21323/2618-9771-2022-5-1-64-69 (in Russian).
- 11 Simoes S., Lelaj E., Rousseau D. The presence of crystalline sugar limits the influence of emulsifiers on cocoa butter crystallization. *Food Chemistry.* 2021. vol. 346. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128848
- 12 Meza B.E., Peralta J-M., Zorrilla S.E. Effect of temperature and composition on rheological behaviour and sagging capacity of glaze materials for foods. *Food Hydrocolloids.* 2021. vol. 117(2). doi: 10.1016/j.foodhyd.2021.106689
- 13 Querioz M.B., Sousa F.R., da Silva L.B., Alves R.M.V. et al. Co-crystallized sucrose-soluble fiber matrix: Physicochemical and structural characterization. *LWT – Food Science and Technology.* 2022. vol. 154. doi: 10.1016/j.lwt.2021.112685
- 14 Pavlova A.V., Kapninova O.S., Polyaniin A.V. Increasing the competitiveness of food industry enterprises: a cluster approach. *Natural-humanitarian studies.* 2020. no. 31(5). pp. 170–181. doi: 10.24411/2309-4788-2020-10544 (in Russian).
- 15 Ryabova T.F., Gusev V.V., Dibrova Zh.N. Development of digitalization processes as an effective accelerator of sugar production growth. *Food industry.* 2021. no. 1. pp. 20–23. doi: 10.24411/0235-2486-2021-10004 (in Russian).
- 16 Alieva A.K., Truevtseva O.A. Quality and safety of goods in modern conditions. *Proceedings of VSUET.* 2019. vol. 81. no. 3. pp. 281–289. doi: 10.20914/2310-1202-2019-3-281-289 (in Russian).
- 17 Tarasova E.A., Guryeva K.B., Slavyansky A.A., Lebedeva N.N. and others. Development of national quality infrastructure in the sugar industry. *Sugar.* 2021. no. 5. pp. 20–23. doi: 10.24412/2413-5518-2021-5-20-23 (in Russian).
- 18 Van der Sman R.G.M., Renzetti S. Understanding functionality of sucrose in biscuits for reformulation purposes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2019. vol. 59. no. 14. pp. 2225–2239. doi: 10.1080/10408398.2018.1442315
- 19 Simoes S., Lelaj E., Rousseau D. The presence of crystalline sugar limits the influence of emulsifiers on cocoa butter crystallization. *Food Chemistry.* 2021. no. 346. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128848
- 20 Laptinok N.S., Dudareva A.N., Sevastei L.I., Goroshnyakova S.D. The influence of sugar on the structural and mechanical properties of bakery products made from first grade wheat flour. *Food industry: science and technology.* 2022. T. 15. no. 3(57). pp. 62–68. doi: 10.47612/2073-4794-2022-15-3(57) - 62-68 (in Russian).
- 21 Thorat A.A., Forny L., Meunier V., Taylor L.S. et al. Effects of mono-, di-, and tri-saccharides on the stability and crystallization of amorphous sucrose. *Journal of Food Science.* 2018. vol. 83. no. 11. pp. 2827–2839. doi: 10.1111/1750-3841.14357
- 22 Andrievskaya D.V., Zakharov M.A., Ulyanova E.V., Trofimchenko V.A. Research on the influence of sugar-containing raw materials on the residual process (aging) of blends of alcoholic beverages. *Beer and drinks.* 2021. no. 1. pp. 16–20. doi: 10.24412/2072-9650-2021-1-0004 (in Russian).
- 23 Egorova M.I., Kretova Y.A. Turbidity of white sugar solutions as an indicator for consumers and producers. *Agrarian science - agricultural production of Siberia, Mongolia, Kazakhstan, Belarus and Bulgaria: collection. report XXIII int. scientific-technical Conf., Minsk, October 1, 2020. Minsk, Belarusian Science, 2020.* pp. 363–367. (in Russian).
- 24 Evgina S.A., Savelyev L.I. Modern theory and practice of reference intervals. *Laboratory Service.* 2019. vol. 8. no. 2. pp. 36–44. doi: 10.17116/labs2019802136 (in Russian).
- 25 Grishina Zh.V., Klyuchnikov S.O., Feshchenko V.S., Zholinsky A.V. Calculation of reference intervals for blood parameters in children and adolescents: review of projects. *Medicine of extreme situations.* 2023. vol. 25. no. 1. pp. 4–11. doi: 10.47183/mes.2023.008 (in Russian).
- 26 Miroshnikov M.V., Sultanova K.T., Kovaleva M.A., Akimova M.A. et al. Determination of reference intervals for endogenous creatinine clearance in laboratory animals. *Laboratory animals for scientific research.* 2022. vol. 8. no. 4. pp. 21–30. doi: 10.57034/2618723X 2022-04-03 (in Russian).
- 27 Arkhipkin A.A., Lyang O.V., Kochetov A.G. Methodology for calculating reference intervals of laboratory parameters using the example of fetal proteins. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy.* 2014. no. 3(47). pp. 23–25. (in Russian).
- 28 Skorin V.K., Larkin D.K., Tikhomirov I.A., Aksanova V.P. Characteristics of milk quality and its dependence on various factors. *Vestnik VNIIMZH.* 2019. no. 1(33). pp. 14–20. (in Russian).
- 29 Shmalko N.A., Nikitin I.A., Velina D.A., Ponomareva L.F. and others. Testing the hypothesis of normality of the falling number of oatmeal using small samples. *Proceedings of VSUET.* 2023. vol. 85. no. 1. pp. 118–126. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-118-126 (in Russian).
- 30 Shmalko N.A., Nikitin I.A., Mutallibzoda Sh., Goncharov A.V. and others. Selective distribution of observations of the falling number of corn flour. *Proceedings of VSUET.* 2023. vol. 85. no. 1. pp. 127–137. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-127-137 (in Russian).
- 31 Dvoryaninova O.P., Alekhina A.V., Kosenko I.S., Evstratova A.S. Assessing the quality of bakery products using statistical methods of analysis. *Proceedings of VSUET.* 2019. vol. 81. no. 1. pp. 464–469. doi: 10.20914/2310-1202-2019-1-464-469 (in Russian).
- 32 Tarasenko I.D., Dudarev V.A. Using statistical criteria to assess data quality (using the example of data on the properties of inorganic substances). *Fine chemical technologies.* 2017. vol. 12. no. 3. pp. 101–105. (in Russian).
- 33 Kuleshov E.L. Goodness-of-fit criterion based on interval estimation. *Autometry.* 2016. vol. 52. no. 1. pp. 30–36. doi: 10.153/AUT20160104

Сведения об авторах

Марина И. Егорова к.т.н., зав. лабораторией технологий сахара и методов контроля продукции, Курский федеральный аграрный научный центр, ул. Карла Маркса, 70б, г. Курск, 305021, Россия, rniisp@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-1333-7377>

Любовь И. Беляева к.т.н., вед. науч. сотр., лаборатория технологий сахара и методов контроля продукции, Курский федеральный аграрный научный центр, ул. Карла Маркса, 70б, г. Курск, 305021, Россия, belyaeva_li@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6099-6063>

Любовь Н. Пузанова к.с.-х.н., вед. науч. сотр, лаборатория технологий сахара и методов контроля продукции, Курский федеральный аграрный научный центр, ул. Карла Маркса, 70б, г. Курск, 305021, Россия, info@rniisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0857-5744>

Михаил К. Пружин д.с.-х.н., ст. науч. сотр, лаборатория технологий сахара и методов контроля продукции, Курский федеральный аграрный научный центр, ул. Карла Маркса, 70б, г. Курск, 305021, Россия, mihailpruzin@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5977-771X>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Marina I. Egorova Cand. Sci. (Engin.), head of the laboratory of sugar technologies and product control methods, Federal Agricultural Kursk Research Center, Karl Marks St, 70b, Kursk, 305021, Russia, rniisp@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0003-1333-7377>

Lyubov I. Belyaeva Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, laboratory of sugar technologies and product control methods, Federal Agricultural Kursk Research Center, Karl Marks St, 70b, Kursk, 305021, Russia, belyaeva_li@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6099-6063>

Lyubov N. Puzanova Cand. Sci. (Agric.), leading researcher, laboratory of sugar technologies and product control methods, Federal Agricultural Kursk Research Center, Karl Marks St, 70b, Kursk, 305021, Russia, info@rniisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0857-5744>

Mikhail K. Pruzhin Dr. Sci. (Agric.), senior researcher, laboratory of sugar technologies and product control methods, Federal Agricultural Kursk Research Center, Karl Marks St, 70b, Kursk, 305021, Russia, mihailpruzin@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5977-771X>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/04/2024	После редакции 06/05/2024	Принята в печать 22/05/2024
Received 18/04/2024	Accepted in revised 06/05/2024	Accepted 22/05/2024

Влияние льняной муки на качество ржаного хлеба

Андрей А. Хлопов¹ akhlopov@yandex.ru  0009-0003-3774-4329
Сергей Г. Ефименко² biohim@vniimk.ru  0000-0002-8068-6668
Елена С. Лыбенко¹ elenalybenko@rambler.ru  0000-0001-8853-1903

¹ Вятский государственный агротехнологический университет, пр-т Октябрьский, 133, г. Киров, 610017, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта, ул. Филатова, 17, Краснодар, 350038, Россия)

Аннотация. Семена льна были и остаются востребованными в питании населения нашей страны. Они ценны своим химическим составом и содержат полиненасыщенные жирные кислоты, белок, лигнаны, пищевые волокна, слизи. Известно, что муку из льняных семян можно добавлять в различные виды хлеба на основе пшеничной муки в пределах 5–10%. У изделий может присутствовать льняной запах и вкус. Это ограничивает вывод такого хлеба в массовое производство. В исследованиях было изучено качество ржаного хлеба с добавлением льняной муки различного качества в количестве 10%. В хлеб вносили обезжиренную льняную муку торговой марки «Компас здоровья» а также муку из семян льна сортов ВНИИМК 620 ФН (типичный жирнокислотный состав) и Ы 117 (измененный жирнокислотный состав). Было установлено, что наибольшее количество жира (8,1%), и омега-3 жирных кислот (44,5%) содержится в ржаном хлебе с добавлением в тесто муки из семян льна сорта ВНИИМК 620 ФН. Превышение доли омега-3 жирных кислот в хлебе этого варианта по сравнению с контролем (8,4%) составило более чем в 5 раз. Хлеб других вариантов содержал около 25–26% омега-3 жирных кислот. По органолептическим и физико-химическим показателям качество хлеба с льняной мукой из семян сорта ВНИИМК 620 ФН находилось близко к контролю и было лучшим по совокупности показателей среди изучаемых вариантов хлеба.

Ключевые слова: ржаной хлеб, омега-3, жирные кислоты, показатели качества, льняная мука, лен масличный, функциональные ингредиенты.

The influence of flaxseed flour on the quality of rye bread

Andrey A. Khlopov¹ akhlopov@yandex.ru  0009-0003-3774-4329
Sergey G. Efimenko² biohim@vniimk.ru  0000-0002-8068-6668
Elena S. Lybenko¹ elenalybenko@rambler.ru  0000-0001-8853-1903

¹ Vyatka State Agrotechnological University, Oktyabrsky Ave., 133, Kirov, 610017, Russia

² All-Russian Research Institute of Oilseeds named after V.S. Pustovoit, 17 Filatov str., Krasnodar Krai, 350038, Russia

Abstract. Flax seeds have been and remain in demand in the nutrition of the population of our country. They are valuable for their chemical composition and contain polyunsaturated fatty acids, protein, lignans, dietary fibers, and mucus. It is known that flaxseed flour can be added to various types of bread based on wheat flour in the range of 5–10%. The products may have a flaxseed smell and taste. This limits the output of such bread into mass production. The research examined the quality of rye bread with the addition of flaxseed flour of various qualities in an amount of 10%. Low-fat flaxseed flour of the Compass of Health trademark was added to the bread, as well as flour from flax seeds of the VNIIMK 620 FN varieties (typical fatty acid composition) and Y 117 (modified fatty acid composition). It was found that the largest amount of fat (8.1%) and omega-3 fatty acids (44.5%) is contained in rye bread with the addition of flax seed flour of the VNIIMK 620 FN variety to the dough. The excess of the proportion of omega-3 fatty acids in bread of this variant compared to the control (8.4%) was more than 5 times. The bread of the other variants contained about 25–26% omega-3 fatty acids. According to organoleptic and physico-chemical indicators, the quality of bread with flaxseed flour from seeds of the VNIIMK 620 FN variety was close to control and was the best in terms of aggregate indicators among the studied bread options

Keywords: rye bread, omega-3, fatty acids, quality indicators, flaxseed flour, oilseed flax, functional ingredients.

Введение

Продукты переработки льняных семян не являются традиционным сырьем для хлебопечения. При этом особенности химического состава льняных ингредиентов позволяют использовать их для повышения пищевой и биологической ценности хлебоулучшающих изделий.

Семена льна являются самым богатым растительным источником ненасыщенных жирных кислот – линолевой кислоты (омега-6)

и α -линоленовой (омега-3 до 57% в составе масла). Современными диетологами семена льна рассматриваются еще как ценный источник белка, растворимых и нерастворимых пищевых волокон, лигнанов [1–3]. В нашей стране жирные кислоты омега-3 и омега-6 определены ГОСТ Р 54059–2010 как функциональные пищевые ингредиенты.

Исследования индийских ученых по совместному внесению льняной и ячменной муки в темный хлеб в соотношении 50:20 позволили

Для цитирования

Хлопов А.А., Ефименко С.Г., Лыбенко Е.С. Влияние льняной муки на качество ржаного хлеба // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 74–80. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-74-80

For citation

Khlopov A.A., Efimenko S.G., Lybenko E.S. The influence of flaxseed flour on the quality of rye bread. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 74–80. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-74-80

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

достичь таких результатов, что среднестатистические покупатели не смогли отличить полученный продукт от контрольного. Диетологи рекомендовали такой хлеб для геродиетического питания в связи с его высокой ценностью именно для этой возрастной категории жителей Индии [4].

В мировой практике семена льна относят к суперфудам благодаря обилию разнообразных функциональных фитохимических и питательных веществ [5]. Содержание белка в семенах льна достигает 22–26%, что сопоставимо с его количеством в семенах зернобобовых культур и ряда животных продуктов. Льняное семя содержит витамины А, Е, группы В (В1, В2, В6), фолиевую кислоту, цинк, магний, натрий и калий. Клетчатка льняной муки обладает пребиотической активностью, а фитоэстрогены семени – антиаллергическим и антиоксидантным действием. Антипитательные вещества льняного семени не оказывают негативного влияния на организм человека, часть из них разрушается при термической обработке [6, 7]. Химический состав муки из льняных семян позволяет включать этот компонент в качестве источника микронутриентов с целью обогащения и создания на этой основе продуктов функциональной направленности [8, 9], в том числе безглютеновых и вегетарианских [10, 11].

Внесение льняной муки в пшенично-ржаной и ржано-пшеничный хлеб изучали разные авторы. Учеными показана возможность и целесообразность использования этого ингредиента для повышения биологической ценности хлебобулочных изделий, расширения ассортимента и создания продуктов питания с функциональными свойствами. Рекомендуемое количество льняной муки составляет 5–10% [12–16].

При изучении влияния льняной муки на качество пшеничного хлеба установлена обратная достоверная корреляция содержания льняной муки в тесте с физическими характеристиками хлеба (объем буханки, пористость, эластичность), а также его общей дегустационной оценкой [17]. Изучение влияния льняной муки на традиционный пшеничный паровой в Китае хлеб показало, что с увеличением её количества снизилась вязкость теста, его устойчивость и липкость. Добавление льняной муки в тесто увеличило твердость и жевательную способность хлеба при одновременном уменьшении когезионной способности и упругости [18].

Имеются данные, что льняная мука может придавать хлебу неприятный вкус [19, 20], который можно обозначить как характерный льняной [21].

Наличие в льняном семени значительного количества полиненасыщенных жирных кислот обуславливает сложность хранения как самих семян, так и продуктов их переработки.

Это натолкнуло селекционеров на создание сортов льна с измененным жирнокислотным составом жира в семенах, где снижено содержание омега-3 [22, 23]. Внесение льняных семян с различным типом жирнокислотного состава в хлеб может по-разному оказывать влияние на показатели его качества и сенсорное восприятие.

Цель работы: изучение влияния льняной муки с различным типом жирно-кислотного состава на качество ржаного хлеба.

Объекты и методы

Объекты исследований: ржаное тесто и хлеб, выпеченный с добавлением льняной муки. В исследованиях льняную муку вносили в тесто взамен ржаной в количестве 10%. Для этого использовали обезжиренную льняную муку торговой марки «Компас здоровья», а также необезжиренную льняную муку, полученную из семян масличного льна сортов ВНИИМК 620 ФН и Ы 117, которые непосредственно перед внесением в тесто размалывали на лабораторной мельнице.

Технология приготовления ржаного хлеба – традиционная, на живой закваске, замес теста в течение 22 мин на медленной скорости, отдых теста 5–10 мин., деление теста на заготовки массой 350 г., расстойка при 38 °С и влажности воздуха 80%, выпечка при 190 °С.

Семена льна сорта ВНИИМК 620 ФН имеют традиционную коричневую окраску семян. Это сорт льна с типичным жирно-кислотным составом масла. У сорта Ы 117 семена отличаются не только желтой окраской, но и измененным жирно-кислотным составом. Льняная мука торговой марки «Компас здоровья» – это мука, полученная из масличного льна путем размола жмыха, оставшегося после отжима масла. Она имеет темно-коричневый цвет и отличается насыщенным льняным запахом и вкусом.

Схема вариантов: К – без добавления льняной муки; А1 – с льняной мукой из семян сорта ВНИИМК 620 ФН; А2 – с льняной мукой из семян сорта Ы 117; А3 – с льняной мукой «Компас здоровья».

Органолептические показатели качества хлеба определяли по методике балльной оценки, разработанной специально для хлеба с добавлением льняной муки [24]. Из физико-химических показателей качества определяли влажность по ГОСТ 21094–75, титруемую кислотность по ГОСТ 5670–96, пористость мякиша готовых изделий по ГОСТ 5669–96.

Для определения жирнокислотного состава образцы хлеба измельчали и проводили трехкратную экстракцию гексаном в соответствии с ГОСТ 31665–2012, а затем определяли состав жирных кислот с применением газового хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000.2».

Результаты и обсуждение

Внесение в тесто дополнительных ингредиентов, которые не предусмотрены технологической картой, зачастую влияет на изменение как технологических, так и органолептических свойств. Известно, что льняная мука в процессе

брожения теста более 30 мин. увеличивает кислотонакопление и ускоряет его созревание. По условию опыта брожение теста было незначительным по продолжительности (5–10 мин.). Кислотность теста не могла существенно увеличиться (таблица 1).

Таблица 1.

Показатели качества ржаного теста

Table 1.

Rye dough quality indicator

Варианты Variants	Температура, °C Temperature, °C	Кислотность, град Acidity, degree	Влажность, % Humidity, %
К	27,5	9,0 ± 0,3	53,6 ± 0,2
A1	27,6	8,5 ± 0,2	53,4 ± 0,1
A2	27,5	8,6 ± 0,3	53,5 ± 0,2
A3	27,4	9,0 ± 0,3	53,9 ± 0,2

Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о том, что значительных отличий в показателях качества теста у изучаемых вариантов не обнаружено. Следует отметить, что кислотность теста со свежеразмолотыми семенами на 0,4–0,5 град ниже по сравнению с контролем и мукой из льняного жмыха.

Тесто с размолотыми семенами льна сорта ВНИИМК 620 ФН содержит темные вкрапления молотых семян, а в тесте с размолотыми семенами сорта Б117 отмечены светлые вкрапления. В контрольном тесте и у варианта с мукой торговой марки «Компас здоровья» вкраплений не обнаружено. Тесто варианта с обезжиренной льняной мукой самое темное среди изучаемых вариантов.

Органолептические показатели качества хлеба отражены в профилограмме (рисунок 1). Профиль варианта А1 самый развитый среди изучаемых вариантов и максимально приближен к контролю. Запах и цвет мякиша этого варианта соответствует контролю. Во вкусе хлеба всех изучаемых вариантов присутствуют льняные оттенки разной степени выраженности.

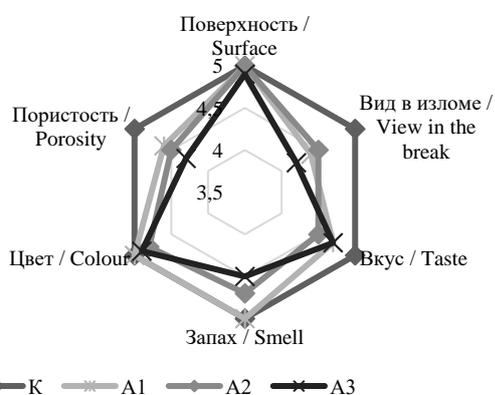


Рисунок 1. Профилограмма органолептической оценки качества хлеба с добавлением льняной муки
Figure 1. A profilogram of the organoleptic evaluation of the quality of bread with the addition of flaxseed flour

Наибольшие провалы в органолептических показателях качества отмечаются в пористости и виде хлеба в изломе. Добавление льняной муки в количестве 10% снижает степень разрыхленности мякиша изделия, ухудшает визуальное восприятие степени привлекательности мякиша.

Во время дегустации эксперты отметили, что цвет мякиша хлеба варианта А2 характеризуется как неоднородный ввиду наличия вкраплений желтого цвета. Мякиш хлеба варианта А3 имел наиболее темную окраску среди изучаемых вариантов.

Хлеба варианта А1 был лучшим по общему впечатлению, которое характеризовалось как гармоничное, приятное с сочной влажной текстурой. Изделиям с мукой из семян льна сорта Б117 не хватило сочности в текстуре. Мякиш хлеба этого варианта был суховат, на губах оставался жировой налет. Хлеб варианта А3 характеризовался насыщенным льняным вкусом и запахом, имел суховатый и непривлекательный мякиш.

Физико-химические показатели качества хлеба представлены в таблице 2. Кислотность хлеба, полученного в ходе проведения эксперимента, была на треть ниже, чем значения, допускаемые ГОСТом. У контроля кислотность мякиша хлеба отмечена на уровне 8,5 град. Достоверного отклонения от этого уровня не отмечено ни в одном из вариантов.

Кислотность хлеба с добавлением льняной муки находится на уровне или ниже, чем у контроля. Вариант А2 имеет наименее выраженную кислотность. Она составляет 7,9 град. Наиболее кислым мякишем среди изучаемых вариантов был вариант с добавлением муки «Компас здоровья». Кислотность его мякиша была на уровне контроля и составила 8,5 град. Показатель пористости в пределах, допускаемых стандартом значений отмечен у контрольного варианта и А1.

Таблица 2.

Физико-химические показатели качества хлеба

Table 2.

Physico-chemical indicators of bread quality

Варианты Variants	Кислотность, град Acidity, degree	Влажность, % Humidity, %	Пористость, % Porosity, %
Требования ГОСТ 2077-84	≤12,0	≤51,0	≤48
К	8,5 ± 0,3	48,7 ± 0,1	50 ± 0,5
A1	8 ± 0,2	48,4 ± 0,2	51 ± 0,3
A2	7,9 ± 0,3	48,1 ± 0,1	47 ± 0,5
A3	8,5 ± 0,2	49,0 ± 0,1	45 ± 0,4

Изменения физико-химических и органолептических показателей среди вариантов связаны с добавлением льняной муки. Определенное влияние оказывает качественный и количественный её состав, а именно, количество жира и соотношение его жирных кислот.

В ходе исследования было установлено, что содержание жира в муке «Компас здоровья» составило 9,5%, а у муки из семян сортов ВНИИМК 620 ФН и Ы 117—48,2% и 40,8% соответственно (таблица 3). Ржаная мука содержала 1,1% жира.

Таблица 3.

Содержание жира и ненасыщенных жирных кислот в муке и хлебе, %

Table 3.

The content of fat and unsaturated fatty acids in flour and bread, bread without

Содержание Content	Мука Flour				Хлеб Bread			
	К	A1	A2	A3	К	A1	A2	A3
Жир Fat	1,1	48,2	40,8	9,5	0,8	8,1	6,5	2,3
± к контролю to control		47,4	40	8,7		7,0	5,4	1,2
Омега-3 Omega-3	7,6	51,9	28,6	53,8	8,4	44,5	25,2	26,3
Омега-6 Omega-6	53,4	15,3	38,8	14,2	42,6	20,2	40,6	30,6
Омега-9 Omega-9	21,1	21,8	21,3	21,5	33,6	22,8	22,1	29,5

Общее содержание жира ржаного хлеба составило 0,8%, а наибольшее количество жирных кислот представлено группой омега-6. При этом кислоты группы омега-3 присутствуют в минимальном количестве (8,4%).

Добавление муки из семян льна сорта ВНИИМК 620 ФН в ржаной хлеб привело к увеличению количества жира в 9 раз. На долю омега-3 жирных кислот приходилось 44,5%. Увеличение содержания омега-3 в A1 составило более чем в 5 раз.

Содержание жира у хлеба вариантов A2 и A3 составила 6,5 и 2,3%. У обоих вариантов преобладали жирные кислоты группы омега-6 в количестве 40,6 и 30,6% соответственно. Соотношение жирных кислот в льняной муке из сортов ВНИИМК 620 ФН и Ы 117 сохраняется и в хлебе. Следовательно, для увеличения содержания в хлебе омега-3 жирных кислот следует вносить в тесто не просто льняную муку, а муку сортов с традиционным жирно-кислотным профилем.

Заключение

Тесто с добавлением льняной муки из размолотых семян льна сортов ВНИИМК 620 ФН и Ы 117 имеет более низкую кислотность по сравнению с контролем и обезжиренной льняной мукой торговой марки «Компас здоровья». Тесто с добавлением льняной муки Ы 117 отличается светлыми вкраплениями в виде частиц семян, а вариант с мукой «Компас здоровья» отличался

самым темным мякишем среди изучаемых вариантов. Цвет мякиша хлеба с добавлением льняной муки из семян Ы 117 был светлее контроля и содержал светлые вкрапления. Хлеб варианта A3 был самым темным. Дегустационная оценка показала, что наилучшими вкусовыми свойствами обладал вариант хлеба с добавлением льняной муки сорта ВНИИМК 620 ФН. Мякиш этого сорта отмечен дегустаторами как более гармоничный, приятный с сочной влажной текстурой. Он не был чрезмерно липким. Несмотря на высокое содержание жира этот хлеб не оставлял сального ощущения на губах при дегустации. Физико-химические показатели качества хлеба с добавлением льняной муки были в пределах требований ГОСТ, предъявляемым к ржаному формовому хлебу.

Наибольшее количество жира зафиксировано у льняной муки из семян сорта льна ВНИИМК 620 ФН (48,2%), при этом доля омега-3 жирных кислот составила 51,9%. Хлеб A1 содержал 8,1% жира и максимальное количество омега-3 жирных кислот среди вариантов. Превышение контроля по содержанию омега-3 жирных кислот у A1 было более чем в 5 раз.

Ржаной хлеб с добавлением льняной муки из семян сорта льна ВНИИМК 620 ФН отличается более гармоничным вкусом, имеет сочный мякиш, и по совокупности показателей является лучшим среди изучаемых вариантов.

Литература

- 1 Eyres L., Eyres M. Flaxseed (Linseed) fibre-nutritional and culinary uses-a review // Food New Zealand. 2014. V. 14. №. 2. P. 26-28. doi: 10.3316/informat.370172423621267
- 2 Pramanik J., Kumar A., Prajapati B. A review on flaxseeds: Nutritional profile, health benefits, value added products, and toxicity // eFood. 2023. V. 4. №. 5. P. e114. doi: 10.1002/efd2.114
- 3 Matveeva T., Papchenko V., Petik P., Khareba V. et al. Development of flour combined systems with improved amino acid composition // Food Science & Technology (2073-8684). 2023. V. 17. №. 3. doi: 10.15673/fst.v17i3.2652
- 4 Nidhi K., Sunita M. Texture analysis on normal brown bread to functional brown bread incorporated barley and flaxseed for aged person // International Journal of Food Science and Nutrition. 2017. V. 2. №. 16. P. 217–219.
- 5 Zhang M., Chen Y., Deng Q. Fatty Acid Release and Gastrointestinal Oxidation Status: Different Methods of Processing Flaxseed // Foods. 2024. V. 13. №. 5. P. 784. doi: 10.3390/foods13050784
- 6 Augustyńska-Prejsnar A., Ormian M., Sokołowicz Z., Kačániová M. The effect of the addition of hemp seeds, Amaranth, and Golden flaxseed on the nutritional value, physical, sensory characteristics, and safety of poultry Pâté // Applied Sciences. 2022. V. 12. №. 10. P. 5289. doi: 10.3390/app12105289
- 7 Zhang S., Chen Y., Mc Clements D. Composition, processing, and quality control of whole flaxseed products used to fortify foods // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2023. V. 22. №. 1. P. 587-614. doi: 10.1111/1541-4337.13086
- 8 Лыбенко Е.С., Хлопов А.А., Сергачева Е.С. Льняная мука—пищевой ингредиент функциональной направленности // Экономическая безопасность агропромышленного комплекса: проблемы и направления обеспечения. 2021. С. 201-204.
- 9 Jiang X., Wang X., Zhou S. Effect of flaxseed marc flour on high-yield wheat bread production: Comparison in baking, staling, antioxidant and digestion properties // Food Science and Technology. 2022. V. 169. P. 113979. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113979
- 10 Shim Y.Y., Olivia C.M., Zou X.G., Kim Y.J. et al. Stability of novel peptides (linusorbs) in flaxseed meal fortified gluten-free bread // Journal of the American Oil Chemists Society. 2022. V. 99. P. 124-124. doi: 10.21748/MFMF5716
- 11 Bernardes E.N., Flôres S.H., Thys R.C.S. Are Psyllium Fiber and Flaxseed Flour An Exciting Combination of Ingredients in the Development of Gluten-free Vegan Bread? // Journal of Culinary Science & Technology. 2024. V. 22. №. 3. P. 480-495. doi: 10.1080/15428052.2022.2060160
- 12 Типсина Н.Н., Матюшев В.В., Бочарова Л.В. Использование льняной муки в производстве пшенично-ржаных сортов хлеба // Вестник КрасГАУ. 2018. № 4 (139). С. 169–174.
- 13 Чернышова В.А., Лабутина Н.В., Белявская И.Г., Богатырева Т.Г. и др. Влияние льняной муки на качество хлебобулочных изделий из смеси ржаной и пшеничной муки // Пищевая промышленность. 2016. № 5. С. 66–69.
- 14 Конева С.И., Волохова А.Н. Перспективная рецептура хлеба из смеси ржаной, пшеничной и льняной муки // Технологии и оборудование химической, биотехнологической и пищевой промышленности: мат. IX Всероссийской науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Барнаул: Алтайский ГТУ им. И.И. Ползунова, 2016. С. 558–560.
- 15 Al-Hassawi F., Al-Ghanim J., Al-Foudari M., Al-Othman A. et al. Effects of flaxseed on the nutritional and sensory qualities of pan and Arabic flat breads // Foods and Raw Materials. 2023. V. 11. №. 2. P. 272–281. doi: 10.21603/2308-4057-2023-2-571
- 16 Lakiza O., Rudnieva L., Vinogradova V. Optimization of the composition and properties of bakery products // Grain Products and Mixed Fodder's. 2020. V. 20. №. 3. P. 28–33. doi: 10.15673/gpmf.v20i3.1847
- 17 Codina G., Mironeasa S., Sanduleac E. Studies regarding the influence of brown flaxseed flour addition in wheat flour of a very good quality for bread making on bread quality // Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Food Science and Technology. 2016. V. 73. №. 2. P. 70. doi: 10.15835/buasvmcn-fst:12148
- 18 Liu T., Duan H., Mao X., Yu X. Influence of flaxseed flour as a partial replacement for wheat flour on the characteristics of Chinese steamed bread // Royal Society of Chemistry. 2020. V. 10. №. 47. P. 28114–28120. doi: 10.1039/D0RA05742H
- 19 Xu Y.Y., Hall C.A.I.I.I., Manthey F.A. Effect of flaxseed flour on rheological properties of wheat flour dough and on bread characteristics. 2014.
- 20 Walgiyanti I., Mahardika A., Murti P.D.B. et al. The Substitution of Different Concentration of Okara Flour in Brownies Formulation Added of Flaxseed (Linum usitatissimum) as Low-Gluten Healthy Food // Journal of Functional Food and Nutraceutical. 2024. P. 79-86. doi: 10.33555/jffn.v5i2.127
- 21 Федоров А.В., Лыбенко Е.С., Хлопов А.А. Изучение влияния льняной необезжиренной муки из семян льна масличного на качество ржаного хлеба // Индустрия питания / Food Industry. 2023. № 3. С. 27–34.
- 22 Богачев А.А., Гаврилова Н.А., Курдюков Е.Е. Сравнительное изучение компонентного и жирно-кислотного состава семян льна посевного // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2020. № 1(29). С. 12–22. doi: 10.21685/2307-9150-2020-1-2
- 23 Зубцов В.А., Миневич И.Э., Осипова Л.Л. Современные технологии переработки семян льна для создания продуктов питания массового потребления // Глобализация и эколого-экономическое развитие регионов. 2015. С. 194-200.
- 24 Султаева Н.Л., Перминова В.С. Исследование свойств семян льна и разработка на их основе технологии хлебобулочных изделий // Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7. № 1(26). С. 109.

References

- 1 Eyres L., Eyres M. Flaxseed (Linseed) fibre-nutritional and culinary uses-a review. Food New Zealand. 2014. vol. 14. no. 2. pp. 26-28. doi: 10.3316/informat.370172423621267
- 2 Pramanik J., Kumar A., Prajapati B. A review on flaxseeds: Nutritional profile, health benefits, value added products, and toxicity. eFood. 2023. vol. 4. no. 5. pp. e114. doi: 10.1002/efd2.114
- 3 Matveeva T., Papchenko V., Petik P., Khareba V. et al. Development of flour combined systems with improved amino acid composition. Food Science & Technology (2073-8684). 2023. vol. 17. no. 3. doi: 10.15673/fst.v17i3.2652

- 4 Nidhi K., Sunita M. Texture analysis on normal brown bread to functional brown bread incorporated barley and flaxseed for aged person. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 2017. vol. 2. no. 16. pp. 217–219.
- 5 Zhang M., Chen Y., Deng Q. Fatty Acid Release and Gastrointestinal Oxidation Status: Different Methods of Processing Flaxseed. *Foods*. 2024. vol. 13. no. 5. pp. 784. doi: 10.3390/foods13050784
- 6 Augustyńska-Prejsnar A., Ormian M., Sokołowicz Z., Kačániová M. The effect of the addition of hemp seeds, Amaranth, and Golden flaxseed on the nutritional value, physical, sensory characteristics, and safety of poultry Pâté. *Applied Sciences*. 2022. vol. 12. no. 10. pp. 5289. doi: 10.3390/app12105289
- 7 Zhang S., Chen Y., Mc Clements D. Composition, processing, and quality control of whole flaxseed products used to fortify foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2023. vol. 22. no. 1. pp. 587–614. doi: 10.1111/1541-4337.13086
- 8 Lybenko E.S., Khlopov A.A., Sergacheva E.S. Flaxseed flour is a functional food ingredient. Economic security of the agro-industrial complex: problems and directions of provision. 2021. pp. 201–204. (in Russian).
- 9 Jiang X., Wang X., Zhou S. Effect of flaxseed marc flour on high-yield wheat bread production: Comparison in baking, staling, antioxidant and digestion properties. *Food Science and Technology*. 2022. vol. 169. pp. 113979. doi: 10.1016/j.lwt.2022.113979
- 10 Shim Y.Y., Olivia C.M., Zou X.G., Kim Y.J. et al. Stability of novel peptides (linusorbs) in flaxseed meal fortified gluten-free bread. *Journal of the American Oil Chemists Society*. 2022. vol. 99. pp. 124–124. doi: 10.21748/MF5716
- 11 Bernardes E.N., Flôres S.H., Thys R.C.S. Are Psyllium Fiber and Flaxseed Flour An Exciting Combination of Ingredients in the Development of Gluten-free Vegan Bread? *Journal of Culinary Science & Technology*. 2024. vol. 22. no. 3. pp. 480–495. doi: 10.1080/15428052.2022.2060160
- 12 Tipsina N.N., Matyushev V.V., Bocharova L.V. The use of flax flour in the production of wheat-rye bread varieties. *Bulletin of KrasGAU*. 2018. no. 4 (139). pp. 169–174. (in Russian).
- 13 Chernyshova V.A., Labutina N.V., Belyavskaya I.G., Bogatyreva T.G. and others. The influence of flax flour on the quality of bakery products from a mixture of rye and wheat flour. *Food industry*. 2016. no. 5. pp. 66–69. (in Russian).
- 14 Koneva S.I., Volokhova A.N. Promising recipe for bread from a mixture of rye, wheat and flax flour. Technologies and equipment of the chemical, biotechnological and food industry: mat. IX All-Russian Scientific and Practical. conf. students, graduate students and young scientists with international participation. Barnaul, Altai State Technical University named after. I.I. Polzunova, 2016. pp. 558–560. (in Russian).
- 15 Al-Hassawi F., Al-Ghanim J., Al-Foudari M., Al-Othman A. et al. Effects of flaxseed on the nutritional and sensory qualities of pan and Arabic flat breads. *Foods and Raw Materials*. 2023. vol. 11. no. 2. pp. 272–281. doi: 10.21603/2308-4057-2023-2-571
- 16 Lakiza O., Rudnieva L., Vinogradova V. Optimization of the composition and properties of bakery products. *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2020. vol. 20. no. 3. pp. 28–33. doi: 10.15673/gpmf.v20i3.1847
- 17 Codina G., Mironcusa S., Sanduleac E. Studies regarding the influence of brown flaxseed flour addition in wheat flour of a very good quality for bread making on bread quality. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca Food Science and Technology*. 2016. vol. 73. no. 2. pp. 70. doi: 10.15835/buasvmcn-fst:12148
- 18 Liu T., Duan H., Mao X., Yu X. Influence of flaxseed flour as a partial replacement for wheat flour on the characteristics of Chinese steamed bread. *Royal Society of Chemistry*. 2020. vol. 10. no. 47. pp. 28114–28120. doi: 10.1039/D0RA05742H
- 19 Xu Y.Y., Hall C.A.I.I.I., Manthey F.A. Effect of flaxseed flour on rheological properties of wheat flour dough and on bread characteristics. 2014.
- 20 Walgiyanti I., Mahardika A., Murti P.D.B. et al. The Substitution of Different Concentration of Okara Flour in Brownies Formulation Added of Flaxseed (*Linum usitatissimum*) as Low-Gluten Healthy Food. *Journal of Functional Food and Nutraceutical*. 2024. pp. 79–86. doi: 10.33555/jffn.v5i2.127
- 21 Fedorov A.V., Lybenko E.S., Khlopov A.A. Study of the influence of full-fat flaxseed flour from oilseed flax seeds on the quality of rye bread. *Food Industry / Food Industry*. 2023. no. 3. pp. 27–34. (in Russian).
- 22 Bogachev A.A., Gavrilova N.A., Kurdyukov E.E. Comparative study of the component and fatty acid composition of flax seeds. *News of higher educational institutions. Volga region. Natural Sciences*. 2020. no. 1(29). pp. 12–22. doi: 10.21685/2307-9150-2020-1-2 (in Russian).
- 23 Zubtsov V.A., Minevich I.E., Osipova L.L. Modern technologies for processing flax seeds to create food products for mass consumption. *Globalization and environmental and economic development of regions*. 2015. pp. 194–200. (in Russian).
- 24 Sul'taeva N.L., Perminova V.S. Study of the properties of flax seeds and the development of bakery technology based on them. *Internet Journal of Science*. 2015. vol. 7. no. 1(26). pp. 109. (in Russian).

Сведения об авторах

Андрей А. Хлопов к.с.-х.н., кафедра общего земледелия и растениеводства, Вятский государственный агротехнологический университет, пр-т Октябрьский, 133, г. Киров, 610017, Россия, akhlopov@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0003-3774-4329>

Сергей Г. Ефименко к.б.н., ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией биохимии, Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта, ул. Филатова, 17, Краснодар, 350038, Россия, biohim@vniimk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8068-6668>

Information about authors

Andrey A. Khlopov Cand. Sci. (Agric.), general agriculture and crop production department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Vyatka State Agrotechnological University", Oktyabrsky Ave., 133, Kirov, 610017, Russia, akhlopov@yandex.ru

<https://orcid.org/0009-0003-3774-4329>

Sergey G. Efimenko Cand. Sci. (Bio.), leading researcher, head of the laboratory of biochemistry, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center "All-Russian Research Institute of Oilseeds named after V.S. Pustovoit", 17 Filatov str., Krasnodar Krai, 350038, Russia, biohim@vniimk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8068-6668>

Елена С. Лыбенко к.с.-х.н., кафедра общего земледелия и растениеводства, Вятский государственный агротехнологический университет, пр-т Октябрьский, 133, г. Киров, 610017, Россия, elenalybenko@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8853-1903>

Вклад авторов

Андрей А. Хлопов проведение пробных лабораторных выпечек, изучение качества полученных образцов хлеба, обеспечение ресурсами, подготовка начального варианта текста

Сергей Г. Ефименко проведение исследований по определению жирнокислотного состава хлеба, перевод элементов статьи на английский язык

Елена С. Лыбенко написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Elena S. Lybenko Cand. Sci. (Agric.), general agriculture and crop production department, Vyatka State Agrotechnological University, Oktyabrsky Ave., 133, Kirov, 610017, Russia, elenalybenko@rambler.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8853-1903>

Contribution

Andrey A. Khlopov conducting trial laboratory baking, studying the quality of the obtained bread samples, providing resources, preparing the initial version of the text

Sergey G. Efimenko conducting research to determine the fatty acid composition of bread, translating the elements of the article into English

Elena S. Lybenko wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/04/2024	После редакции 07/05/2024	Принята в печать 24/05/2024
Received 18/04/2024	Accepted in revised 07/05/2024	Accepted 24/05/2024

Разработка технологии чипсов с применением растительного сырья

Наталья Д. Журавлева¹ zhuravlevand@susu.ru  0000-0002-4218-8772

Абдували Д. Тошев¹ toshevad@susu.ru  0000-0001-8620-2065

¹ Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия

Аннотация. Вопрос правильного питания становится все более актуальным с каждым днем. Полноценное питание, богатое витаминами и микроэлементами, помогает улучшить работу организма. Проблема повышения пищевой ценности изделий, не содержащих искусственных добавок, в настоящее время является актуальной, особенно для людей, ведущих здоровый образ жизни. Разработан продукт с использованием рапсового жмыха. Состав жмыха рапса свидетельствует о перспективности применения его в здоровом и специализированном питании. В состав жмыха рапса входят белки, клетчатка, полиненасыщенные жирные кислоты (ПНЖК), кальций, магний. В данном материале представлены результаты разработки и научного исследования химического состава чипсов с добавлением рапсового жмыха. Рецепт чипсов был разработан с заменой 10% пшеничной муки на рапсовый жмых и 10% пшеничной муки на рапсовый жмых и полной заменой сахара крахмалом. Исследование направлено на спортсменов. За основу разработки берется красный соус, с добавлением рапсового жмыха. При дальнейшем исследовании используют высушивание соуса. В исследовании применяли два способа высушивания соуса: в пароконвектомате и сушильном шкафу. В полученных чипсах было рассчитано среднее содержание кальция и магния в образцах. В результате было выявлено, что при сушке в пароконвектомате содержания магния в образце №1 больше на 14%, а в образце №2 – на 20%, чем при высушивании в сушильном шкафу. Исследуя содержания кальция, было выявлено, что при сушке в пароконвектомате кальция больше и в образце №1 и в образце №2 – на 20%, чем в аналогичных образцах, полученных другим способом сушки. Установлено, что при сушке в пароконвектомате сохраняется большее количество минеральных веществ. Высушивание чипсов в пароконвектомате не только менее затратно, но и более эффективно.

Ключевые слова: чипсы, жмых рапса, белок, специализированное питание, микроэlementы.

Development of chips technology using plant raw materials

Natalya D. Zhuravleva¹ zhuravlevand@susu.ru  0000-0002-4218-8772

Abduwali D. Toshev¹ toshevad@susu.ru  0000-0001-8620-2065

¹ South Ural State University, Lenin Av., 76 Chelyabinsk, 454080, Russia

Abstract. The issue of proper nutrition is becoming more and more relevant every day. A nutritious diet rich in vitamins and micronutrients helps improve the functioning of the body. The problem of increasing the nutritional value of products that do not contain artificial additives is currently relevant, especially for people leading a healthy lifestyle. A product has been developed using rapeseed cake. The composition of rapeseed cake indicates the prospects for its use in healthy and specialized nutrition. The composition of rapeseed cake includes proteins, fiber, polyunsaturated fatty acids (PUFAs), calcium, and magnesium. This material presents the results of the development and scientific research of the chemical composition of chips with the addition of rapeseed cake. The chips recipe was developed by replacing 10% wheat flour with rapeseed cake and 10% wheat flour with rapeseed cake and completely replacing sugar with starch. The study is aimed at athletes. The development is based on red sauce with the addition of rapeseed cake. Further research involves drying the sauce. The study used two methods of drying the sauce: in a combi oven and in an oven. In the resulting chips, the average content of calcium and magnesium in the samples was calculated. As a result, it was revealed that when drying in a combi oven, the magnesium content in sample No. 1 is 14% higher, and in sample No. 2 – by 20%, than when drying in an oven. Studying the calcium content, it was revealed that when drying in a combi oven, there is more calcium in both sample No. 1 and sample No. 2 - by 20% than in similar samples obtained by another drying method. It has been established that when drying in a combi oven, a greater amount of mineral substances is retained. Drying chips in a combi oven is not only less expensive, but also more efficient.

Keywords: chips, rapeseed cake, protein, specialized nutrition, micronutrients.

Введение

Питание – одна из важнейших составляющих жизнедеятельности человека. Для поддержания стабильной работы организма человеку необходимо ежедневно потреблять большое и разнообразное количество питательных веществ. Именно поэтому разработка новых видов продукции, богатой микро- и макроэлементами, для поддержания здоровья населения является

важнейшей задачей. Для получения высококачественной и конкурентоспособной продукции необходимо не только корректировать состав, но и следить за тем, чтобы продукт был привлекательным для потребителя [10–20].

Разработка продукта с высоким содержанием протеинов и минеральных веществ для людей, занимающихся спортом, особенно актуальна в связи с популяризацией здорового питания.

Для цитирования

Журавлева Н.Д., Тошев А.Д. Разработка технологии чипсов с применением растительного сырья // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 81–86. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-81-86

For citation

Zhuravleva N.D., Toshev A.D. Development of chips technology using plant raw materials. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 81–86. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-81-8

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

В данном материале представлены результаты разработки и научного исследования химического состава чипсов с рапсовым жмыхом. Исследование направлено на спортсменов.

Рапс является ценной масличной культурой. Богатый состав рапса свидетельствует о перспективности его использования в пищевой промышленности [1].

Жмых рапса богат белком, клетчаткой, полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), кальцием и магнием, которые, в свою очередь, оказывают положительное влияние на организм спортсменов [2].

Химический состав и основные физико-химические показатели рапсового жмыха будут зависеть от качества семян рапса, способов и режимов ядер к прессованию [2]. Химический состав жмыха рапса представлен в таблице 1.

Таблица 1.
Химический состав рапсового жмыха

Table 1.
Chemical composition of rapeseed cake

Компоненты Components	Масса, г на 100 г съедобной части Weight, g per 100 g of edible part
Вода Water	8,83±2,5
Белок Protein	38,87±0,2
Жир Fat	7,45±0,03
Клетчатка Fiber	13,7±0,1
Крахмал Starch	1,65±0,3
Зола Ash	6,6±0,1

Белок очень важен для людей, следящих за своим питанием, в том числе и для спортсменов, так как является основой для построения мышц.

Протеины и аминокислоты являются важной частью рациона питания. В настоящее время рекомендуемые дозы белка для спортсменов тяжелой и легкой атлетики составляют 1,6–1,7 и 1,2–1,4 г/кг в день, соответственно [3].

При потреблении пищевых продуктов с высоким содержанием белка происходит повышение тонуса центральной нервной системы, а также улучшается регуляторная функция головного мозга. При недостатке белковых соединений возможно возникновение ряда изменений: замедление роста и развития организма, снижение веса, уменьшение устойчивости к инфекциям [4].

Помимо грамотно поставленных физических нагрузок во время тренировок, важно уделить место и правильному питанию. Основными питательными веществами для здоровья костей, позволяющие поддерживать формирование костной ткани, помимо белка, являются кальций, магний, фосфор, витамин D, калий [5].

Спортсмены часто потребляют в 2–3 раза больше белка, чем рекомендуемые суточные количества, что, как теперь считается, не оказывает негативного влияния на здоровье костей, при условии адекватного потребления кальция с пищей [6].

Для усвоения кальция могут помочь полиненасыщенные жирные кислоты, содержащиеся в жмыхе рапса (Омега-3 и Омега-6). Полиненасыщенные кислоты вынуждают насыщенные жиры, поступающие с пищей животного происхождения, покидать организм.

Потери кальция организмом могут быть одним из факторов, влияющих на выносливость спортсменов, особенно во время длительных тренировок или соревнований [7].

Материалы и методы

Объектом исследования являются чипсы на основе красного соуса с добавлением рапсового жмыха.

Нарезанные лук, морковь и петрушку пассеруют с жиром, добавляют томатную пасту и продолжают пассирование еще 10–15 мин. Пшеничную муку высшего сорта пассеруют при температуре 150–160 °С. Затем добавляют растительную добавку – рапсовый жмых. Охлажденную до 70–80 °С мучную пассеровку разводят теплым бульоном в соотношении 1:4, тщательно размешивают и вводят в кипящий коричневый бульон, затем добавляют пассированные с томатной пастой овощи и при слабом кипении варят 45–60 мин. В конце варки добавляют соль. Соус процеживают, протирая в него разварившиеся овощи, и доводят до кипения. Для получения более вязкой консистенции в одном из образцов производится замена сахара на крахмал. А также было сокращено количество жира на 70%.

Для высушивания соуса могут быть использованы два способа: в пароконвектомате и в сушильном шкафу. При сушке в пароконвектомате в формы заливают по 6 г красного соуса и ставят на сушку при температуре 105 °С на 85–100 минут. При использовании сушильного шкафа также берется навеска 6 г соуса, которая в формах отправляется на сушку при температуре 105 °С на 60 минут. Главным отличием второго способа от первого является досушивание при температуре 90 °С в течение 45–60 минут в шкафу.

Рецептура чипсов из красного соуса представлена в таблице 2, где контрольный образец – соус красный основной, образец № 1 – с заменой 10% пшеничной муки на рапсовый жмых, образец № 2 – с заменой 10% пшеничной муки на рапсовый жмых и с полной заменой сахара крахмалом.

Таблица 2.

Рецептура соуса красного основного в расчете на 1000 г

Table 2.

Recipe for red main sauce per 1000 g

Компонент Component	Количество, г Value, g		
	Контроль Control	Образец № 1 Sample 1	Образец № 2 Sample 2
Бульон Broth	1000	1014	1014
Томатная паста Tomato paste	100	100	100
Лук Onions	20	20	20
Морковь Carrots	80	80	80
Мука Flour	50	45	45
Масло Oil	20	6	6
Корень петрушки Parsley root	14	14	14
Рапс Rapeseed	-	5	5
Крахмал Starch	-	-	15
Сахар Sugar	15	15	-
Выход Output	1000	1000	1000

Результаты и обсуждение

При разработке чипсов на основе красного соуса с добавлением жмыха рапса были исследованы физико-химические свойства образцов и проведен сравнительный анализ предложенных способов приготовления.

На сегодняшний день многие спортсмены предпочитают использование натуральных продуктов на основе растений в своем рационе питания, чтобы избежать риска от синтетических препаратов [8].

На первом этапе была найдена влажность методом высушивания в сушильном шкафу до постоянной массы.

Для определения магния и кальция были взяты три навески по 4 г измельченного сырья и помещены в конические колбы вместимостью 250 мл, затем прибавили 200 мл дистиллированной воды. Колбы присоединяются к обратному холодильнику, нагреваются на кипящей водяной бане в течение 60 мин, периодически встряхиваются для смывания частиц сырья со стенок. Затем колбы с содержимым охлаждают до комнатной температуры. Извлечения, отфильтрованные

через бумажный фильтр в мерные колбы вместимостью 200 мл, доводят дистиллированной водой до метки.

Для определения магния 10 мл извлечения поместили в колбу для титрования, прибавили 50 мл воды очищенной, 4 мл аммиачного буфера. После добавления несколько крупинок индикатора пирокатехинового фиолетового производилось титрование 0,05 М раствором трилона Б до перехода окраски от зеленовато-синей до красно-вишневой.

Для определения кальция к извлечению добавили кристаллический натрия гидроксид до pH = 12,0–13,0. Извлечение отфильтровали через бумажный фильтр. Затем 5 мл фильтрата поместили в колбу для титрования, прибавили 50 мл дистиллированной воды, несколько крупинок индикатора кислотного хромового темно-синего. Титровали 0,05 М раствором трилона Б до перехода окраски от розово-сиреневой до фиолетово-синей [9].

Рассчитано среднее содержание кальция и магния в образцах (таблица 3).

Таблица 3.

Содержание кальция и магния в чипсах с добавлением жмыха рапсового

Table 3.

Calcium and magnesium content in chips with the addition of rapeseed cake

Показатель Index	Сушильный шкаф Drying cabinet			Пароконвектомат Combi steamer		
	Контроль Control	Образец № 1 Sample 1	Образец № 2 Sample 2	Контроль Control	Образец № 1 Sample 1	Образец № 2 Sample 2
Ca, %	0,61	1,14	1,10	0,80	1,33	1,39
Mg, %	3,90	3,77	3,93	4,55	4,68	4,91

Полученные данные указывают на то, что большее количество Mg сохраняется в образцах № 1 и 2 при сушке в пароконвектомате. Второй вариант со жмыхом рапса и крахмалом в обоих случаях является лучшим по сравнению с остальными образцами.

Для определения зольности в предварительно прокаленные до постоянной массы фарфоровые тигли отбирали по 2–3 г. сырья

и взвешивали с точностью до 0,0001 г. Затем тигли перенесли в муфельную печь, нагретую до темно-красного горения. Сжигали сырьё до белого или слегка сероватого цвета при температуре не выше 600 °С. После сжигания тигли охлаждали в эксикаторе, взвешивали, а затем снова помещали в муфельную печь до получения постоянной массы.

В результате была определена средняя зольность для двух образцов: для образца № 2 в пароконвектомате и в сушильном шкафу (таблица 4).

Таблица 4.
Зольность в чипсах с добавлением жмыха рапсового

Table 4.
Ash content in chips with the addition of rapeseed cake

Наименование Name	Зольность, % Ash content, %
Образец № 2, сушильный шкаф Sample no. 2, drying cabinet	3,5
Образец № 2, пароконвектомат Sample no. 2, combi steamer	4

Как видно из таблицы 4, зольность выше у образца, приготовленного в пароконвектомате на 12,5%.

Для определения содержания жира был использован экстракционно-весовой метод. В процессе проведения экстракции растворитель вместе с растворенным в нем жиром стекает в колбу. Жир остается в колбе, а пары растворителя вновь поднимаются и экстрагируют новую порцию. Таким образом, исследуемый объект, подвергаясь многократной экстракции, полностью обезжиривается. Затем отобрали пипеткой 10 см³ экстракта и перенесли в предварительно высушенные и взвешенные металлические бюксы. После этого бюксы с жиром помещаются в сушильный шкаф и сушатся в течение 15–20 мин при температуре 102 ± 2 °С. По окончании экстрагирования бюксы вынимают из эксикатора, высушивают в течение 15–20 минут при температуре 102 ± 2 °С и взвешивают.

Содержание жира было найдено в трех образцах, высушенных в пароконвектомате (таблица 5).

Таблица 5.
Содержание жира в чипсах с добавлением жмыха рапсового

Table 5.
Fat content in chips with the addition of rapeseed meal

Наименование Name	Контроль Control	Образец № 1 Sample 1	Образец № 2 Sample 2
Содержание жира, % Fat content, %	8,1	5	5

Из данных таблицы можно сделать вывод о том, что содержание жира в образце № 1 (контрольный образец) выше на 62% по отношению к образцам № 2 и № 3.

Заключение

В современном мире очень остро стоит проблема составления полноценного рациона питания. От этого зависит гармоничное развитие и функционирование организма. Особенно эта проблема актуальна для спортсменов, организм которых находится под огромной нагрузкой. Спортсмены, в процессе своей деятельности, нуждаются в дополнительном источнике белка. И данную потребность с успехом может восполнить рапсовый жмых.

Рапсовый жмых богат белком, его применение в качестве добавки позволяет создать продукт, который можно будет задействовать в рационе спортсменов. Помимо белка, рапс также очень богат минеральными веществами, в частности кальцием и магнием.

Но для спортивного питания, помимо свойств продукта, важна еще и их форма. Занятие спортом связано с повышенной активностью,

поэтому так важно, чтобы продукт был не только полезен, но и мобилен в использовании. Таким свойством как раз и обладают чипсы, которые имеют малые размеры, удобные для принятия в пищу.

Было исследовано, каким методом лучше высушивать чипсы для того, чтобы сохранить максимальное количество магния и кальция. Для изучения были выдвинуты два способа сушки: в сушильном шкафу и в пароконвектомате. В результате было выявлено, что при сушке в пароконвектомате магния в образце № 1 больше на 14%, а в образце № 2 – на 20%, чем при высушивании в сушильном шкафу. Исследуя содержание кальция, было выявлено, что при сушке в пароконвектомате кальция больше и в образце № 1, и в образце № 2 – на 20%, чем в аналогичных образцах, полученных другим способом сушки. Таким образом можно сделать вывод, что при сушке в пароконвектомате сохраняется большее количество минеральных веществ.

Из этого следует сделать вывод, что высушивание чипсов в пароконвектомате не только менее затратно, но и более эффективно.

Литература

- 1 Пахомова О.Н. Перспективность использования жмыхов и шротов масличных культур для повышения пищевой и биологической ценности продуктов питания // Научные записки ОрелГИЭТ. 2011. №. 2. С. 377-381.
- 2 Тошев А.Д., Журавлева Н.Д., Ярыгина Е.С., Велямов М.Т. и др. Перспективы использования рапсового жмыха в питании спортсменов // Человек. Спорт. Медицина. 2018. Т. 18. №. 1. С. 115-124.

- 3 Abedini A., Alizadeh A.M., Mahdavi A., Golzan S.A. et al. Oilseed cakes in the food industry; a review on applications, challenges, and future perspectives // *Current Nutrition & Food Science*. 2022. V. 18. №. 4. P. 345-362.
- 4 Мозжерина И.В., Наумова А.П., Чихирникова Е.С. Значение рыбного белка в рационе питания спортсменов // *Стратегия развития спортивно-массовой работы со студентами*. 2016. С. 126-129.
- 5 Ahlström C., Thuvander J., Rayner M., Matos M. et al. The Effect of Precipitation pH on Protein Recovery Yield and Emulsifying Properties in the Extraction of Protein from Cold-Pressed Rapeseed Press Cake // *Molecules*. 2022. V. 27. №. 9. P. 2957. doi: 10.3390/molecules27092957
- 6 Sale C., Elliott-Sale K.J. Nutrition and athlete bone health // *Sports Medicine*. 2019. V. 49. №. 2. P. 139-151. doi: 10.1007/s40279-019-01161-2
- 7 Berg E.K. Performance nutrition for the adolescent athlete: a realistic approach // *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2019. V. 29. №. 5. P. 345-352. doi: 10.1097/JSM.0000000000000744
- 8 Sellami M. Slimeni O., Pokrywka A., Kuvačić G. et al. Herbal medicine for sports: a review // *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2018. V. 15. №. 1. P. 14.
- 9 Тринеева О.В., Воропаева С.С., Сливкин А.И. Совершенствование методики количественного определения кальция и магния в листьях крапивы двудомной // *Научные ведомости*. № 11. 2014. С. 273–241.
- 10 Тошев А.Д., Журавлева Н.Д. Перспективы использования растительного сырья лечебно-профилактическом питании условиях Южного Урала // *Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания*. 2017. С. 276-279.
- 11 Teh S.S., Bekhit A.E.D.A. Utilization of oilseed cakes for human nutrition and health benefits // *Agricultural biomass based potential materials*. 2015. P. 191-229.
- 12 Nevara G.A., Giwa Ibrahim S.A., Syed Muhammad S.K., Zawawi N. et al. Oilseed meals into foods: An approach for the valorization of oilseed by-products // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. V. 63. №. 23. P. 6330-6343. doi: 10.1080/10408398.2022.2031092
- 13 Arrutia F., Binner E., Williams P., Waldron K.W. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. V. 100. P. 88-102.
- 14 Kotecka-Majchrzak K., Sumara A., Fornal E., Montowska M. et al. Oilseed proteins—Properties and application as a food ingredient // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. V. 106. P. 160-170.
- 15 Usman I., Saif H., Imran A., Afzaal M. et al. Innovative applications and therapeutic potential of oilseeds and their by-products: An eco-friendly and sustainable approach // *Food Science & Nutrition*. 2023. V. 11. №. 6. P. 2599-2609. doi: 10.1002/fsn3.3322
- 16 Singh R., Langyan S., Sangwan S., Rohtagi B. et al. Protein for human consumption from oilseed cakes: a review // *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022. V. 6. P. 856401. doi: 10.3389/fsufs.2022.856401
- 17 Rakita S., Kokić B., Manoni M., Mazzoleni S. et al. Cold-pressed oilseed cakes as alternative and sustainable feed ingredients: A review // *Foods*. 2023. V. 12. №. 3. P. 432.
- 18 Petraru A., Ursachi F., Amariei S. Nutritional characteristics assessment of sunflower seeds, oil and cake. Perspective of using sunflower oilcakes as a functional ingredient // *Plants*. 2021. V. 10. №. 11. P. 2487.
- 19 Petraru A., Ursachi F., Amariei S. Nutritional characteristics assessment of sunflower seeds, oil and cake. Perspective of using sunflower oilcakes as a functional ingredient // *Plants*. 2021. V. 10. №. 11. P. 2487.
- 20 Ancuța P., Sonia A. Oil press-cakes and meals valorization through circular economy approaches: A review // *Applied Sciences*. 2020. V. 10. №. 21. P. 7432.

References

- 1 Pakhomova O.N. Prospects for using cakes and meal of oilseeds to increase the nutritional and biological value of food products. *Scientific notes of OrelGIET*. 2011. no. 2. pp. 377-381. (in Russian).
- 2 Toshev A.D., Zhuravleva N.D., Yarygina E.S., Velyamov M.T. et al. Prospects for the use of rapeseed cake in the nutrition of athletes. *Man. Sport. Medicine*. 2018. vol. 18. no. 1. pp. 115-124. (in Russian).
- 3 Abedini A., Alizadeh A.M., Mahdavi A., Golzan S.A. et al. Oilseed cakes in the food industry; a review on applications, challenges, and future perspectives. *Current Nutrition & Food Science*. 2022. vol. 18. no. 4. pp. 345-362.
- 4 Mozzherina I.V., Naumova A.P., Chikhirnikova E.S. The importance of fish protein in the diet of athletes. *Strategy for the development of mass sports work with students*. 2016. pp. 126-129. (in Russian).
- 5 Ahlström C., Thuvander J., Rayner M., Matos M. et al. The Effect of Precipitation pH on Protein Recovery Yield and Emulsifying Properties in the Extraction of Protein from Cold-Pressed Rapeseed Press Cake. *Molecules*. 2022. vol. 27. no. 9. pp. 2957. doi: 10.3390/molecules27092957
- 6 Sale C., Elliott-Sale K.J. Nutrition and athlete bone health. *Sports Medicine*. 2019. vol. 49. no. 2. pp. 139-151. doi: 10.1007/s40279-019-01161-2
- 7 Berg E.K. Performance nutrition for the adolescent athlete: a realistic approach. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2019. vol. 29. no. 5. pp. 345-352. doi: 10.1097/JSM.0000000000000744
- 8 Sellami M. Slimeni O., Pokrywka A., Kuvačić G. et al. Herbal medicine for sports: a review. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2018. vol. 15. no. 1. pp. 14.
- 9 Trineeva O.V., Voropaeva S.S., Slivkin A.I. Improving methods for the quantitative determination of calcium and magnesium in the leaves of stinging nettle. *Scientific bulletins*. no. 11. 2014. pp. 273–241. (in Russian).
- 10 Toshev A.D., Zhuravleva N.D. Prospects for the use of plant raw materials in therapeutic and preventive nutrition in the conditions of the Southern Urals. *Current problems of the food industry and public catering*. 2017. pp. 276-279. (in Russian).

11 Teh S.S., Bekhit A.E.D.A. Utilization of oilseed cakes for human nutrition and health benefits. *Agricultural biomass based potential materials*. 2015. pp. 191-229.

12 Nevara G.A., Giwa Ibrahim S.A., Syed Muhammad S.K., Zawawi N. et al. Oilseed meals into foods: An approach for the valorization of oilseed by-products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. vol. 63. no. 23. pp. 6330-6343. doi: 10.1080/10408398.2022.2031092

13 Arrutia F., Binner E., Williams P., Waldron K.W. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. vol. 100. pp. 88-102.

14 Kotecka-Majchrzak K., Sumara A., Fornal E., Montowska M. et al. Oilseed proteins—Properties and application as a food ingredient. *Trends in Food Science & Technology*. 2020. vol. 106. pp. 160-170.

15 Usman I., Saif H., Imran A., Afzaal M. et al. Innovative applications and therapeutic potential of oilseeds and their by-products: An eco-friendly and sustainable approach. *Food Science & Nutrition*. 2023. vol. 11. no. 6. pp. 2599-2609. doi: 10.1002/fsn3.3322

16 Singh R., Langyan S., Sangwan S., Rohtagi B. et al. Protein for human consumption from oilseed cakes: a review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022. vol. 6. pp. 856401. doi: 10.3389/fsufs.2022.856401

17 Rakita S., Kokić B., Manoni M., Mazzoleni S. et al. Cold-pressed oilseed cakes as alternative and sustainable feed ingredients: A review. *Foods*. 2023. vol. 12. no. 3. pp. 432.

18 Petraru A., Ursachi F., Amariei S. Nutritional characteristics assessment of sunflower seeds, oil and cake. *Perspective of using sunflower oilcakes as a functional ingredient*. *Plants*. 2021. vol. 10. no. 11. pp. 2487.

19 Petraru A., Ursachi F., Amariei S. Nutritional characteristics assessment of sunflower seeds, oil and cake. *Perspective of using sunflower oilcakes as a functional ingredient*. *Plants*. 2021. vol. 10. no. 11. pp. 2487.

20 Ancuța P., Sonia A. Oil press-cakes and meals valorization through circular economy approaches: A review. *Applied Sciences*. 2020. vol. 10. no. 21. pp. 7432.

Сведения об авторах

Наталья Д. Журавлева старший преподаватель, кафедра технологии и организации общественного питания, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, zhuravlevand@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4218-8772>

Абдували Д. Тошев д.т.н., профессор, кафедра технологии и организации общественного питания, Южно-Уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, toshevad@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8620-2065>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Natalya D. Zhuravleva senior lecturer, technology and public catering organization department, South Ural State University, Lenin Av., 76 Chelyabinsk, 454080, Russia, zhuravlevand@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4218-8772>

Abduwali D. Toshev Dr. Sci. (Engin.) professor, technology and public catering organization department, South Ural State University, Lenin Av., 76 Chelyabinsk, 454080, Russia, toshevad@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8620-2065>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/04/2024	После редакции 30/04/2024	Принята в печать 24/05/2024
Received 15/04/2024	Accepted in revised 30/04/2024	Accepted 24/05/2024

Повышение пищевой ценности кекса из пшеничной муки высшего сорта

Елена И. Пономарева ¹	elena6815@ya.ru	 0000-0023-2310-2838
Нина Н. Федорченко ²	ni2na.carvi@gmail.com	 0009-0003-0148-8458
Лилия А. Никитина ¹	lilia.nikit2001@gmail.com	 0009-0002-2033-4756

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая, 116а, г. Белгород, 308023, Россия

Аннотация. Современные тенденции развития рынка продуктов питания характеризуются увеличением спроса населения на различные виды мучных кондитерских изделий, в том числе кексов, большинство из которых имеют низкую пищевую ценность, высокую сахароемкость. Цель работы – определение влияния замены части муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта на муку пшеничную хлебопекарную обойную цельнозерновую и муку из гранатовых косточек, масла сливочного на подсолнечное с добавлением оливкового, сахара белого на патоку высокосахаренную на показатели качества кексов и их пищевую ценность. Контрольным образцом был кекс «Столичный» из пшеничной муки высшего сорта. Полученные изделия анализировали через 1–1,5 ч после выпечки по следующим показателям: внешний вид, форма, характер поверхности, вкус, цвет, запах, пропеченность изделий – органолептически. Выявлено, что применение обогатителей не ухудшило органолептические и физико-химические показатели опытного образца. Установлено, что употребление 100 г обогатленного кекса за счет его химического состава обеспечит степень удовлетворения суточной нормы потребления в среднем белка на 19 %, жира – 8 %, углеводов – 14 %, пищевых волокон – 28 %, минеральных веществ – 3–30 %, витаминов – 2–39 %. Таким образом, доказано, что применение нетрадиционных видов сырья повышает пищевую ценность кексов и позволяет расширить ассортимент изделий из пшеничной муки высшего сорта. Результаты исследований показали, что применение обогатителей экономически оправдано. При сохранении высоких показателей органолептической оценки кекса, приобретением функциональных свойств, может возрасти экономическая эффективность производства, следовательно, увеличатся объемы реализации продукции.

Ключевые слова: нетрадиционное сырье, кекс, органолептические показатели, физико-химические показатели, химический состав, пищевая ценность.

Increasing the nutritional value of a cupcak made of premium wheat flour

Elena I. Ponomareva ¹	elena6815@ya.ru	 0000-0023-2310-2838
Nina. N. Fedorchenko ²	ni2na.carvi@gmail.com	 0009-0003-0148-8458
Lilia A. Nikitina ¹	lilia.nikit2001@gmail.com	 0009-0002-2033-4756

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya Str., Belgorod, 308023, Russia

Abstract. Modern trends in the development of the food market are characterized by an increase in the demand of the population for various types of flour confectionery products, including cupcakes, most of which have low nutritional value, high sugar content. The purpose of the work is to determine the effect of replacing a part of the wheat baking flour of the highest grade with whole wheat flour and flour from pomegranate seeds, butter with sunflower oil with the addition of olive, white sugar with high-sugar molasses on the quality indicators of cupcakes and their nutritional value. The control sample was a Stolichny cupcake made of premium wheat flour. The resulting products were analyzed 1–1.5 hours after baking for the following indicators: appearance, shape, surface character, taste, color, smell, bakedness of the products - organoleptically. It was revealed that the use of concentrators did not worsen the organoleptic and physico-chemical parameters of the prototype. It was found that the consumption of 100 g of enriched cupcake due to its chemical composition will ensure the degree of satisfaction of the daily intake of protein by an average of 19%, fat – 8%, carbohydrates – 14%, dietary fiber – 28%, minerals – 3 - 30%, vitamins - 2 – 39%. Thus, it is proved that the use of non-traditional types of raw materials increases the nutritional value of cupcakes and allows you to expand the range of products from wheat flour of the highest grade. The research results showed that the use of enrichment agents is economic ally justified. While maintaining high indicators of the organoleptic evaluation of the cupcake, acquiring functional properties, the economic efficiency of production can increase, therefore, the volume of product sales will increase.

Keywords: non-traditional raw materials, cupcake, organoleptic parameters, physico-chemical parameters, chemical composition, nutritional value.

Для цитирования

Пономарева Е.И., Федорченко Н.Н., Никитина Л.А. Повышение пищевой ценности кекса из пшеничной муки высшего сорта // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 87–92. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-87-92

For citation

Ponomareva E.I., Fedorchenko N.N., Nikitina L.A. Increasing the nutritional value of a cupcak made of premium wheat flour. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 87–92. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-87-92

Введение

В настоящее время в мире значительное внимание уделяется обогащению мучных кондитерских изделий различными полезными веществами, придающих им лечебные, профилактические и функциональные свойства. Нынешнее положение физиологии питания указывают на необходимость новых подходов к созданию продуктов функционального назначения, удовлетворяющих требованиям гигиены питания и устраняющих вредные воздействия на организм. Современные тенденции развития рынка продуктов питания характеризуются увеличением спроса населения на различные виды кексов, большинство из которых имеют низкую пищевую ценность, высокую сахароемкость. С целью расширения ассортимента, улучшения качества мучных кондитерских изделий и повышения их пищевой ценности постоянно разрабатываются технологии производства мучных кондитерских изделий с добавлением обогатителей из нетрадиционного сырья [1–4].

Известно, что мука пшеничная хлебопекарная обойная цельнозерновая является полезным продуктом, в котором сохранены все биологически-активные компоненты цельного зерна. Это природный источник клетчатки, витаминов и минеральных веществ. Крахмалистые вещества, содержащиеся в эндосперме, богаты углеводами, что делает муку питательной [5, 8].

Одним из компонентов, позволяющих обогатить мучные кондитерские изделия полезными веществами, является мука из гранатовых косточек. Она содержит витамины Е и В, пищевые волокна, ненасыщенные жирные кислоты, богата макроэлементами, что благоприятно влияет на работу пищеварительной, сердечно-сосудистой и кровеносной систем [6, 7, 10].

Польза подсолнечного масла с добавлением оливкового для организма неопределима. В его составе представлены витамины группы В, Е, А, С, F, К. В подсолнечном масле идеальное сочетание жирных кислот, оно богато поли- и мононенасыщенными жирными кислотами.

Употребление масла подсолнечника с добавлением оливкового способствует укреплению иммунной системы, положительно влияет на работу эндокринной системы, снижает уровень холестерина, укрепляет сосуды, делает их более эластичными, улучшает обмен веществ, стимулирует работу желчного пузыря, печени и кишечника, замедляет процессы старения [9, 14–16].

Высокосахаренная патока отличается большим содержанием витаминов группы В. Сироп содержит важные минералы: магний, калий, фосфор, кальций и железо, а также глюкозу (14–20%), мальтозу (12–18%), мальто-триозу (22–26%), фруктозу, сахарозу, декстрины, ферменты, белки (аминокислоты) и жиры. Патока менее калорийна сахара белого и является лучшей его заменой [10–13, 17].

Цель работы – определение влияния замены в рецептуре кекса части муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта на муку пшеничную хлебопекарную обойную цельнозерновую и муку из гранатовых косточек, масла сливочного на подсолнечное с добавлением оливкового, сахара белого на патоку высокосахаренную на показатели качества изделий и их пищевую ценность.

Материалы и методы

Для изготовления кекса использовали следующее сырье: мука пшеничная хлебопекарная высшего сорта (ГОСТ 26574–2017), мука пшеничная хлебопекарная обойная цельнозерновая (ГОСТ 26574–2017), мука из косточковых плодов (из гранатовых косточек) (ТУ 10.86.10–578–02068108–2022), масло сливочное (ГОСТ 32261–2013), масло подсолнечное с добавлением оливкового (ГОСТ 1129–2013), патока высокосахаренная (ГОСТ Р 55316–2012), гидрокарбонат натрия (ГОСТ 2156–76), соль пищевая (ГОСТ Р 51574–2018), яйцо пищевое куриное (ГОСТ 31654–2012), виноград сушеный (ГОСТ 6882–88).

Первоначально яичную массу взбивали с патокой высокосахаренной в течение 1,5–2 мин, добавляли гидрокарбонат натрия, соль пищевую, концентрат молочного белка и перемешивали. К взбитой массе добавляли масло подсолнечное с добавлением оливкового, смесь муки (из гранатовых косточек, пшеничную хлебопекарную обойную цельнозерновую и пшеничную хлебопекарную высшего сорта) и взбивали 3 мин. После вносили изюм и перемешивали. Тестовые заготовки массой 0,06 кг раскладывали в формы, выпекали в печи КЭП-10П при температуре печкарной камеры 180–185 °С в течение 18–20 мин.

Контрольным образцом был традиционный кекс «Столичный» (ГОСТ 15052–2014).

Анализ качества полуфабрикатов после замеса проводили по органолептическим показателям качества: консистенция, промес, запах, цвет. Массовую долю влаги (%) теста определяли на приборе ПИВИ-1, температуру теста (°С) – спиртовым термометром.

Полученные изделия анализировали через 1–1,5 ч после выпечки по следующим показателям: внешний вид, форма, характер поверхности, вкус, цвет, запах, пропеченность изделий – органолептически.

Массовую долю влаги (%) в изделиях определяли методом высушивания по ГОСТ 2194–75; щелочность (град) – с помощью титрования HCl концентрацией 0,1 моль; удельный объем (см³/100 г) – объемным методом [18–20].

Пищевую и энергетическую ценность изделий, степень покрытия суточной потребности в нутриентах рассчитывали по программе «КОМПЛЕКС», разработанной на кафедре технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств (ТХКМЗП) ФГБОУ ВО «ВГУИТ», по методике,

утвержденной ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи». Содержание витаминов в кексах рассчитывали с учетом коэффициентов сохранности.

Исследования проводили в лабораториях кафедры ТХКМЗП ФГБОУ ВО «ВГУИТ», испытательном лабораторном центре комбикормов, комбикормового сырья, пищевых продуктов автономной некоммерческой организации «Научно-технический центр «Комбикорм» (г. Воронеж).

Результаты и их обсуждения

На первом этапе работы определяли органолептические показатели кекса «Столичный» (контроль) и опытного образца (таблица 1).

Таблица 1.

Органолептические показатели готовых изделий

Table 1.

Organoleptic characteristics of finished products

Показатель Indicator	Характеристика Characteristics	
	Контроль Control	Опыт Experience
Форма Shape	Соответствующая данному виду изделия, правильная Corresponding to this type product, correct	Соответствующая данному виду изделия, правильная Corresponding to this type product, correct
Поверхность Surface	Выпуклая, с явно выраженной боковой поверхностью, с небольшими трещинами Convex, with a pronounced lateral surface, with small cracks	Выпуклая, с явно выраженной боковой поверхностью, с небольшими трещинами Convex, with a pronounced lateral surface, with small cracks
Вид в разрезе Split view	Пропеченное изделие без комочков, без следов непромеса, с равномерной пористостью, без пустот и закала Baked product without lumps, without traces of non-kneading, with uniform porosity, without voids and hardening	Пропеченное изделие без комочков, без следов непромеса, с равномерной пористостью Baked product without lumps, without traces of non-kneading, with uniform porosity
Вкус и запах Taste and smell	Соответствующие данному виду изделия без посторонних запаха и вкуса. Имеет сливочный вкус. Не имеет прогорклого привкуса The products corresponding to this type are odorless and tasteless. It has a creamy taste. Does not have a rancid taste	Соответствующие данному виду изделия без посторонних запаха и вкуса. Имеет кисло-сладкий вкус за счет внесения муки из гранатовых косточек. Не имеет прогорклого привкуса The products corresponding to this type are odorless and tasteless. It has a sweet and sour taste due to the introduction of flour from pomegranate seeds. Does not have a rancid taste

Анализ результатов показал, что кекс с добавлением нетрадиционного сырья характеризовался бордовым цветом, по сравнению с контролем, был с приятным и нежным вкусом. Значение щелочности обогащенного изделия уменьшилось незначительно, удельный объем не изменился.

На втором этапе исследований определяли содержание белков, жиров, углеводов, витаминов и минеральных веществ в контрольном и опытном образцах. По полученным данным рассчитывали энергетическую, пищевую ценность изделий и степень удовлетворения нутриентов за счет употребления кексов (таблица 2).

Выявлено, что в 100 г кекса содержится больше белков на 1,97 г, жиров на 3,9 г, пищевых волокон на 1,86 г, минеральных веществ на 1,86–184,7 мг, чем в контрольном образце кекса «Столичный», при этом снижается содержание углеводов на 15,8 г.

Установлено, что потребление 100 г. полученного кекса обеспечит степень удовлетворения суточной нормы потребления в среднем белка на 19%, жира – 8%, углеводов – 14%, пищевых волокон – 28%, минеральных веществ – 3–30%, витаминов – 2–39%.

Таблица 2.

Содержание пищевых нутриентов и степень удовлетворения их суточной потребности организма за счет употребления 100 г изделия

Table 2.

The content of food nutrients and the degree of satisfaction of their daily needs of the body due to the use of 100 g of the product

Наименование пищевых веществ и энергетическая ценность Name of food substances and energy value	Физиологическая суточная потребность, г/сут. (ТР ТС 022/2011) Physiological daily requirement, g/day. (TR CU 022/2011)	Содержание в образцах Content in samples		Степень удовлетворения за счет употребления образцов кексов Degree of satisfaction due to the use of cupcake samples	
		Контроль Control	Опыт Experiment	Контроль Control	Опыт Experiment
Белки, г Proteins, g	75	5,5	7,47	7,3	9,96
Жир, г Fat, g	83	20,0	23,9	21,1	25,6
Углеводы, г Carbohydrates, g	365	56,0	40,2	13,1	9,3
Пищевые волокна, г Dietary fiber, g	30	0,08	1,94	0,3	6,5
Бета-каротин, мг Beta-carotene, mg	5	0,2	0,8	6,0	13,0
Витамин PP, мг Vitamin PP, mg	20	1,7	1,89	28,3	31,5
Витамин В ₁ , мг Vitamin B ₁ , mg	1,4	0,3	0,5	35,7	36,5
Витамин В ₂ , мг Vitamin B ₂ , mg	1,6	0,5	0,13	6,3	12,5
Витамин В ₄ , мг Vitamin B ₄ , mg	500	50,0	58,0	10	11,6
Витамин А, мкг Vitamin A, mcg	800	120,0	223,0	10,0	18,1
Витамин К, мкг Vitamin K, mcg	90,0	23,0	68,0	2,2	63,5
Калий, мг Potassium, mg	3500	143,0	327,7	4,1	9,4
Кальций, мг Calcium, mg	1000	41,4	49,6	4,14	4,96
Кремний, мг Silicon, mg	30	9,8	10,0	-	63
Магний, мг Magnesium, mg	400	10,9	64,0	2,7	16,0
Фосфор, мг Phosphorus, mg	800	82,7	95,17	10,3	11,9
Бор, мкг Boron, mcg	2000	-	10,5	-	0,8
Железо, мг Iron, mg	14	1,1	1,96	7,9	14,0
Иод, мкг Iodine, mcg	150	3,2	5,8	2,0	4,0
Медь, мкг Copper, mcg	3000	30,0	33,0	1,0	1,3
Энергетическая ценность, ккал (кДж) Energy value, kcal (kJ)	2500	430 (1800)	406 (1699)	-	-

Заключение

В ходе работы установили возможность широкого использования нетрадиционного сырья в качестве обогатителей с целью повышения пищевой ценности и качества изделия, расширения выпуска мучной кондитерской продукции функционального назначения с наиболее высокими органолептическими показателями.

Результаты исследований показали, что применение обогатителей экономически оправдано. При сохранении высоких показателей органолептической оценки кекса, приобретением функциональных свойств, может возрасти экономическая эффективность производства, следовательно, увеличатся объемы реализации продукции.

Литература

- 1 Брыксина К.В. Перспективы использования нетрадиционного растительного сырья при производстве функциональных продуктов питания // Наука и образование. 2020. № 4. С. 126.
- 2 Пономарева Е.И., Лукина С.И., Скворцова О.Б. Разработка новой рецептуры кексов повышенной пищевой ценности // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. № 4. С. 114–118. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/306710>
- 3 Пономарева Е.И., Лукина С.И., Алехина Н.Н., Малютина Т.Н. Технология хлебобулочных изделий. Практикум. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 232 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/276446>
- 4 Usatiuk S., Bozhko A. Prospects of the use of non-traditional vegetable raw materials in the production of confectionery products // Food Science & Technology (2073-8684). 2023. V. 17. №. 2.
- 5 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi-automated continuous solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non-alcoholic drinks from Andalucía (Spain) // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019. V. 99. №. 3. P. 1117-1125.
- 6 Ozturkoglu-Budak S., Akal C., Yetisemiyen A. Effect of dried nut fortification on functional, physicochemical, textural, and microbiological properties of yogurt // Journal of dairy science. 2016. V. 99. №. 11. P. 8511-8523. doi: 10.3168/jds.2016-11217
- 7 Krupa-Kozak U., Drabińska N., Rosell C.M., Piłat B. et al. High-quality gluten-free sponge cakes without sucrose: Inulin-type fructans as sugar alternatives // Foods. 2020. V. 9. №. 12. P. 1735.
- 8 Chernenkova A., Leonova S., Chernykh V., Chernenkov E. Influence of biologically active raw materials on rheological properties of flour confectionery products // Acta Biologica Szegediensis. 2019. V. 63. №. 2. P. 195-205.

- 9 Гуляева А.Н., Воронина М.С. Разработка методологии повышения пищевой ценности полуфабрикатов для мучных кондитерских изделий // Инновации и продовольственная безопасность. 2020. № 3. С. 7–13. doi: 10.31677/2311-0651-2020-29-3-7-13
- 10 Слепокурова Ю.И., Жаркова И.М., Ефремов Д.П. и др. Оценка экономической целесообразности и рыночной перспективы производства мучных изделий с добавлением семян льна и осветленного томатного сока // Вестник ВГУИТ. 2022. № 2. С. 374–386. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/325091>
- 11 Chiremba C., Taylor J.R.N., Duodu K.G. Phenolic content, antioxidant activity, and consumer acceptability of sorghum cookies // Cereal Chemistry. 2009. V. 86. №. 5. P. 590-594.
- 12 Ключкова И.С. Кексы с повышенным содержанием растительного белка // Научные труды Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета. 2020. № 4(54). С. 91–95. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/314295>
- 13 Плотникова И.В., Магомедов Г.О., Шевякова Т.А. и др. Шоколадные кексы улучшенного качества // Вестник ВГУИТ. 2019. № 2. С. 125–132. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/311594>
- 14 Казарова И.Г., Закурдаева А.А. Разработка рецептуры кондитерского изделия, обогащённого растительными компонентами // Устойчивое развитие науки и образования. 2018. № 10. С. 233–236.
- 15 Kaur R., Kaur M. Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed // LWT. 2018. V. 91. P. 278-285. doi: 10.1016/j.lwt.2018.01.059
- 16 Шарипова М.Б., Икрами М.Б., Тураева Г.Н., Рузиева С.Т. Влияние льняной муки на физико-химические свойства кексов на химических разрыхлителях // Вестник технологического университета Таджикистана. 2023. № 1. С. 89–94. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/333047>
- 17 Мельникова Е.В., Беляков А.А. и др. Разработка рецептуры и технологии кекса с использованием ягод ирги // Ползуновский вестник. 2023. № 1. С. 164–170. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/336233>
- 18 Панина Е.В., Руденко А.А. Исследование изменений показателей качества мучных кондитерских изделий с использованием грубо обработанных злаковых в процессе хранения // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2019. № 2. С. 82–86. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/314232>
- 19 Рубан Н.В., Туманова А.Е., Рысева Л.И. и др. Кексы с инулином для здорового питания // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 2. С. 99–108. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/325775>
- 20 Магомедов Г.О., Лобосова Л.А., Малюткина Т.Н., Рожков С.А. Кексы с полбяной мукой для питания детей младшего школьного возраста // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 2. С. 112–122. URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/325811>

References

- 1 Bryksina K.V. Prospects for the use of non-traditional plant raw materials in the production of functional food products. Science and Education. 2020. no. 4. pp. 126. (in Russian).
- 2 Ponomareva E.I., Lukina S.I., Skvortsova O.B. Development of a new recipe for cupcakes with increased nutritional value. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2017. no. 4. pp. 114–118. Available at: <https://e.lanbook.com/journal/issue/306710> (in Russian).
- 3 Ponomareva E.I., Lukina S.I., Alekhina N.N., Maljutina T.N. Bakery technology. Workshop. St. Petersburg, Lan, 2023. 232 p. Available at: <https://e.lanbook.com/book/276446> (in Russian).
- 4 Usatiuk S., Bozhko A. Prospects of the use of non-traditional vegetable raw materials in the production of confectionery products. Food Science & Technology (2073-8684). 2023. vol. 17. no. 2.
- 5 Rascón A.J., Azzouz A., Ballesteros E. Use of semi-automated continuous solid-phase extraction and gas chromatography–mass spectrometry for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in alcoholic and non-alcoholic drinks from Andalucía (Spain). Journal of the Science of Food and Agriculture. 2019. vol. 99. no. 3. pp. 1117-1125.
- 6 Ozturkdoglu-Budak S., Akal C., Yetisemiyen A. Effect of dried nut fortification on functional, physicochemical, textural, and microbiological properties of yogurt. Journal of dairy science. 2016. vol. 99. no. 11. pp. 8511-8523. doi: 10.3168/jds.2016-11217
- 7 Krupa-Kozak U., Drabińska N., Rosell C.M., Pilat B. et al. High-quality gluten-free sponge cakes without sucrose: Inulin-type fructans as sugar alternatives. Foods. 2020. vol. 9. no. 12. pp. 1735.
- 8 Chernenkova A., Leonova S., Chernykh V., Chernenkov E. Influence of biologically active raw materials on rheological properties of flour confectionery products. Acta Biologica Szegediensis. 2019. vol. 63. no. 2. pp. 195-205.
- 9 Gulyaeva A.N., Voronina M.S. Development of a methodology for increasing the nutritional value of semi-finished products for flour confectionery products. Innovations and food safety. 2020. no. 3. pp. 7–13. doi: 10.31677/2311-0651-2020-29-3-7-13 (in Russian).
- 10 Slepokurova Yu.I., Zharkova I.M., Efremov D.P. and others. Assessment of economic feasibility and market prospects for the production of flour products with the addition of flax seeds and clarified tomato juice. Proceedings of VSUET. 2022. no. 2. pp. 374–386. Available at: <https://e.lanbook.com/journal/issue/325091> (in Russian).
- 11 Chiremba C., Taylor J.R.N., Duodu K.G. Phenolic content, antioxidant activity, and consumer acceptability of sorghum cookies. Cereal Chemistry. 2009. vol. 86. no. 5. pp. 590-594.
- 12 Klochkova I.S. Cupcakes with a high content of vegetable protein. Scientific works of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2020. no. 4(54). pp. 91–95. Available at: <https://e.lanbook.com/journal/issue/314295> (in Russian).
- 13 Plotnikova I.V., Magomedov G.O., Shevyakova T.A. and others. Chocolate cupcakes of improved quality. Proceedings of VSUET. 2019. no. 2. pp. 125–132. Available at: <https://e.lanbook.com/journal/issue/311594> (in Russian).

14 Kazarova I.G., Zakurdaeva A.A. Development of a recipe for a confectionery product enriched with plant components. *Sustainable development of science and education*. 2018. no. 10. pp. 233–236. (in Russian).

15 Kaur R., Kaur M. Microstructural, physicochemical, antioxidant, textural and quality characteristics of wheat muffins as influenced by partial replacement with ground flaxseed. *LWT*. 2018. vol. 91. pp. 278–285. doi: 10.1016/j.lwt.2018.01.059

16 Sharipova M.B., Ikrami M.B., Turaeva G.N., Ruzieva S.T. The influence of flaxseed flour on the physical and chemical properties of cakes with chemical baking powder. *Bulletin of the Technological University of Tajikistan*. 2023. no. 1. pp. 89–94. Available at: <https://e.lanbook.com/journal/issue/333047> (in Russian).

17 Melnikova E.V., Belyakov A.A. and others. Development of recipes and technology for cupcakes using serviceberry berries. *Polzunovsky Bulletin*. 2023. no. 1. pp. 164–170. Available at: <https://e.lanbook.com/journal/issue/336233> (in Russian).

18 Panina E.V., Rudenko A.A. Study of changes in quality indicators of flour confectionery products using roughly processed cereals during storage. *Technologies and commodity science of agricultural products*. 2019. no. 2. pp. 82–86. Available at: <https://e.lanbook.com/journal/issue/314232> (in Russian).

19 uban N.V., Tumanova A.E., Ryseva L.I. and others. Cupcakes with inulin for a healthy diet. Storage and processing of agricultural raw materials. 2021. no. 2. pp. 99–108. Available at: <https://e.lanbook.com/journal/issue/325775> (in Russian).

20 Magomedov G.O., Lobosova L.A., Malyutina T.N., Rozhkov S.A. Muffins with spelled flour for feeding primary school children. Storage and processing of agricultural raw materials. 2020. no. 2. pp. 112–122. Available at: <https://e.lanbook.com/journal/issue/325811> (in Russian).

Сведения об авторах

Елена И. Пономарева д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, elena6815@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0023-2310-2838>

Нина Н. Федорченко аспирант, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Белгородский университет кооперации, экономики и права, ул. Садовая, 116а, г. Белгород, 308023, Россия, ni2na.carvi@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-0148-8458>

Лилия А. Никитина магистр, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lilia.nikit2001@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-2033-4756>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Elena I. Ponomareva Dr. Sci. (Engin.), professor, technologies for bakery, confectionery, pasta and grain pro-cessing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, elena6815@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0023-2310-2838>

Nina N. Fedorchenko graduate student, technologies for bakery, confectionery, pasta and grain processing industries department, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sado-vaya Str., Belgorod, 308023, Russia, ni2na.carvi@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-0148-8458>

Lilia A. Nikitina master student, technologies for bakery, confectionery, pasta and grain pro-cessing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lilia.nikit2001@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-2033-4756>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/04/2024	После редакции 18/05/2024	Принята в печать 20/05/2024
Received 01/04/2024	Accepted in revised 18/05/2024	Accepted 20/05/2024

Цифровая цветометрия с использованием смартфонов в экспресс-контроле цветности сахара

Ольга В. Черноусова ¹	byolval@mail.ru	 0000-0002-8198-574X
Олег Б. Рудаков ²	robi57@mail.ru	 0000-0003-2527-2857
Мохамед Аббод ²	chemistry@cchgeu.ru	 0009-0007-1829-3365

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, 394006, Россия

Аннотация. Важный контролируемый параметр в сахарной промышленности - цветность сахара, обусловленная различными группами красящих веществ, образующихся при проведении технологических процессов в производстве. В классической методике предполагается использование сочетания методов рефрактометрии и фотоколориметрии. В работе предлагается использовать более современный метод - цифровую цветометрию с применением смартфонов для регистрации и обработки аналитического сигнала. Предложенная методика включает в себя более простой и экспрессный способ пробоподготовки исследуемых образцов. В качестве объектов анализа использовали пять образцов сахара, приобретенных в торговой сети. Из них три образца - кусковой сахар, два образца - кристаллический сахар, один образец - тростниковый сахар. По данным, полученным в ходе анализа, цветность в единицах ICUMSA двух образцов сахара удовлетворяет заявленной категории, а два образца имеют значения превышающие нормы цветности в своей категории. Тростниковый сахар ожидаемо имеет высокие значения цветности. Полученные результаты согласуются с данными, полученными на фотоколориметре. Это подтверждает возможность использования предложенной методики для определения цветности сахара. Мобильность системы и простота регистрации цветометрических характеристик в сочетании с экспрессностью и дешевизной, обуславливают перспективность использования данного способа не только в заводских лабораториях, но и вне лабораторий, в местах хранения и реализации. Кроме этого следует отметить удобство документирования и хранения электронных изображений в виде файлов, их статистической обработки и передачи по интернету в любую лабораторию или службу.

Ключевые слова: цифровая цветометрия, цветовая система RGB, сахар, мобильные устройства.

Digital colorimetry using smartphones in the express control of sugar chromaticity

Olga V. Chernousova ¹	byolval@mail.ru	 0000-0002-8198-574X
Oleg B. Rudakov ²	robi57@mail.ru	 0000-0003-2527-2857
Mohamed Abbod ²	chemistry@cchgeu.ru	 0009-0007-1829-3365

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Voronezh State Technical University, st. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russia

Abstract. An important controlled parameter in the sugar industry is the color of sugar, which is determined by various groups of coloring substances formed during technological processes in production. The classical technique involves using a combination of refractometry and photocolourimetry methods. The work proposes to use a more modern method - digital colorimetry using smartphones for recording and processing the analytical signal. The proposed method includes a simpler and more rapid method of sample preparation of the samples under study. Five samples of sugar purchased from a retail chain were used as objects of analysis. Of these, three samples are lump sugar, two samples are crystalline sugar, and one sample is cane sugar. According to the data obtained during the analysis, the color in ICUMSA units of two sugar samples satisfies the declared category, and two samples have values exceeding the color standards in their category. Cane sugar, as expected, has high color values. The results obtained are consistent with the data obtained with a photocolourimeter. This confirms the possibility of using the proposed method to determine the color of sugar. The mobility of the system and the ease of recording colorimetric characteristics, combined with speed and low cost, make this method promising for use not only in factory laboratories, but also outside laboratories, in storage and distribution areas. In addition, it should be noted the convenience of documenting and storing electronic images in the form of files, their statistical processing and transmission via the Internet to any laboratory or service.

Keywords: digital colorimetry, RGB color system, sugar, mobile devices.

Введение

Цветность сахара является одним из нормируемых показателей качества. Она характеризует степень окрашенности раствора сахара, вызванную наличием красящих веществ сахарного производства в кристаллах сахара, выраженную в единицах оптической плотности (единицах ICUMSA). За окраску отвечают красящие вещества сахарного производства в виде сложных органических соединений различной степени конденсации и полимеризации, имеющие цвет

от светло-желтого до темно-коричневого и образовавшиеся в результате химического взаимодействия некоторых извлеченных из сырья вместе с сахарозой природных веществ между собой и с полученными в ходе превращений в полуфабрикатах технологического потока веществами, придающие окраску полуфабрикатам и готовой продукции. Для определения этого показателя используют межгосударственный стандарт ГОСТ 12572–2015 «САХАР. Метод определения цветности» [1].

Для цитирования

Черноусова О.В., Рудаков О.Б., Аббод М. Цифровая цветометрия с использованием смартфонов в экспресс-контроле цветности сахара // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 93–98. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-93-98

For citation

Chernousova O.V., Rudakov O.B., Abbod M. Digital colorimetry using smartphones in the express control of sugar chromaticity. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 93–98. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-93-98

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

В химическом анализе цветометрия используется уже около 35 лет [2]. Для изучения цветности пищевых продуктов на протяжении последних двух десятков лет активно применяется метод цифровой цветометрии (ЦЦМ) [3–9]. Кроме того, ЦЦМ используют для контроля качества лекарственных препаратов [10–13], в экологическом мониторинге [14–17], для контроля примесей в цементах [18], определения свойств полимеров [19]. Среди пищевых продуктов много исследований посвящено применению метода ЦЦМ для контроля качества молочной продукции [4–6], продолжают изучение возможностей этого метода для анализа растительных масел [7]. В то же время анализ цветности сахара этим методом при использовании мобильных устройствах используется мало. Так, например, в работе [20] используется зависимость цветовых характеристик, полученных при сканировании образцов. В работах иностранных коллег используются сложные хемометрические приемы для анализа цветности коричневого сахара [21] или для определения его содержания в напитках [22].

Первоначально цифровая цветометрия основывалась на применении фотокамер, сканеров, в последнее время все больше встречается работ с использованием смартфонов в качестве аналитического прибора [23]. Так, в обзоре [24] показано современное состояние и перспективы развития метода ЦЦМ при применении смартфона в качестве цветорегистрирующего устройства при экспресс-анализе для контроля объектов окружающей среды, биологических жидкостей, пищевых продуктов, лекарственных препаратов и некоторых специфических объектов, проведен анализ достоинств и недостатков смартфона, оснащенного различными программными продуктами.

Цель работы – определение цветности сахара и изучение возможности использования цветометрии на мобильных устройствах для контроля этого параметра.

Материалы и методы

В качестве объектов анализа (таблица 1) выбрали пять образцов сахара, приобретенных в торговой сети. Из них три образца – кусковой сахар, два образца – кристаллический сахар, один образец – тростниковый сахар.

В работе использовали следующие приборы и оборудование: рефрактометр ИРФ-454 Б2М, спектрофотометр марки КФК-3 КМ, для ЦЦМ применяли смартфон Huawei P Smart. Для подготовки образцов взвешивали на технических весах $50 \pm 0,1$ г сахара, переносили в коническую колбу вместимостью 250 см^3 . Затем в колбу добавляли 50 см^3 дистиллированной воды с $\text{pH} = 7,0$ (значение контролировали с помощью pH -метра),

растворяли сахар, затем фильтровали в сухую коническую колбу. В профильтрованном растворе рефрактометром определяли массовую долю сухих веществ по ГОСТ 31896–2012. Измерения оптической плотности растворов проводили в кювете с толщиной слоя 3 см при длине волны 420 нм, в качестве раствора сравнения использовали дистиллированную воду.

Для ЦЦМ использовали пластиковые бюксы высотой 28 мм, диаметром 25 мм, помещенные в органайзер размером $16 \times 13,5$ см (рисунок 1). В бюксы помещали образцы сахара, при этом сахар-рафинад предварительно измельчали в фарфоровой ступке. Условия освещения стандартизировали с использованием лампы дневного света. Условия съемки: ISO 400, S 1/280s, F 1,9, баланс белого «авто». Для вычислений использовали программное обеспечение для смартфонов Color Picker (рисунок 2). В качестве стандарта белизны применяли порошок кристаллического BaSO_4 .



Рисунок 1. Фотографии образцов в пластиковых бюксах в органайзере

Figure 1. Photos of samples in plastic bottles in an organizer



Рисунок 2. Скриншот программы Color Picker
Figure 2. Screenshot of the Color Picker program

Таблица 1.

Объекты анализа

Table 1.

Objects of analysis

Образец Sample	Наименование Name	Категория, происхождение Category, origin	Производитель Manufacturer	Нормативный документ Regulatory document
1	Русский сахар Russian sugar	Сахар белый кусковой категории ТС 2, свекловичный White lump sugar of TC 2 category, beet sugar	«РУСАГРО – БЕЛГОРОД» ЖШК – «НИКА» филиалы "RUSAGRO - BELGOROD" ZhSHK - "NIKA" branches	ГОСТ 33222–2015
2	Селяночка Selyanochka	Сахар белый кристаллический категории ТС 2, свекловичный White crystalline sugar, beet sugar, category TC 2	ООО «Перелешинский сахарный комбинат» Pereleshinsky Sugar Mill LLC	ГОСТ 33222–2015
3	Бакалейный стандарт Grocery standard	Сахар белый кристаллический категории ТС 3, свекловичный White crystalline sugar, beet sugar, category TC 3	ООО «Орбита» Orbita LLC	ГОСТ 33222–2015
4	Чайковский Chaikofsky	Сахар белый кусковой категории экстра, свекловичный White lump sugar, extra category, beet sugar	ООО «РУСАГРО-ТАМБОВ» RUSAGRO-TAMBOV LLC	ГОСТ 33222–2015
5	Global Village	Сахар нерафинированный тростниковый кусковой прессованный	ЗАО «Санкт-Петербургский сахарный завод» CJSC "St. Petersburg Sugar Plant	ТУ 9111–002–15157693–2005

Результаты

По результатам измерений оптической плотности на фотоколориметре и определения показаний на рефрактометре вычисляли цветность в единицах ICUMSA:

$$C = \frac{D_{420} \cdot 100 \cdot 1000}{CB \rho l},$$

где D_{420} – оптическая плотность; 100 – коэффициент перевода на 100 % сухих веществ; 1000 – коэффициент индексации результата в диапазон целых чисел; CB – массовая доля сухих веществ, %; ρ – плотность раствора сахара, г/см³; l – толщина поглощающего слоя, см.

Затем получали изображения растворов сахара на смартфоне в пластиковых бьюксах и параллельно изображения порошка кристаллического BaSO₄.

Фотографии обрабатывали с помощью бесплатного программного обеспечения Color Picker. Расчеты проводили в трёхкомпонентной цветовой системе RGB.

Цветность порошков сахара в цифровой цветометрии оценивали в долях от стандарта белизны по формулам (3):

$$F'_R = F_R(o) / F_R(ст) \quad (1)$$

$$F'_G = F_G(o) / F_G(ст) \quad (2)$$

$$F'_B = F_B(o) / F_B(ст) \quad (3)$$

где F'_R , F'_G , F'_B – относительные изменения красной, зеленой и голубой компонент цветности в долях от стандарта; $F_R(ст)$, $F_G(ст)$, $F_B(ст)$ – значения красной, зеленой и голубой компонент цветности для стандарта; $F_R(ст)$, $F_G(ст)$, $F_B(ст)$ – значения красной, зеленой и голубой компонент цветности для образца сахара. Стандартный образец сравнения (BaSO₄) использовали для нивелирования погрешностей, обусловленных возможными различиями в освещенности проб.

Результаты определения цветности сахара представлены в таблицах 2 и 3.

Обсуждение

По данным, полученным в ходе анализа, цветность в единицах ICUMSA двух образцов сахара удовлетворяет заявленной категории, а два образца имеют значения превышающие нормы цветности в своей категории. Тростниковый сахар ожидаемо имеет высокие значения. Анализируя данные, представленные в таблице 3, можно сделать вывод, что более чувствительной к цветности сахара является интенсивность синей компоненты цветности (F'_B), наименее чувствительной является интенсивность красной компоненты цветности (F'_R). Наиболее приближенным к белому цвету является сахар марки экстра, наименьшая белизна у тростникового сахара, что хорошо согласуется с данными, полученными на фотоколориметре. Это подтверждает возможность использования предложенной методики определения цветности сахара.

Предлагаемая методика характеризуется доступностью оборудования, программного обеспечения. Кроме того, мобильность системы и простота регистрации цветометрических характеристик в сочетании с экспрессностью и дешевизной, доступностью пробоподготовки, обуславливает перспективность использования данного способа в заводских лабораториях.

Таблица 2.

Результаты определения цветности

Table 2.

Color determination results

Образец Sample	Цветность Color	
	ICUMSA	ГОСТ 33222–2015
1	93,9	104,0
2	148,6	
3	160,6	195,0
4	96,1	45,0
5	3656	-

Результаты определения цветности образцов сахара, помещенных в пластиковые боксы,
с помощью смартфона

Таблица 3.

Table 3.

Results of determining the color of sugar samples using a smartphone

Образец Sample	Цветность Color							
	F _R	S _r , %	F _G	S _r , %	F _B	S _r , %	F _{cp}	S _r , %
1	0.963±0.010	0,95	0.960±0.018	1,59	0.965±0.007	0,64	0.964±0.009	0,84
2	0.932±0.017	1,60	0.922±0.024	2,30	0.908±0.016	1,57	0.922±0.018	1,72
3	0.911±0.021	2,02	0.893±0.025	2,47	0.864±0.021	2,15	0.891±0.020	1,96
4	0.970±0.014	1,23	0.973±0.020	1,76	0.980±0.006	0,54	0.976±0.012	1,08
5	0.703±0.016	1,95	0.513±0.027	4,61	0.410±0.018	3,81	0.543±0.018	2,96

Заключение

С помощью ЦЦМ можно структурировать результаты измерений в электронных базах данных, заметно повысить экспрессность анализа. Использование смартфонов делает метод ЦЦМ мобильным и доступным не только высококвалифицированным специалистам, но и обычным потребителям, что является неоспоримым преимуществом этого метода. Предложенный способ оценки белизны требует дальнейшей валидации, еще нет критериев, по которым можно оценить соответствие сахара определенной категории,

т. к. шкала RGB использована впервые в этой области. К достоинствам разработанного подхода следует отнести то, что предложен эталон, с которым можно было бы сравнивать цвет сахара, подобно стандартам для оценки цветности других пищевых продуктов (например, муки). Метрологические характеристики ЦЦМ, сопоставимы с классическими оптическими методами анализа. Кроме этого следует отметить удобство документирования и хранения электронных изображений в виде файлов, их статистической обработки и передачи по интернету в любую лабораторию или службу.

Литература

- ГОСТ 12572–2015. Сахар. Метод определения цветности. М.: Стандартинформ, 2016. 8 с.
- Шульц Э.В., Моногарова О.В., Осолок К.В. Цифровая цветометрия: аналитические возможности и перспективы использования // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2019. Т. 60. № 2. С. 79–87.
- Neto J.H.S. Speciation analysis based on digital image colorimetry: Iron (II/III) in white wine // Talanta. 2019. V. 194. P. 86–89. doi: 10.1016/j.talanta.2018.09.102
- Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С. Идентификация и аутентификация сухого коровьего молока с использованием смартфона и хемометрического анализа // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2023. Т. 64. № 1. С. 49–59. doi: 10.55959/MSU0579-9384-2-2023-64-1-49-59.
- Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С., Третьяков А.В. Установление фальсификации сливочного масла цветометрическим методом с использованием смартфона и хемометрического анализа // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2023. Т. 66. № 2. С. 53–61. doi: 10.6060/ivkkt.20236602.6717
- Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С., Третьяков А.В. Идентификация и аутентификация молока с использованием цифровой цветометрии индикаторных тест-систем, смартфона и хемометрического анализа // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78. № 1. С. 24–33. doi: 10.31857/S0044450223010024
- Перегончая О.В., Соколова С.А., Дьяконова О.В., Королькова Н.В. Цифровая цветометрия при определении цветного числа растительных масел // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2022. № 2(19). С. 125–134. doi: 10.53914/issn2311-6870_2022_2_125
- Амелин В.Г., Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С., Третьяков А.В. и др. Установление порчи морепродуктов методом цифровой цветометрии индикаторных тест-систем // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2023. Т. 89. № 9. С. 25–33. doi: 10.26896/1028-6861-2023-89-9-25-33
- Сергеев А.И., Калинина И.Г., Шилкина Н.Г. и др. Изменение физико-химических и органолептических характеристик яблочного пюре при повышенных температурах хранения // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 259–271. doi: 10.21603/2074-9414-2023-2-2430
- Чапленко А.А., Моногарова О.В., Осолок К.В. Идентификация нестероидных противовоспалительных средств методом цифровой цветометрии с применением способа главных компонент // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2020. Т. 9. № 1. С. 55–59. doi: 10.33380/2305-2066-2020-9-1-55-59
- Моногарова О.В., Чапленко А.А., Осолок К.В. Идентификация и определение левомецитина в лекарственных препаратах методом мультисенсорной цифровой цветометрии // Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2020. Т. 61. № 1. С. 3–10.
- Моногарова О.В., Чапленко А.А., Осолок К.В. Мультисенсорный цветометрический анализ препаратов дидрогестерона, троксерутина и адеметионина с использованием штрих-кодов // Фармация и фармакология. 2021. Т. 9. № 1. С. 64–72. doi: 10.19163/2307-9266-2021-9-1-64-72
- Рудаков О.Б., Рудакова Л.В., Аббуд М. Цифровая цветометрия в фармацевтическом анализе и контроле продуктов питания // Аналитика. 2024. Т. 14. № 1. С. 58–67. doi: 10.22184/2227-572X.2024.14.1.58.66

14 Голованов В.И. Основные влияющие факторы при определении мутности и цветности воды фотографическим методом // Журнал аналитической химии. 2020. Т. 75. № 3. С. 248–258. doi: 10.31857/S0044450220030056

15 Ракутько С.А., Васькин А.Н., Ракутько Е.Н. Применение морфо-цветометрического анализа в биоиндикации экосистем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 3(67). С. 445–458. doi: 10.32786/2071-9485-2022-03-51

16 Ракутько С.А., Ракутько Е.Н. Способ биоиндикации агроэкосистем с применением метода компьютерной морфоцветометрии // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023. № 1(70). С. 111–119. doi: 10.24412/2078-1318-2023-1-111-119

17 Галицкая А.А., Акопян А.А., Дыкман Л.А., Богатырев В.А. Цветометрическая система мониторинга роста микроводоросли *Dunaliella salina* в лабораторных условиях // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2023. Т. 23. № 1. С. 104–109. doi: 10.18500/1816-9775-2023-23-1-104-109

18 Рудаков О.Б., Черноусова О.В., Вострикова Т.О., Усачев С.М. Цветометрический контроль цементов мобильными устройствами // Химия, физика и механика материалов. 2019. № 3(22). С. 35–48.

19 Иванов В.Б., Солина, Е.В., Саморядов А.В. Анализ устойчивости полимерных материалов в экстремальных условиях методом цветометрии // Российский химический журнал. 2020. Т. 64. № 4. С. 30–38. doi: 10.6060/rcj.2020644.3

20 Беляева Л.И., Пружин М.К., Остапенко А.В., Сысоева Т.И. Взаимосвязь цветовых характеристик белого сахара в растворе и кристаллическом виде // Пищевая промышленность. 2022. № 10. С. 76–79. doi: 10.52653/PPI.2022.10.10.17

21 Alves V., dos Santos J.M., Pinto E., Ferreira I.M. et al. Digital image processing combined with machine learning: A new strategy for brown sugar classification // Microchemical Journal. 2024. V. 196. P. 109604. doi: 10.1016/j.microc.2023.109604

22 Schlesner S.K., Voss M., Helfer G.A., Costa A.B. et al. Smartphone-based miniaturized, green and rapid methods for the colorimetric determination of sugar in soft drinks // Green Analytical Chemistry. 2022. V. 1. P. 100003. doi: 10.1016/j.greeac.2022.100003

23 Mahato K., Chandra P. Paper – based miniaturized immunosensor for naked eye ALP detection based on digital image colorimetry integrated with smartphone // Biosensors and Bioelectronics. 2019. V. 128. P. 9–16. doi: 10.1016/j.bios.2018.12.006

24 Шаока З.А.Ч., Большаков Д.С., Амелин В.Г. Использование смартфона в химическом анализе // Журнал аналитической химии. 2023. Т. 78. № 4. С. 317–353. doi: 10.31857/S0044450223030131

References

- 1 GOST 12572-2015. Sugar. Chromaticity method. M., Standartinform, 2016. 8 p. (in Russian).
- 2 Schulz E.V., Monogarova O.V., Oskolok K.V. Digital color metering: analytical capabilities and prospects for use. Bulletin of Moscow University. Series 2: Chemistry. 2019. vol. 60. no. 2. pp. 79-87. (in Russian).
- 3 Neto J.H.S. Speciation analysis based on digital image colorimetry: Iron (I/III) in white wine. Talanta. 2019. vol. 194. pp. 86–89. doi: 10.1016/j.talanta.2018.09.102
- 4 Amelin V.G., Shaoka Z.A.Ch., Bolshakov D.S. Identification and authentication of powdered cow's milk using a smartphone and chemometric analysis. Bulletin of Moscow University. Episode 2: Chemistry. 2023. vol. 64. no. 1. pp. 49–59. doi: 10.55959/MSU0579-9384-2-2023-64-1-49-59 (in Russian).
- 5 Amelin V.G., Shaoka Z.A.Ch., Bolshakov D.S., Tretyakov A.V. Determination of falsification of butter by the colorimetric method using a smartphone and chemometric analysis. News of higher educational institutions. Series: Chemistry and chemical technology. 2023. vol. 66. no. 2. pp. 53–61. doi: 10.6060/ivkkt.20236602.6717 (in Russian).
- 6 Amelin V.G., Shaoka Z.A.Ch., Bolshakov D.S., Tretyakov A.V. Identification and authentication of milk using digital colorimetry of indicator test systems, smartphone and chemometric analysis. Journal of Analytical Chemistry. 2023. vol. 78. no. 1. pp. 24–33. doi: 10.31857/S0044450223010024 (in Russian).
- 7 Peregonchaya O.V., Sokolova S.A., Dyakonova O.V., Korolkova N.V. Digital colorimetry in determining the color number of vegetable oils. Technologies and merchandising of agricultural products. 2022. no. 2(19). pp. 125–134. doi: 10.53914/issn2311-6870_2022_2_125 (in Russian).
- 8 Amelin V.G., Shaoka Z.A.Ch., Bolshakov D.S., Tretyakov A.V. and others. Establishment of spoilage of seafood using digital colorimetry of indicator test systems. Factory Laboratory. Diagnostics of materials. 2023. vol. 89. no. 9. pp. 25–33. doi: 10.26896/1028-6861-2023-89-9-25-33 (in Russian).
- 9 Sergeev A.I., Kalinina I.G., Shilkina N.G. and others. Changes in physicochemical and organoleptic characteristics of applesauce at elevated storage temperatures. Equipment and technology of food production. 2023. vol. 53. no. 2. pp. 259–271. doi: 10.21603/2074-9414-2023-2-2430 (in Russian).
- 10 Chaplenko A.A., Monogarova O.V., Oskolok K.V. Identification of non-steroidal anti-inflammatory drugs by digital colorimetry using the principal component method. Development and registration of medicines. 2020. vol. 9. no. 1. pp. 55–59. doi: 10.33380/2305-2066-2020-9-1-55-59 (in Russian).
- 11 Monogarova O.V., Chaplenko A.A., Oskolok K.V. Identification and determination of chloramphenicol in medicinal preparations using multisensory digital colorimetry. Bulletin of Moscow University. Episode 2: Chemistry. 2020. vol. 61. no. 1. pp. 3–10. (in Russian).
- 12 Monogarova O.V., Chaplenko A.A., Oskolok K.V. Multisensory colorimetric analysis of dydrogesterone, troxerutin and ademetonine drugs using barcodes. Pharmacy and pharmacology. 2021. vol. 9. no. 1. pp. 64–72. doi: 10.19163/2307-9266-2021-9-1-64-72 (in Russian).
- 13 Rudakov O.B., Rudakova L.V., Abboud M. Digital colorimetry in pharmaceutical analysis and control of food products. Analytics. 2024. vol. 14. no. 1. pp. 58–67. doi: 10.22184/2227-572X.2024.14.1.58.66 (in Russian).
- 14 Golovanov V.I. The main influencing factors in determining the turbidity and color of water by the photographic method. Journal of Analytical Chemistry. 2020. vol. 75. no. 3. pp. 248–258. doi: 10.31857/S0044450220030056 (in Russian).
- 15 Rakutko S.A., Vaskin A.N., Rakutko E.N. Application of morpho-colorimetric analysis in bioindication of ecosystems. News of the Nizhnevolsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education. 2022. no. 3(67). pp. 445–458. doi: 10.32786/2071-9485-2022-03-51 (in Russian).

16 Rakutko S.A., Rakutko E.N. A method of bioindication of agroecosystems using the method of computer morpho-colorimetry. *News of the St. Petersburg State Agrarian University*. 2023. no. 1(70). pp. 111–119. doi: 10.24412/2078–1318–2023–1–111–119 (in Russian).

17 Galitskaya A.A., Akopyan A.A., Dykman L.A., Bogatyrev V.A. Colorimetric system for monitoring the growth of microalgae *Dunaliella salina* in laboratory conditions. *News of Saratov University. New episode. Series: Chemistry. Biology. Ecology*. 2023. vol. 23. no. 1. pp. 104–109. doi: 10.18500/1816–9775–2023–23–1–104–109 (in Russian).

18 Rudakov O.B., Chernousova O.V., Vostrikova T.O., Usachev S.M. Colorimetric control of cements using mobile devices. *Chemistry, physics and mechanics of materials*. 2019. no. 3(22). pp. 35–48. (in Russian).

19 Ivanov V.B., Solina, E.V., Samoryadov A.V. Analysis of the stability of polymer materials under extreme conditions using colorimetry. *Russian Chemical Journal*. 2020. vol. 64. no. 4. pp. 30–38. doi: 10.6060/rcj.2020644.3 (in Russian).

20 Belyaeva L.I., Pruzhin M.K., Ostapenko A.V., Sysoeva T.I. The relationship between the color characteristics of white sugar in solution and crystalline form. *Food industry*. 2022. no. 10. pp. 76–79. doi: 10.52653/PPI.2022.10.10.017 (in Russian).

21 Alves V., dos Santos J.M., Pinto E., Ferreira I.M. et al. Digital image processing combined with machine learning: A new strategy for brown sugar classification. *Microchemical Journal*. 2024. vol. 196. pp. 109604. doi: 10.1016/j.microc.2023.109604

22 Schlesner S.K., Voss M., Helfer G.A., Costa A.B. et al. Smartphone-based miniaturized, green and rapid methods for the colorimetric determination of sugar in soft drinks. *Green Analytical Chemistry*. 2022. vol. 1. pp. 100003. doi:10.1016/j.greac.2022.100003

23 Mahato K., Chandra P. Paper – based miniaturized immunosensor for naked eye ALP detection based on digital image colorimetry integrated with smartphone. *Biosensors and Bioelectronics*. 2019. vol. 128. pp. 9–16. doi: 10.1016/j.bios.2018.12.006

24 Shaoka Z.A.Ch., Bolshakov D.S., Amelin V.G. Using a smartphone in chemical analysis. *Journal of Analytical Chemistry*. 2023. vol. 78. no. 4. pp. 317–353. doi: 10.31857/S0044450223030131 (in Russian).

Сведения об авторах

Ольга В. Черноусова к.х.н., преподаватель, цикловая комиссия химических технологий и управления в технических системах, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, byolval@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8198-574X>

Олег Б. Рудаков д.х.н., профессор, кафедра химии и химической технологии материалов, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, robi57@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2527-2857>

Мохамед Аббуд аспирант, кафедра химии и химической технологии материалов, Воронежский государственный технический университет, ул. 20-летия Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Россия, chemistry@cchgeu.ru

 <https://orcid.org/0009-0007-1829-3365>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Olga V. Chernousova Cand. Sci. (Chem.), lecturer, commission of chemical technologies and management in technical systems department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, byolval@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8198-574X>

Oleg B. Rudakov Dr. Sci. (Chem.), professor, chemistry and chemical technology of materials department, Voronezh State Technical University, st. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russia, robi57@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2527-2857>

Mohamed Abbod graduate student, chemistry and chemical technology of materials department, Voronezh State Technical University, st. 20th anniversary of October, 84, Voronezh, 394006, Russia, chemistry@cchgeu.ru

 <https://orcid.org/0009-0007-1829-3365>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/04/2024	После редакции 24/04/2024	Принята в печать 13/05/2024
Received 04/04/2024	Accepted in revised 24/04/2024	Accepted 13/05/2024

Влияние способов получения резистентного крахмала на жизнедеятельность лактобактерий

Рим Алхатиб	¹	reemhalkhateeb11@gmail.com	 0009-0005-5978-5599
Надежда В. Баракова	^{1,2}	n.barakova@mail.ru	 0000-0001-7296-8609
Полина И. Гунькова	¹	polinagunkova@mail.ru	 0000-0001-9899-6288
Ангелина С. Басковцева	¹	baskovtseva.ang@ya.ru	 0000-0003-0726-4386
Светлана А. Гринвальд	¹	svetik12.ru@mail.ru	 0009-0006-3583-6803

1 Университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия

2 Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), пр-т Московский, 24-26/49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 190013, Россия.

Аннотация. Исследовано влияния низко- и высокотемпературных воздействий при получении резистентного крахмала. Для проведения экспериментов из картофельного крахмала готовили крахмальную суспензию, модифицированную ферментными препаратами амилолитического действия: Дистизим БА-Т и Дистизим АГ. Обработку крахмальной суспензии для получения резистентного крахмала проводили при температуре -18°C и в среде жидкого азота при -196°C. Обработку при высоких температурах проводили при температуре 120°C в течение 15, 30, 45, 60 мин. Устойчивость резистентного крахмала определяли по количеству редуцирующих веществ, полученных после повторной обработки крахмальной суспензии ферментными препаратами на средах с низкими и высокими значениями pH, оценивали по росту лактобактерий. В результате было установлено, что наибольшей устойчивостью обладает резистентный крахмал, полученный после автоклавирования крахмальной суспензии при 120°C в течение 15 мин. На питательной среде с добавлением данного образца наблюдался наибольший рост микроорганизмов, в 2 раза выше, чем на питательной среде без добавления крахмальной суспензии. Важно учитывать полученный вывод в случаях, когда необходимо включать резистентный крахмал в рецептуры функциональных продуктов питания. Особенно это актуально для приготовления ферментированных продуктов на основе зерна или сока, где редуцирующие вещества играют важную роль на стадиях приготовления. В то же время, резистентный крахмал может использоваться в качестве пребиотика, обеспечивая питательную среду для микрофлоры кишечника. Таким образом, результаты исследования могут быть применены для разработки новых и улучшения существующих функциональных продуктов питания с учетом их пищевой ценности и влияния на микробиоту кишечника.

Ключевые слова: модификация крахмала, резистентный крахмал, низкотемпературная обработка, высокотемпературная обработка, обработка ферментными препаратами, «искусственный желудок», «искусственный кишечник», молочнокислые бактерии.

The effect of resistant starch production methods on the activity of lactobacilli

Reem Alkhateeb	¹	reemhalkhateeb11@gmail.com	 0009-0005-5978-5599
Nadezhda V. Barakova	^{1,2}	n.barakova@mail.ru	 0000-0001-7296-8609
Polina I. Gunkova	¹	polinagunkova@mail.ru	 0000-0001-9899-6288
Angelina S. Baskovtceva	¹	baskovtseva.ang@ya.ru	 0000-0003-0726-4386
Svetlana A. Grinvald	¹	svetik12.ru@mail.ru	 0009-0006-3583-6803

1 ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia

2 Saint-Petersburg State Institute of Technology, Moskovsky Av., 24-26/49, bld. A, St. Petersburg, 190013, Russia

Abstract. The influence of low- and high-temperature treatments on the production of resistant starch was investigated. For the experiments, a starch suspension, modified with amylolytic enzyme preparations: Distizym BA-T and Distizym AG, was prepared from potato starch. Treatment of the starch suspension to obtain resistant starch was conducted at -18°C and in liquid nitrogen at -196°C. High-temperature treatment was carried out at 120°C for 15, 30, 45, and 60 minutes. The resistance of resistant starch was determined by the amount of reducing substances obtained after repeated treatment of the starch suspension with enzyme preparations at low and high pH values, assessed by the growth of lactobacilli. As a result, it was found that the greatest stability was exhibited by resistant starch obtained after autoclaving the starch suspension at 120°C for 15 minutes. On the nutrient medium supplemented with this sample, the highest growth of microorganisms was observed, which was 2 times higher than on the nutrient medium without the addition of starch suspension. It is important to consider this finding when including resistant starch in the formulations of functional food products. This is especially true for the preparation of fermented products based on grain or juice, where reducing substances play an important role in the preparation stages. Additionally, resistant starch can serve as a prebiotic, providing a nutrient-rich environment for intestinal microflora. Thus, the results of the study can be used to develop new and improve existing functional food products, taking into account their nutritional value and effect on the intestinal microbiota.

Keywords: starch modification, resistant starch, low-temperature treatment, high-temperature treatment, treatment with enzyme preparations, “artificial stomach”, “artificial intestine”, lactic acid bacteria.

Для цитирования

Алхатиб Р., Баракова Н.В., Гунькова П.И., Басковцева А.С., Гринвальд С.А. Влияние способов получения резистентного крахмала на жизнедеятельность лактобактерий // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 99–106. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-99-106

For citation

Alkhateeb R., Barakova N.V., Gunkova P.I., Baskovtceva A.S., Grinvald S.A. The effect of resistant starch production methods on the activity of lactobacilli. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 99–106. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-99-106106

Введение

Лактобактерии относятся к основным представителям микрофлоры кишечника человека и обладают способностью регулировать его микробную экологию [1]. Питательными веществами для лактобактерий в толстом кишечнике являются неперевариваемые углеводы – некрахмалистые полисахариды или, как их называют, пребиотики.

Одним из распространенных пищевых источников неперевариваемых углеводов является резистентный крахмал, который столь же важен, как и некрахмалистые полисахариды, для укрепления здоровья толстой кишки, профилактики воспалительных заболеваний кишечника и колоректального рака [2]. При этом резистентный крахмал оказывает меньшее влияние на метаболизм липидов и глюкозы, обладая низким гликемическим индексом. Это способствует поддержанию стабильного уровня сахара в крови и может помочь предотвратить развитие диабета и улучшить контроль над ним у тех, кто уже страдает этим заболеванием. Кроме того, потребление резистентного крахмала способствует снижению уровня холестерина в крови, что помогает предотвратить развитие сердечно-сосудистых заболеваний [3].

Резистентный крахмал – это форма крахмала, которая не гидролизуется до D-глюкозы в тонком кишечнике в течение 120 минут после употребления, а ферментируется в толстой кишке. Крахмал состоит из 2 основных структурных компонентов: амилозы, которая, по существу, представляет собой линейный полимер, в котором остатки глюкозы связаны с -D-(1–4), что обычно составляет от 15 до 20% крахмала, и амилопектина, который представляет собой более крупную разветвленную молекулу с -D-(1–4) и -D-(1–6) связями и является основным компонентом крахмала [4]. Многие исследования показали, что резистентный крахмал представляет собой линейную молекулу α-1,4-D-глюкана, полученную из ретроградизированной фракции амилозы, и имеет относительно низкую молекулярную массу ($1,2 \times 10^5$ Да) [5].

Существует несколько типов резистентного крахмала [6]:

- Тип 1 (RS1): физически защищенный крахмал, например крахмал в зерновых оболочках или внутри клеточных структур.

- Тип 2 (RS2): крахмал, обладающий особыми кристаллическими структурами, которые затрудняют доступ пищеварительных ферментов к глюкозным молекулам, например, крахмал зеленых бананов или сырого картофеля.

- Тип 3 (RS3): ретроградный крахмал, образованный в результате охлаждения или замораживания некоторых продуктов, таких как картофель или рис. Этот тип резистентного крахмала образуется в результате реорганизации амилопластов под воздействием холода.

- Тип 4 (RS4): модифицированные формы крахмала (набухающий, этерифицированный, поперечно-связанный), полученные путем химического сшивания крахмала со сложными эфирами и эфирными группами.

- Тип 5 (RS5): некоторые исследователи выделяют также пятый тип резистентного крахмала [7]. Он представляет собой крахмал-липидные комплексы (амилоид-стеариновая кислота), нерастворимые в воде и обладающие свойствами термостабильности, что затрудняет их соединение с амилазой.

Поскольку резистентный крахмал содержится в различных природных источниках, он может быть легко включен в сбалансированную диету. Суточное потребление резистентного крахмала должно составлять 20 г, но количество поступаемого крахмала с пищей обычно недостаточно, поэтому необходимо дополнительно включать его в рацион питания [8].

В большом количестве резистентный крахмал содержится в следующих продуктах: бобовые (бобы, горох и чечевица); овес; зеленые бананы; сваренный и охлажденный картофель; кукурузная мука Hi-Maize (до 50% этой муки составляет волокно, большая часть которого – резистентный крахмал). При варке и последующем охлаждении крахмал, содержащийся в таких продуктах как картофель, рис и макароны, подвергается ретроградации, что приводит к более высокому содержанию резистентного крахмала. Поэтому количество резистентного крахмала в картофеле, рисе и других продуктах зависит также от способов приготовления и обработки [9].

Таким образом, получить резистентный крахмал 1–2 типа возможно напрямую из растительных источников. Такие продукты как цельные зерна и бобовые, содержат крахмал внутри клеточных структур. Механическая обработка, такая как дробление или измельчение, может способствовать его освобождению. Резистентный крахмал 3 типа получают физическими методами. Эти методы включают изменение структуры крахмала путем механической или термической обработки без использования химических веществ. В пищевой промышленности используются такие приемы, как тепловое увлажнение, многократное замораживание-оттаивание, автоклавирование и нагрев в микроволновой печи [10].

Резистентный крахмал 4 типа в природе не встречается, но его можно получить с помощью ферментативной и химической модификации. Процесс модификации крахмала включает различные технологические методы, направленные на изменение его структуры. В этих модификациях вводятся объемные функциональные группы, например, гидроксипропильные, ацетильные и октенильные группы янтарного ангидрида, или связи между цепями амилозы, например, через фосфатные фрагменты. Химические модификации препятствуют перевариванию крахмала, закрывая доступ ферментам и образованию атипичных связей [11].

Проведено достаточное количество исследований о влиянии резистентного крахмала на лактобактерии кишечника и микробиом в целом. Активность роста и метаболизма молочнокислых бактерий, состоящих из множества штаммов родов *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*, обычно используется в качестве одного из маркеров для оценки пребиотиков, поскольку они отвечают за ферментацию углеводов [12]. Учеными было выявлено, что пищевые источники резистентного крахмала 2 типа могут эффективно снижать рН просвета толстого кишечника у свиней, что может быть полезно для подавления

роста условно-патогенных микроорганизмов. Более того, полученные данные подтвердили, что бактерии, продуцирующие молочную кислоту, такие как лактобациллы и бифидобактерии, могут стимулироваться повышением уровня резистентного крахмала в рационе [13, 14]. К аналогичным результатам пришли другие исследователи, проводившие эксперименты с крысами [15] и цыплятами-бройлерами [16]. Резистентный крахмал не только функционирует подобно нерастворимым пищевым волокнам с точки зрения увеличения объема содержимого слепой кишки, но также служит водорастворимым пищевым волокном и, следовательно, ферментационным субстратом для кишечных бактерий [17].

Цель работы – исследовать влияние способов получения резистентного крахмала на жизнедеятельность лактобактерий.

Материалы и методы

Объектами исследования являются: картофельный крахмал (ГОСТ Р 53876–2010), ООО «ПЕЦ-ХААС», г. Москва, Россия; жидкий азот, компания «Газ-трейд», г. Санкт-Петербург, Россия; ферментные препараты Дистицим БА-Т и Дистицим АГ фирмы «Erbslöh Geisenheim», Германия.

Таблица 1.

Характеристика ферментных препаратов

Table 1.

Characteristics of enzyme preparation

Ферментный препарат (<i>производитель ферментов</i>) Enzyme preparation (enzyme producer)	Основной фермент Main enzyme	Активность, ед./мл Activity, units/mL	Действие Action	t, °C	pH
Дистицим БА-Т (<i>Bacillus licheniformis</i>)	альфа-амилаза alpha-amylase	1600	разжижение liquefaction	30–110	5,5–8,0
Дистицим АГ, (<i>Aspergillus niger</i>)	глюкоамилаза glucoamylase	6500	осахаривание saccharification	30–70	4,0–6,2

Режим получения крахмальной суспензии и ферментативной обработки резистентного крахмала.

Для получения крахмальной суспензии картофельный крахмал смешивали с водой в соотношении 1:3 (гидромодуль) и добавляли ферментный препарат Дистицим БА-Т (доза внесения – 1,5 ед. АС на 1 г крахмала). Суспензию нагревали до температуры 50 °C и выдерживали при этой температуре в течение 30 мин при постоянном перемешивании. Затем суспензию нагревали, увеличивая температуру до 80 °C, и оставляли на выдержку при этой температуре в течение двух часов. Затем суспензию охлаждали до 60 °C, вносили ферментный препарат Дистицим АГ (доза внесения – 0,7 ед. АС на 1 г крахмала) и выдерживали при этой температуре в течение 30 мин. Затем нагрев увеличивали до 90 °C и выдерживали 1 мин.

Приготовление крахмальной суспензии и ее ферментативную обработку проводили на водяной бане LabTex, Россия. Низкотемпературную обработку крахмальной суспензии проводили в морозильной камере при температуре -18 °C и в среде жидкого азота при -196 °C. После замораживания крахмальные суспензии хранили при температуре -18 °C в течение 14 дней.

Обработку крахмальной суспензии при высоких температурах проводили в автоклаве Tuttnauer 2840EL-D (Израиль) при температуре 120 °C в течение 15, 30, 45, 60 мин.

Для оценки свойств модифицированного крахмала под действием высоких и низких температур крахмальные суспензии повторно обрабатывали ферментными препаратами амилотического действия. Использовали Дистицим БА-Т (доза внесения – 1,5 ед. АС на 1 г крахмала)

и Дистицим АГ (доза внесения – 0,7 ед. АС на 1 г крахмала) и определяли количество редуцирующих сахаров.

Определение стойкость резистентного крахмала к низким и высоким рН проводили в среде «искусственный желудок» и «искусственный кишечник». Основу «искусственный желудок» готовили путем смешивания 0,02 г. NaCl, 0,07 мл 37%-ной HCl, 9 см³ бидистиллированной воды и 5 мл приготовленной патоки. Конечные значения рН доводили до 1,2 ± 0,1. Перед использованием добавляли пепсин (0,032 г.) и доводили объем основы до 1000 мл бидистиллированной водой. Потом инкубировали на водяной бане при 37 °С при постоянном встряхивании перемешивании со скоростью 120 об/мин в течение 90 мин.

Основу «искусственный кишечник» готовили путем смешивания 6,8 г КН₂ РО₄, которые растворяли в 650 дм³ бидистиллированной воды с 190 см³ 0,2 н NaOH. Конечные значения рН модельного кишечного сока доводили до 7,2 ± 0,1. Образцы инкубировали на водяной бане при постоянном встряхивании в течение 120 мин. Перед использованием добавляли пепсин (3,2 г) и доводили объем основы до 1000 мл бидистиллированной водой.

Массовую долю редуцирующих веществ определяли по ГОСТ 33917–2016. Патока крахмальная. Общие технические условия [18] методом Лейна-Эйнона (для всех видов патоки). Сущность метода заключается в сравнении восстанавливающей способности раствора патоки с восстанавливающей способностью глюкозы по смеси растворов Фелинга в присутствии индикатора метиленового синего.

Массовую долю редуцирующих веществ ($m_{рв}$, %) в пересчете на сухое вещество патоки вычисляли по формуле:

$$m_{рв} = \frac{\varphi \cdot m_{гд} \cdot 100}{m_{н} \cdot m_{св} \cdot V} \cdot 100 \quad (1)$$

где φ – фактор растворов Фелинга, см³; $m_{гд}$ – масса навески кристаллической глюкозы, г; 100 – коэффициент пересчета массовой доли редуцирующих веществ на 100 г сухого вещества патоки, см³; $m_{н}$ – масса навески патоки, взятой для анализа, г; $m_{св}$ – массовая доля сухого вещества патоки, %; V – объем раствора анализируемой патоки, затраченный на титрование, см³; 100 – коэффициент пересчета на сухое вещество патоки, %.

Метод определения КОЕ. Непосредственный подсчет клеток на микроскопе проводился

по методу Виноградского-Брида [19]. Преимущество этого метода, заключается в возможности подсчитывать клетки микроорганизмов малых размеров, так как подсчет проводят с использованием иммерсионного объектива.

Препарат готовили следующим образом: хорошо обезжиренное предметное стекло помещали на миллиметровую бумагу, на которой отмечали квадрат площадью 4 см² и обводили его стеклографом или тушью. Брали 1 см³ среды и вносили в пробирку с 9 см³ физиологического раствора ($n = 10$). Затем на предметное стекло наносили из пробирки объем 0,02 см³. Тщательно распределяли суспензию бактериологической петлей по всей площади квадрата, отмеченного на стекле. Препарат подсушивали на воздухе, фиксировали в пламени спиртовки, окрашивали в течение 2 мин метиленовым синим, промывали водой и осушали фильтровальной бумагой.

На препарат наносили каплю кедрового масла и рассматривали в микроскопе с иммерсионным объективом. Чтобы результат был достоверным, подсчет числа клеток проводили не менее чем в 20 полях зрения. Общее количество подсчитанных клеток должно быть не менее 600.

В мазке микроорганизмы распределяются неравномерно: в центре их содержится больше, чем по краям. Поэтому для получения среднего значения вели подсчет по диаметру мазка, смещая поле зрения от одного конца диаметра к другому.

Количество клеток в 1 см³ суспензии вычисляли по формуле 2:

$$C = \frac{aSn}{sV} \quad (2)$$

где C – число клеток в 1 см³ суспензии; a – среднее число клеток в одном поле зрения; S – площадь приготовленного мазка (400 мм²); n – разведение исходной суспензии; s – площадь поля зрения (0,02 мм²); V – объем нанесенной на предметное стекло суспензии микроорганизмов (0,01 или 0,02 см³).

Результаты

На первом этапе проведения экспериментов была получена крахмальная суспензия. В дальнейшем крахмальная суспензия была разделена на несколько образцов, которые подвергались различным температурным воздействиям: замораживанию при -18 °С, -196 °С, автоклавированию при 120 °С в течение 15, 30, 45 и 60 мин.

Степень резистентности крахмала, полученного после термической обработки (замораживания и автоклавирования), оценивали по количеству редуцирующих веществ. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Содержание редуцирующих сахаров в образцах крахмальной суспензии после термической обработки

Table 2.

The content of reducing sugars in samples of starch suspension after thermal treatment

Режим низкотемпературной обработки крахмальной суспензии Mode of low-temperature processing of starch suspension	Содержание редуцирующих сахаров (%) Reducing sugars content (%)			
	После первой обработки ферментными препаратами After the first enzymatic treatment	После второй ферментативной обработки After the second enzymatic treatment	В среде «искусственный желудок» In "artificial stomach" medium	В среде «искусственный кишечник» In "artificial intestine" medium
Контроль Control	24,13	38,00	32,40	34,17
-18 °С	20,34	29,90	24,00	25,70
-196 °С	22,00	31,00	27,30	29,00
120 °С, 15 мин	20,13	27,65	23,24	24,02
120 °С, 30 мин	19,24	29,67	23,40	24,70
120 °С, 45 мин	19,30	29,93	24,39	26,60
120 °С, 60 мин	19,77	30,25	26,72	27,50

Далее была проведена серия экспериментов, в которых был показан рост лактобактерий в зависимости от типа резистентного крахмала, включенного в питательную среду лактобактерий.

Таблица 3.

Количество клеток лактобактерий, выращенных в среде с добавлением крахмальной суспензии, полученной разными видами термической обработки

Table 3.

The number of lactobacilli cells grown in a medium supplemented with starch suspension obtained through various types of thermal treatment

Режим обработки пит. среды Medium treatment mode	Количество клеток в 1 см ³ (×10 ⁸) Number of cells in 1 cm ³ (×10 ⁸)
Контроль Control	6,26
-18 °С	11,60
-196 °С	8,36
120 °С, 15 мин	12,20

Обсуждение

Исходя из результатов, представленных в таблице 2 следует, что низко- и высокотемпературные воздействия влияют на содержание редуцирующих веществ. После обработки крахмальной суспензии температурой -18 °С, содержание редуцирующих веществ снизилось на 13,7%; после -196 °С – на 8,8%; после автоклавирования при 120 °С в течение 15 мин – на 16,6%; после автоклавирования при 120 °С в течение 30 мин – на 20,3%; после автоклавирования при 120 °С в течение 45 мин – на 20%; после автоклавирования при 120 °С в течение 60 мин – на 18,1%. Менее всего количество редуцирующих веществ снижается в процессе замораживания крахмальной суспензии при -196 °С и более всего в процессе автоклавирования при 120 °С в течение 30 мин.

Для оценки степени резистентности полученного крахмала проводили ферментативную

обработку крахмальной суспензии. Для этого во все образцы вносили ферменты альфа-амилазу и глюкоамилазу, после чего определяли количество полученных редуцирующих веществ в крахмальных суспензиях.

В результате было получено, что в контрольном образце (который не подвергался низко- и высокотемпературным воздействиям) количество редуцирующих веществ увеличилось на 34,27%. После обработки крахмальной суспензии температурой -18 °С содержание редуцирующих веществ увеличилось на 18%; после -196 °С – на 24%; после автоклавирования при 120 °С в течение 15 мин – на 15%; после автоклавирования при 120 °С в течение 30 мин – на 22%; после автоклавирования при 120 °С в течение 45 мин – на 26,4%; после автоклавирования при 120 °С в течение 60 мин – на 35,15%.

Самый низкий процент увеличения редуцирующих веществ – 15% был зафиксирован в образце после обработки крахмальной суспензии при автоклавировании при 120 °С в течение 15 мин.

Влияние высокого pH на устойчивость крахмала проводили в среде «искусственный кишечник». В результате было отмечено повышение содержания редуцирующих веществ в контрольном образце (который не подвергался низко- и высокотемпературным воздействиям) количество редуцирующих веществ увеличилось на 41,6%. После обработки крахмальной суспензии температурой -18 °С содержание редуцирующих веществ увеличилось на 26,4%; после -196 °С – на 31,8%; после автоклавирования при 120 °С в течение 15 мин – на 19,3%; после автоклавирования при 120 °С в течение 30 мин – на 28,3%; после автоклавирования при 120 °С в течение 45 мин – на 37,8%; после автоклавирования при 120 °С в течение 60 мин – на 39,1%.

Анализируя полученные результаты следует отметить, что наименьший гидролиз крахмала при pH 7,8 был отмечен в образце после автоклавирования при 120 °С в течение 15 мин – на 19,3%. Данный эксперимент можно считать успешным, так как резистентный крахмал должен быть устойчивым к высоким pH, гидролиз крахмала протекать не будет. А результаты, представленные в таблице 3, показывают, что наибольший рост микроорганизмов отмечен на питательной среде с крахмальной суспензией после автоклавирования при 120 °С в течение 15 мин. Таким образом, в полученной крахмальной суспензии резистентный крахмал сможет быть питательной средой для микроорганизмов, в частности лактобактерий, населяющих толстый кишечник организма человека.

Заключение

В ходе исследования был проведен анализ различных методов получения резистентного крахмала, а также оценена степень устойчивости полученного резистентного крахмала в крахмальной суспензии по количеству образующихся редуцирующих веществ при использовании различных методов, включая воздействие фер-

ментными препаратами амилолитического действия и изменение pH окружающей среды. Кроме того, был изучен рост количества лактобактерий на питательных средах с добавлением полученных суспензий.

Полученные результаты показали, что варьирование режимов низко- и высокотемпературной обработки позволяет получать крахмал с различной степенью устойчивости и разным количеством образующихся редуцирующих веществ. Этот вывод имеет важное значение в контексте включения резистентного крахмала в рецептуры функциональных пищевых продуктов. Особенно это актуально для приготовления ферментированных продуктов на основе зерна или сока, где редуцирующие вещества играют важную роль на стадиях приготовления. Кроме того, резистентный крахмал может быть использован в качестве пребиотика, обеспечивая питательную среду для микрофлоры кишечника. Таким образом, результаты исследования могут быть применены для разработки новых и улучшения существующих функциональных продуктов питания с учетом их пищевой ценности и влияния на микробиоту кишечника.

Литература

- 1 Ших Е.В., Махова А.А., Астаповский А.А., Перков А.В. Перспективы пробиотических штаммов бифидобактерий и энтерококков в лечении и профилактике заболеваний гастроэнтерологического профиля // Вопросы питания. 2021. Т. 90. № 2. С. 15–25. doi: 10.33029/0042–8833–2021–90–2–15–25
- 2 DeMartino P., Cockburn D.W. Resistant starch: impact on the gut microbiome and health // *Current Opinion in Biotechnology*. 2020. V. 61. P. 66–71. doi: 10.1016/j.copbio.2019.10.008
- 3 Wu H., Wang M., Ren X., Li Z. et al. Preparation of type 3 rice resistant starch using high-pressure homogenous coenzyme treatment and investigating its potential therapeutic effects on blood glucose and intestinal flora in db/db mice // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. V. 264. № 2. P. 130552. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130552
- 4 Wang Z., Wang S., Xu Q., Kong Q. et al. Synthesis and functions of resistant starch // *Advances in Nutrition*. 2023. V. 14. № 5. P. 1131–1144. doi: 10.1016/j.advnut.2023.06.001
- 5 Ding Y., Wang M., Shen Y., Shu X. et al. Physicochemical properties of resistant starch and its enhancement approaches in rice // *Rice Science*. 2021. V. 28. № 1. P. 31–42. doi: 10.1016/j.rsci.2020.11.005
- 6 Коптелова Е.К., Кузьмина Л.Г., Гулакова В.А., Лукин Н.Д. Оценка амилорезистентности крахмалов различного происхождения и модификации // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. Т. 31. № 57. С. 60–62.
- 7 Thompson M.S., Yan T.H., Saari N., Sarbini S.R. A review: Resistant starch, a promising prebiotic for obesity and weight management Author links open overlay panel // *Food Bioscience*. 2022. V. 50. № 2. P. 101965. doi: 10.1016/j.fbio.2022.101965
- 8 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с.
- 9 Кокорева Л.А., Листратова Н.А. Резистентный крахмал – перспективный функциональный ингредиент // *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*. 2019. № 1 (18). С. 155–162.
- 10 Chen Z., Liang N., Zhang H., Li H. et al. Resistant starch and the gut microbiome: Exploring beneficial interactions and dietary impacts // *Food Chemistry: X*. 2024. V. 21. P. 101118. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101118
- 11 Walsh S.K., Lucey A., Walter J., Zannini E. et al. Resistant starch – An accessible fiber ingredient acceptable to the Western palate // *Comprehensive review in Food Science and Food Safety*. 2022. V. 21 (3). P. 2930–2955. doi: 10.1111/1541–4337.12955
- 12 De Filippis F., Pasolli E., Ercolini D. The food-gut axis: lactic acid bacteria and their link to food, the gut microbiome and human health // *Microbiology Reviews*. 2020. V. 44 (4). P. 454–489. doi: 10.1093/femsre/fuaa015
- 13 Metzler-Zebeli B.U., Canibe N., Montagne L., Freire J. et al. Resistant starch reduces large intestinal pH and promotes fecal lactobacilli and bifidobacteria in pigs // *Animal* 2019. V. 13 (1). P. 64–73. doi: 10.1017/S1751731118001003

14 Nielsen T.S., Lærke H.N., Theil P.K., Sørensen J.F. et al. Diets high in resistant starch and arabinoxylan modulate digestion processes and SCFA pool size in the large intestine and faecal microbial composition in pigs // *British Journal of Nutrition*. 2014. V. 112 (11). P. 1837–1849. doi: 10.1017/S000711451400302X

15 Kawakami S., Han K.-H., Araki T., Ohba K. et al. Potato powders prepared by successive cooking-process depending on resistant starch content affect the intestinal fermentation in rats // *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2017. V. 81 (2). P. 359–364. doi: 10.1080/09168451.2016.1254537

16 Akbaryan M., Mahdavi A., Jebelli-Javan A., Staji H. et al. A comparison of the effects of resistant starch, fructooligosaccharide, and zinc bacitracin on cecal short-chain fatty acids, cecal microflora, intestinal morphology, and antibody titer against Newcastle disease virus in broilers // *Comparative Clinical Pathology*. 2019. V. 28. P. 661–667. doi: 10.1007/s00580-019-02936-9

17 Wang Y., Han T., Liu T., Sun L. et al. New insights into starch, lipid, and protein interactions – Colon microbiota fermentation // *Carbohydrate Polymers*. 2024. V. 335. P. 122113. doi: 10.1016/j.carbpol.2024.122113

18 ГОСТ 33917–2016. Патока крахмальная. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2017. 152 с.

19 Красникова Л.В., Гунькова П.И. Общая и пищевая микробиология. Часть I. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 134 с.

20 Коптелова Е., Кузьмина Л.Г., Лукин Н.Д. Влияние влаготермической и экструзионной обработки кукурузного крахмала на его резистентность // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018. №. 1. С. 11-14.

References

1 Shikh E.V., Makhova A.A., Astapovsky A.A., Perkov A.V. Prospects for probiotic strains of bifidobacteria and enterococci in the treatment and prevention of gastroenterological diseases. *Nutrition Issues*. 2021. vol. 90. no. 2. pp. 15–25. doi: 10.33029/0042-8833-2021-90-2-15-25 (in Russian).

2 DeMartino P., Cockburn D.W. Resistant starch: impact on the gut microbiome and health. *Current Opinion in Biotechnology*. 2020. vol. 61. pp. 66–71. doi: 10.1016/j.copbio.2019.10.008

3 Wu H., Wang M., Ren X., Li Z. et al. Preparation of type 3 rice resistant starch using high-pressure homogenous coenzyme treatment and investigating its potential therapeutic effects on blood glucose and intestinal flora in db/db mice. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. vol. 264. no. 2. pp. 130552. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130552

4 Wang Z., Wang S., Xu Q., Kong Q. et al. Synthesis and functions of resistant starch. *Advances in Nutrition*. 2023. vol. 14. no. 5. pp. 1131–1144. doi: 10.1016/j.advnut.2023.06.001

5 Ding Y., Wang M., Shen Y., Shu X. et al. Physicochemical properties of resistant starch and its enhancement approaches in rice. *Rice Science*. 2021. vol. 28. no. 1. pp. 31–42. doi: 10.1016/j.rsci.2020.11.005

6 Коптелова Е.К., Кузьмина Л.Г., Гулакова В.А., Лукин Н.Д. Оценка амилорезистентности крахмалов различного происхождения и модификации // *Достижения науки и техники АПК*. 2017. Т. 31. № 57. С. 60–62.

7 Thompson M.S., Yan T.H., Saari N., Sarbini S.R. A review: Resistant starch, a promising prebiotic for obesity and weight management Author links open overlay panel // *Food Bioscience*. 2022. V. 50. № 2. P. 101965. doi: 10.1016/j.fbio.2022.101965

8 Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Guidelines. M., Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009. 36 p. (in Russian).

9 Kokoreva L.A., Listratova N.A. Resistant starch - a promising functional ingredient. Design, use and reliability of agricultural machines. 2019. no. 1 (18). P. 155–162. (in Russian).

10 Chen Z., Liang N., Zhang H., Li H. et al. Resistant starch and the gut microbiome: Exploring beneficial interactions and dietary impacts. *Food Chemistry: X*. 2024. vol. 21. pp. 101118. doi: 10.1016/j.fochx.2024.101118

11 Walsh S.K., Lucey A., Walter J., Zannini E. et al. Resistant starch – An accessible fiber ingredient acceptable to the Western palate. Comprehensive review in *Food Science and Food Safety*. 2022. vol. 21 (3). pp. 2930–2955. doi: 10.1111/1541-4337.12955

12 De Filippis F., Pasolli E., Ercolini D. The food-gut axis: lactic acid bacteria and their link to food, the gut microbiome and human health. *Microbiology Reviews*. 2020. vol. 44 (4). pp. 454–489. doi: 10.1093/femsre/uaa015

13 Metzler-Zebeli B.U., Canibe N., Montagne L., Freire J. et al. Resistant starch reduces large intestinal pH and promotes fecal lactobacilli and bifidobacteria in pigs. *Animal* 2019. vol. 13 (1). pp. 64–73. doi: 10.1017/S1751731118001003

14 Nielsen T.S., Lærke H.N., Theil P.K., Sørensen J.F. et al. Diets high in resistant starch and arabinoxylan modulate digestion processes and SCFA pool size in the large intestine and faecal microbial composition in pigs. *British Journal of Nutrition*. 2014. vol. 112 (11). pp. 1837–1849. doi: 10.1017/S000711451400302X

15 Kawakami S., Han K.-H., Araki T., Ohba K. et al. Potato powders prepared by successive cooking-process depending on resistant starch content affect the intestinal fermentation in rats. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2017. vol. 81 (2). pp. 359–364. doi: 10.1080/09168451.2016.1254537

16 Akbaryan M., Mahdavi A., Jebelli-Javan A., Staji H. et al. A comparison of the effects of resistant starch, fructooligosaccharide, and zinc bacitracin on cecal short-chain fatty acids, cecal microflora, intestinal morphology, and antibody titer against Newcastle disease virus in broilers. *Comparative Clinical Pathology*. 2019. vol. 28. pp. 661–667. doi: 10.1007/s00580-019-02936-9

17 Wang Y., Han T., Liu T., Sun L. et al. New insights into starch, lipid, and protein interactions – Colon microbiota fermentation. *Carbohydrate Polymers*. 2024. vol. 335. pp. 122113. doi: 10.1016/j.carbpol.2024.122113

18 ГОСТ 33917–2016. Starch syrup. General technical conditions. M., Standartinform, 2017. 152 p. (in Russian).

19 Красникова Л.В., Гункова П.И. General and food microbiology. Part I. St. Petersburg, ITMO University, 2016. 134 p. (in Russian).

20 Коптелова Е., Кузьмина Л.Г., Лукин Н.Д. The influence of moisture-thermal and extrusion processing of corn starch on its resistance. Storage and processing of agricultural raw materials. 2018. no. 1. pp. 11-14. (in Russian).

Сведения об авторах

Рим Алхатиб магистрант, факультет биотехнологий, университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, reemhalkhateeb11@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-5978-5599>

Надежда В. Баракова к.т.н., доцент, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, n.barakova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7296-8609>

Полина И. Гунькова к.т.н., доцент, научно-образовательный центр химического инжиниринга и биотехнологий, Университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, polinagunkova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9899-6288>

Ангелина С. Басковцева аспирант, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, baskovtseva.ang@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0726-4386>

Светлана А. Гринвальд аспирант, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, пр-т Кронверкский, 49, лит. А, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, svetik12.ru@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-3583-6803>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Reem Alkhateeb master student, biotechnology faculty, ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia, reemhalkhateeb11@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0005-5978-5599>

Nadezhda V. Barakova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biotechnology faculty, ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia, n.barakova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7296-8609>

Polina I. Gunkova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, scientific and educational center for chemical engineering and biotechnology, ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia, polinagunkova@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9899-6288>

Angelina S. Baskovtceva postgraduate student, biotechnology faculty, ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia, baskovtseva.ang@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0726-4386>

Svetlana A. Grinvald graduate student, biotechnology faculty, ITMO University, Kronverksky Av., 49, bld. A, St. Petersburg, 197101, Russia, svetik12.ru@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0006-3583-6803>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/03/2024	После редакции 18/04/2024	Принята в печать 10/05/2024
Received 01/03/2024	Accepted in revised 18/04/2024	Accepted 10/05/2024

Визуальная ассоциация, эмоциональное воздействие и аутентичность в фуд дизайне в современной гастрономии

Анастасия В. Копылова¹ tasyta7@ya.ru  0000-0001-9700-8989
Дарья В. Гурова¹ gurovadv@mail.ru  0009-0000-3500-7323
Анна Д. Мартынович¹ martynovich.anya@mail.ru

¹ Новосибирский государственный технический университет, пр-т К.Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия

Аннотация. В статье изучено, как сохранение традиционных ценностей и их интерпретация в современном ключе способствует созданию пищевых концепций, соответствующих желаниям и ожиданиям современного потребителя, роль визуального аспекта в создании эмоционального воздействия на потребителя через особенности цветовых сочетаний, текстурных контрастов и композиционных приемов в кулинарном дизайне. Методами исследования являются проведение эксперимента по применению фуд дизайна на традиционном блюде «Том Ям» и опрос аудитории 18–24 лет в количестве 40 человек. Респондентам были заданы вопросы, связанные с их ассоциативными навыками в области общественного питания, актуальности и необходимости применения фуд дизайна. Исследование показывает, что гастрономический рынок постоянно меняется и развивается под влиянием новых тенденций, требований и ожиданий потребителей, гибкость в адаптации и инновации играет важную роль для успешных кулинарных проектов. Исследование фокусируется на важности визуальной привлекательности блюд как на факторе, влияющем на восприятие вкуса и общее эмоциональное впечатление от потребления. Результаты исследования позволяют лучше понять важность визуальной составляющей в фуд дизайне и ее влияние на потребительский выбор. Выявлено, что привлекательная визуальная компонента блюда имеет прямое отражение на восприятии его вкусовых качеств и общее эмоциональное впечатление от потребления блюд. Цветовые сочетания играют ключевую роль в формировании ассоциаций и эмоциональных реакций у потребителей, а текстурные контрасты в кулинарном дизайне могут значительно повысить привлекательность и интерес к блюду.

Ключевые слова: фуд дизайн, потребительское поведение, эмоциональное восприятие, гастрономическая культура, аутентичность, гастрономия, культура питания, современная кулинария.

Visual association, emotional impact, and authenticity in food design in modern gastronomy

Anastasia V. Kopylova¹ tasyta7@ya.ru  0000-0001-9700-8989
Daria V. Gurova¹ gurovadv@mail.ru  0009-0000-3500-7323
Anna D. Martynovich¹ martynovich.anya@mail.ru

¹ Novosibirsk State Technical University, K. Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073, Russia

Abstract. The article examines how the preservation of traditional values and their interpretation in a modern way contributes to the creation of food concepts that meet the desires and expectations of the modern consumer, the role of the visual aspect in creating an emotional impact on the consumer through the features of color combinations, textural contrasts and compositional techniques in culinary design. The research methods include conducting an experiment on the use of food design on the traditional dish “Tom Yam” and surveying an audience of 18–24 years old in the amount of 40 people. The respondents were asked questions related to their associative skills in the field of catering, the relevance and need for the use of food design. The study shows that the gastronomic market is constantly changing and evolving under the influence of new trends, consumer demands and expectations, flexibility in adaptation and innovation plays an important role for successful culinary projects. The study focuses on the importance of food visual appeal as a factor influencing taste perception and overall emotional consumption experience. The results of the study allow us to better understand the importance of the visual component in food design and its impact on consumer choice. It was revealed that the attractive visual component of a dish has a direct reflection on the perception of its taste and the overall emotional impression of consuming the dish. Color combinations play a key role in shaping associations and emotional responses among consumers, and textural contrasts in culinary design can significantly enhance the appeal and interest of a dish.

Keywords: food design, consumer behavior, emotional perception, gastronomic culture, authenticity, gastronomy, food culture, modern cooking.

Введение

В связи с постоянным развитием индустрии питания и повышенной конкуренцией на рынке, вопрос совершенствования маркетинговой политики становится все более актуальным для предприятий этой отрасли. В данном контексте одним из ключевых инструментов, способствующим привлечению потребителей и укреплению позиций компаний, является фуд дизайн. Он раскрывает возможности визуального представления

продукции, подчеркивает индивидуальность бренда и способствует формированию потребительских предпочтений.

Фуд дизайн переживает процесс значительных трансформаций, появляется все больше инструментов влияния на психику человека и ее возбуждение, однако, потребителю наиболее важно оставаться в гармонии, безопасности и познавать самого себя через ту пищу, которую он потребляет [1]. Здесь фокус переходит на новое понятие «аутентичности». Слово года

Для цитирования

Копылова А.В., Гурова Д.В., Мартынович А.Д. Визуальная ассоциация, эмоциональное воздействие и аутентичность в фуд дизайне в современной гастрономии // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 107–122. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-107-112

For citation

Kopylova A.V., Gurova D.V., Martynovich A.D. Visual association, emotional impact, and authenticity in food design in modern gastronomy. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 107–112. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-107-112

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

по версии словаря Merriam-Webster's – «аутентичность» – максимально часто встречалось в 2023 году на поварских симпозиумах и конгрессах. В самом словаре это понятие определяется как связанное с идентичностью, будь то национальная или личная. Этот тренд подтверждается ресторанным опытом, где потребители все больше ценят происхождение и аутентичность блюд и готовы платить больше за эти факторы. При разработке новых концепций необходимо сохранить традиционные ценности, интерпретировав их на языке современности, таким образом презентация блюда, его внешний вид отражает время, которому оно принадлежит [2].

При разработке фуд дизайна необходимо понимать, какую реальность ожидает потребитель, его ассоциации, предпочтения. Ключевыми составляющими фуд дизайна являются цвет, текстура и композиция, симбиоз которых позволяет разработать новые гастрономические решения. На психологическое восприятие также влияют музыкальное, тактильное и визуальное сопровождение [3].

По словам психолога Чарльза Спенса, сладкие вкусы ассоциируются с высокими нотами, такими как флейта или верхние октавы на рояле, глубокие басовые звуки могут усилить горькие вкусовые ощущения. Известные повар-экспериментаторы, такие как британец Хестон Блюменталь, используют звуковой дизайн для улучшения вкуса блюд [4].

Восприятие цвета остаётся индивидуальной реакцией, которая часто основана на личном опыте потребителя: стереотипы, детские ассоциации, эмпирический опыт, менталитет и культура [5].

Разнообразие текстур добавляет интерес и разнообразие в каждый кулинарный проект, обогащая не только визуальное и вкусовое восприятие, но и тактильные ощущения. Комбинируя различные текстуры в блюдах, шеф-повары могут добиться удивительного гармоничного сочетания вкуса, внешнего вида и тактильного ощущения. Текстуры играют ключевую роль в создании уникальных кулинарных шедевров, заставляют гостей оценить не только вкус и аромат блюда, но и его текстурное богатство и ощущения, которые оно вызывает.

Цель работы – выявление факторов в фуд дизайне, влияющих на восприятие и эмоциональное состояние потребителя того или иного вида продукции, сохраняющих ее аутентичность.

Материалы и методы

Материалами исследования являются аналитические данные опросов более 3000 жителей крупных городов России старше 18 лет.

Проанализировав данные системы автоматизации ресторанов Absolut POS, были выявлены популярные типы заведений, лидерами среди которых оказались рестораны смешанной и русской кухни (27,6% опрошенных) и рестораны азиатской кухни, включая суши-бары (19% опрошенных) [6]. Таким образом, современные технологические, вкусовые и визуальные решения паназиатской кухни привлекают потребителей, при этом паназиатская кухня – сборный экспортный вариант и полной аутентичности не предполагает, большей части опрошенных наиболее интересна традиционная русская кухня. На основе полученных данных возникает необходимость в поиске оптимального решения, которое закроет все вышеупомянутые потребности аудитории.

Методами исследования являются проведение эксперимента по применению фуд дизайна на традиционном блюде «Том Ям» и опрос аудитории 18–24 лет в количестве 40 человек. Респондентам были заданы вопросы, связанные с их ассоциативными навыками в области общественного питания, актуальности и необходимости применения фуд дизайна.

Результаты и обсуждение

За основу разрабатываемого продукта была взята рецептура супа «Том Ям» с заменой одного из ингредиентов [7]. Новая рецептура включает в себя сибирскую рыбу – судак (таблица 1).

В контексте аутентичности у разрабатываемого блюда потребитель ожидает пикантный яркий пряный вкус, свежесть, интенсивный аромат. Новый ингредиент не противоречит ассоциативному образу, возникающему в голове, напротив пробуждая интерес к его потреблению необычным технологическим решением. Путем адаптации блюд возможно создавать уникальные кулинарные комбинации, сочетающие в себе элементы различных кухонь – фьюжн [8].

В ходе опроса респондентам был задан вопрос о предпочитаемой текстуре блюд. Некоторые предпочитают хрустящие текстуры (69,2%) за их динамичность и игру контрастов, в то время как другие отдают предпочтение кремообразным текстурам (61,5%) за их легкость и воздушность (рисунок 1).

Проведенное исследование позволило выявить текстуры в блюдах чаще всего вызывающие негативные эмоции и нелюбовь у опрошенных: жидкая (38,5%) и рассыпчатая (35,9%) (рисунок 2).

Интересным аспектом исследования является описание реакций людей на различные нелюбимые текстуры, некоторые респонденты описывают их как причину отторжения блюда,

другие испытывают физическое неприятие в ответ на определенные текстуры. Важной частью описания результатов исследования является анализ причин, почему определенные текстуры вызывают негативные эмоции у опрошенных. Это могут быть как биологические особенности организма, так и психологические факторы [9].

Исследование взаимосвязи вкуса, формы и цвета направлено на выявление связи между визуальным восприятием пищи и ее вкусовыми характеристиками. Цвет и форма блюда может влиять на восприятие его вкуса и текстуры,

а также оказывать эмоциональное воздействие на потребителя. Для изучения ассоциации респондентам был задан перечень вопросов, на основе которого была составлена таблица 2 взаимосвязи трех аспектов.

Результаты исследование показали, чтобы повлиять на потребителя необходимо добиться таких цветовых сочетаний и форм, которые наиболее эффективно позволяют выстроить позитивный ассоциативный ряд к тому или иному блюду. Помимо этого, необходима работа с контрастами для усиления эмоций при потреблении блюд.

Таблица 1.

Рецептура супа «Том Ям» с добавлением судака

Table 1.

Recipe for Tom Yum soup with pike perch

Ингредиент Content	Расход ингредиентов на 1 порцию, г Consumption products per 1 serving, g	
	брутто gross	нетто net
Бульон рыбный Fish broth	300	300
Молоко кокосовое Coconut milk	100	100
Сорго лимонный стебель Lemongrassstem	10	10
Каффир-лаймлистья Kaffir lime leaves	5	5
Галангал или корень имбиря Galangal or ginger root	12	10
Перец чили Chili pepper	2	1
Перец сладкий Sweet pepper	10	7
Судакфилеочищенное Pike perch fillet cleaned	150	150
Грибы Шиитакэ или шампиньоны свежие Shiitake mushrooms or fresh champignons	38	28
Соус рыбный тайский или соус соевый Thai fish sauce or soy sauce	20	20
Сахар коричневый Brown sugar	5	5
Чеснок Garlic	3	5
Масло растительное Oil	20	20
Масло кунжутное Sesame oil	5	5
Кинзасвежаяили лукзеленый Fresh cilantro or green onion	5	3
Крупа рисовая Rice groats	20	20
ВЫХОД DISH YIELD	500	

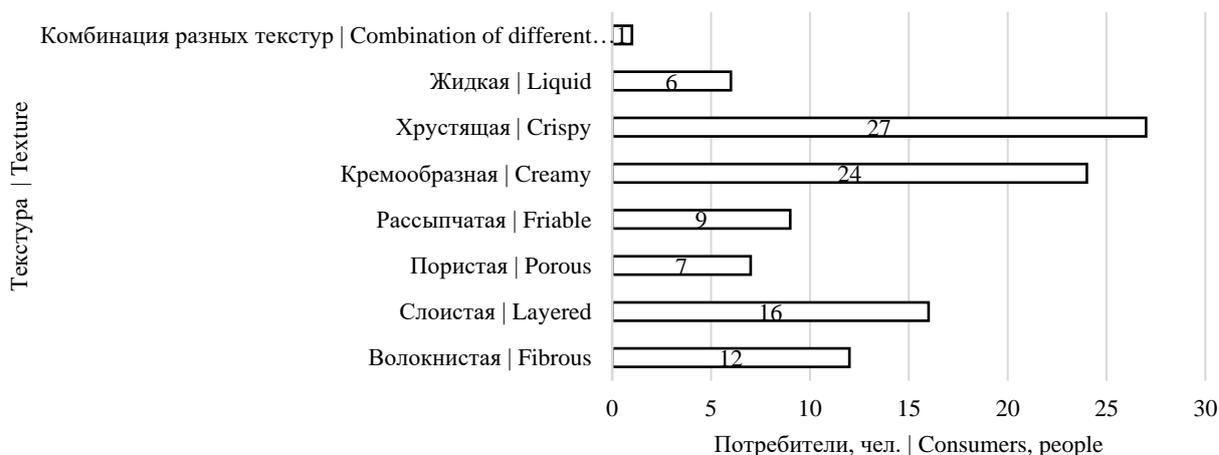


Рисунок 1. Результаты опроса потребителя на тему предпочитаемой текстуры блюд

Figure 1. Results of a consumer survey on preferred food texture

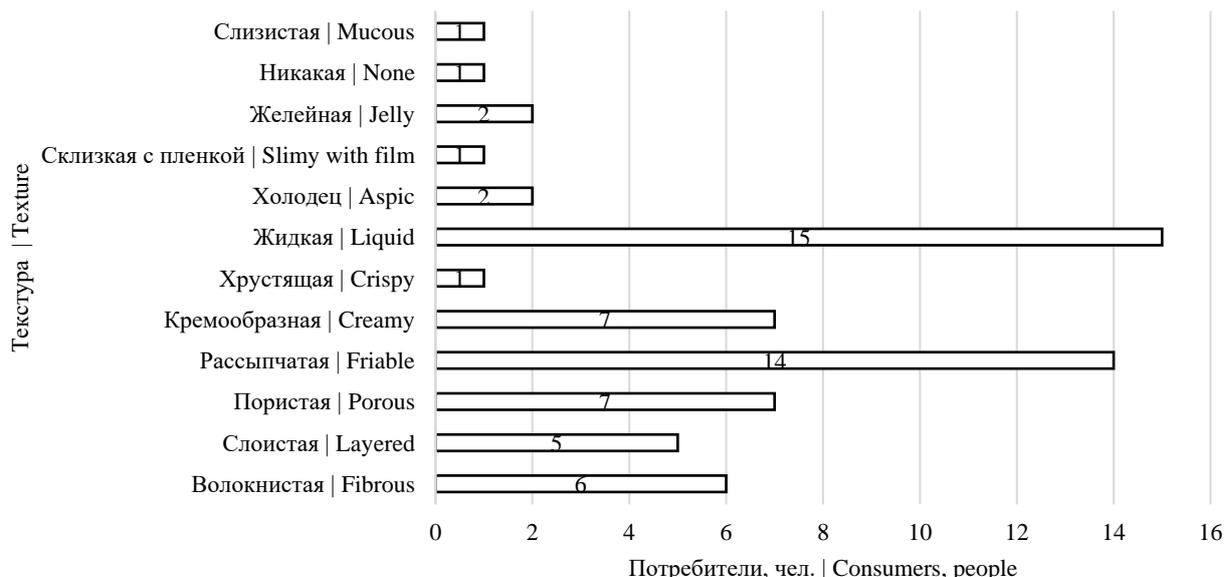


Рисунок 2. Результаты опроса потребителя на тему неприятной текстуры блюд

Figure 2. Results of a consumer survey on the topic of unpleasant food texture

Таблица 2.

Ассоциативное сравнения вкуса, формы и цвета блюд

Table 2.

Associative comparison of taste, shape and color of dishes

Вкус Taste	Геометрическая фигура Geometric figure	Цвет Color
Кислый Sour	 (48,7%)	Желтый Yellow (69,2%)
Сладкий Sweet	 (61,5%)	Розовый Pink (74,4%)
Горький Bitter	 (35,9%)	Черный Black (74,4%)

Заключение

Сохранение аутентичности в гастрономических предложениях позволяет сохранить наследие и традиции кулинарного искусства различных культур, делая опыт питания более глубоким и ценным. Одновременно с этим, эволюция фуд дизайна открывает возможности для экспериментов, инноваций и слияния различных кулинарных традиций для создания уникальных, современных блюд [10].

Фуд дизайн становится не только искусством приготовления пищи, но и способом коммуникации и создания связей между людьми через культуру и традиции, а глубокое изучение взаимосвязи между визуальным восприятием блюд и их вкусовыми качествами позволяет расширить данные горизонты [11].

Цветовая гамма, игра текстур и грамотно построенная композиция оказывают воздействие на восприятие пищи, формируя первое впечатление и влияя на уровень удовлетворенности в процессе потребления пищи, при этом в дизайне блюд следует учитывать не только визуальные аспекты, но и сохранять баланс между эстетикой и вкусом. Фуд дизайн не только отражает современные тенденции гастрономической индустрии, но и влияет на формирование культурных предпочтений и стереотипов, связанных с питанием.

Исследование имеет значение для пищевой индустрии, помогая разрабатывать новые продукты и улучшать существующие для соответствия вкусовым предпочтениям широкой аудитории.

Литература

- 1 Кириленко С.А. Особенности символизации пищи в современном обществе. URL: http://www.redyar.samara.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=422&Itemid=382
- 2 Зачем шеф-повару фуд-дизайн? URL: <https://design-mate.ru>
- 3 Степанов А.В., Чувашов А.С. Фуд-дизайн: социальные, эстетические и образовательные перспективы // Наука и современность. 2017. № 2(12). С. 56.
- 4 Капур Сибил. Вид. Запах. Ощущение. Вкус. Звук. Новый путь в искусстве кулинарии; пер. с англ. М.: Эксмо, 2019. 239 с.
- 5 Норман Д. Дизайн привычных вещей. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. 497 с.
- 6 Самые популярные концепции общепита. URL: <https://www.retail.ru/news/samymi-populyarnymi-kontseptsiyami-obshchepita-v-rf-stali-fastfud-russkaya-i-aziatskaya-kukhnya>
- 7 Мглинца А.И., Ловачевой Г.И., Алексина Л.М. и др. Справочник технолога общественного питания. М.: Колос, 2000. 410 с.
- 8 Bordewijk M., Schifferstein H.N.J. The specifics of food design: Insights from professional design practice // International Journal of Food Design. 2020. V. 4. №. 2. P. 101-138. doi: 10.1386/ijfd_00001_1
- 9 Соловьева С.А. Гастрономическая культура как ресурс наследия // Национальное культурное наследие России: региональный аспект: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 224-232.
- 10 Schifferstein H.N.J. Supporting food design with consumer research: from inspiration and validation to participation and integration // Current Opinion in Food Science. 2023. P. 101020. doi: 10.1016/j.cofs.2023.101020
- 11 Aguilera J.M. Rational food design and food microstructure // Trends in Food Science & Technology. 2022. V. 122. P. 256-264. doi: 10.1016/j.tifs.2022.02.006
- 12 Мусийчук В.В. Фуд-дизайн как симбиоз эстетических компонентов в гастрономической культуре // Мир науки. Социология, филология, культурология. 2020. Т. 11. №. 2. С. 7-7.
- 13 Крапива Т.В., Маюрникова Л.А. Обзор современных трендов индустрии питания в России // Актуальные направления научных исследований: технологии, качество и безопасность. 2020. С. 50-52.
- 14 Шумилова А.Д., Николаева Т.А., Головачева О.В. Современные тенденции в индустрии общественного питания // StudNet. 2020. V. 3. №. 12. P. 591-604.
- 15 Massa A., Arbolea J.C., Castillo F., Axpe E. et al. Structure design for gastronomy applications // Food Structure Engineering and Design for Improved Nutrition, Health and Well-Being. Academic Press, 2023. P. 139-155.
- 16 Pérez-Rodrigo C., Aranceta-Bartrina J. Role of gastronomy and new technologies in shaping healthy diets // Gastronomy and food science. Academic Press, 2021. P. 19-34.
- 17 Božić A., Milošević S. Contemporary trends in the restaurant industry and gastronomy // Journal of Hospitality & Tourism Research. 2021. V. 45. №. 5. P. 905-907.
- 18 Godoi F.C., Prakash S., Bhandari B.R. 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects // Journal of Food Engineering. 2016. V. 179. P. 44-54.
- 19 Yu P., Low M.Y., Zhou W. Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis: A review // Trends in Food Science & Technology. 2018. V. 71. P. 202-215.
- 20 Vanderroost M., Ragaert P., Devlieghere F., De Meulenaer B. et al. Intelligent food packaging: The next generation // Trends in food science & technology. 2014. V. 39. №. 1. P. 47-62.

References

- 1 Kirilenko S.A. Features of food symbolization in modern society. Available at: http://www.redyar.samara.ru/index.php?option=com_content&task=view&id=422&Itemid=382
- 2 Why does a chef need food design? Available at: <https://design-mate.ru>
- 3 Stepanov A.V., Chuvashov A.S. Food design: social, aesthetic and educational perspectives. Science and modernity. 2017. no. 2(12). pp. 56. (in Russian).
- 4 Kapoor Sybil. View. Smell. Feeling. Taste. Sound. A new path in the art of cooking. M., Eksmo, 2019. 239 p. (in Russian).
- 5 Norman D. Design of familiar things. M., Mann, Ivanov and Ferber, 2018. 497 p. (in Russian).
- 6 The most popular catering concepts. Available at: <https://www.retail.ru/news/samymi-populyarnymi-kontseptsiyami-obshchepita-v-rf-stali-fastfud-russkaya-i-aziatskaya-kukhnya> (in Russian).
- 7 Mglintsa A.I., Lovachevoy G.I., Aleksina L.M. et al. Directory of public catering technologist. M., Kolos, 2000. 410 p. (in Russian).
- 8 Bordewijk M., Schifferstein H.N.J. The specifics of food design: Insights from professional design practice. International Journal of Food Design. 2020. vol. 4. no. 2. pp. 101-138. doi: 10.1386/ijfd_00001_1
- 9 Solovyova S.A. Gastronomic culture as a heritage resource. National cultural heritage of Russia: regional aspect: materials of the V All-Russian scientific and practical conference. 2017. pp. 224-232. (in Russian).
- 10 Schifferstein H.N.J. Supporting food design with consumer research: from inspiration and validation to participation and integration. Current Opinion in Food Science. 2023. pp. 101020. doi: 10.1016/j.cofs.2023.101020
- 11 Aguilera J.M. Rational food design and food microstructure. Trends in Food Science & Technology. 2022. vol. 122. pp. 256-264. doi: 10.1016/j.tifs.2022.02.006
- 12 Musiychuk V.V. Food design as a symbiosis of aesthetic components in gastronomic culture. World of Science. Sociology, philology, cultural studies. 2020. vol. 11. no. 2. pp. 7-7. (in Russian).
- 13 Nettle T.V., Mayurnikova L.A. Review of modern trends in the food industry in Russia. Current directions of scientific research: technology, quality and safety. 2020. pp. 50-52. (in Russian).

- 14 Shumilova A.D., Nikolaeva T.A., Golovacheva O.V. Current trends in the catering industry. StudNet. 2020. vol. 3. no. 12. pp. 591-604. (in Russian).
- 15 Massa A., Arbolea J.C., Castillo F., Axpe E. et al. Structure design for gastronomy applications. Food Structure Engineering and Design for Improved Nutrition, Health and Well-Being. Academic Press, 2023. pp. 139-155.
- 16 Pérez-Rodrigo C., Aranceta-Bartrina J. Role of gastronomy and new technologies in shaping healthy diets. Gastronomy and food science. Academic Press, 2021. pp. 19-34.
- 17 Božić A., Milošević S. Contemporary trends in the restaurant industry and gastronomy. Journal of Hospitality & Tourism Research. 2021. vol. 45. no. 5. pp. 905-907.
- 18 Godoi F.C., Prakash S., Bhandari B.R. 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. Journal of Food Engineering. 2016. vol. 179. pp. 44-54.
- 19 Yu P., Low M.Y., Zhou W. Design of experiments and regression modelling in food flavour and sensory analysis: A review. Trends in Food Science & Technology. 2018. vol. 71. pp. 202-215.
- 20 Vanderroost M., Ragaert P., Devlieghere F., De Meulenaer B. et al. Intelligent food packaging: The next generation. Trends in food science & technology. 2014. vol. 39. no. 1. pp. 47-62.

Сведения об авторах

Анастасия В. Копылова к.т.н., доцент, кафедра технологии и организации пищевых производств, Новосибирский государственный технический университет, пр-т К.Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия, tasyta7@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9700-8989>

Дарья В. Гурова ассистент, кафедра технологии и организации пищевых производств, Новосибирский государственный технический университет, пр-т К.Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия, gurovadv@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0000-3500-7323>

Анна Д. Мартынович магистр, кафедра технологии и организации пищевых производств, Новосибирский государственный технический университет, пр-т К.Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия, martynovich.anya@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anastasia V. Kopylova Ph.D., Associate Professor, technology and organization of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, K. Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073, Russia, Russia, tasyta7@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-9700-8989>

Daria V. Gurova assistant, technology and organization of food production department, Novosibirsk State Technical University, K. Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073, Russia, gurovadv@mail.ru
 <https://orcid.org/0009-0000-3500-7323>

Anna D. Martynovich master, technology and organization of food production department, Novosibirsk State Technical University, K. Marx Ave., 20, Novosibirsk, 630073, Russia, martynovich.anya@mail.ru

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/03/2024	После редакции 02/04/2024	Принята в печать 10/04/2024
Received 25/03/2024	Accepted in revised 02/04/2024	Accepted 10/04/2024

Электрофизическое воздействие на белковое сырье

Юлия В. Устинова¹ yul48888048@ya.ru  0000-0002-1649-889X
Дмитрий М. Бородулин¹ borodulin@rgau-msha.ru  0000-0003-3035-0354

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Тимирязевская ул., 49, 127434, Россия

Аннотация. Органические полимеры используются во всех аспектах человеческой жизни и в настоящее время признаны важными материалами для общества. Для разработки органических полимерных материалов необходимо понимать структуру полимера. Являются Белки – незаменимые компоненты живой материи, относящиеся к классу полиэлектролитов. Они являются главными полимерами среди органических веществ и имеют особую сложность строения. Макромолекулы белков также обладают высокой мобильностью при изменении внешних условий. Это облегчает создание органических веществ с новыми свойствами. Казеин является сложным белком с мощным аминокислотным составом. Представлены результаты экспериментов по разработке способов изменения изоэлектрической точки молочного белка казеина двумя доступными и технологически простыми способами. Первый способ основан на использовании воды с примесью современного наноматериала - фуллерена, являющегося новой аллотропной модификацией углерода, выделенной из природного материала шунгита. Отмечен существенный сдвиг изоэлектрической точки казеина в щелочную область, предложен механизм наблюдаемого явления, определена его практическая значимость для усовершенствования некоторых технологических стадий в производстве пищевых продуктов. Установлено, что коагуляция казеина (ИЭТБ) наблюдалась при значении pH=5,8 (стандартное значение области ИЭТБ составляет pH=4,6–4,7). Второй способ основан на использовании воды, предварительно обработанной микроволнами с частотой 2,45 ГГц. Установлен сдвиг изоэлектрической точки в кислую сторону. В проведенных испытаниях снижается положительный заряд в электростатическом балансе макромолекул и наблюдается пониженное (pH = 3.2) значение ИЭТБ. Предложен механизм наблюдаемого явления, определена практическая значимость найденного приема для производства цельномолочной продукции с увеличенным сроком хранения.

Ключевые слова: белки, изоэлектрическая точка, казеин, фуллерен, микроволны, практическая значимость

Electrophysical effect on protein raw materials

Yulia V. Ustinova¹ yul48888048@ya.ru  0000-0002-1649-889X
Dmitry M. Borodulin¹ borodulin@rgau-msha.ru  0000-0003-3035-0354

¹ Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, st. Timiryazevskaya, 4, Moscow, 127434, Russia

Abstract. Organic polymers are used in all aspects of human life and are now recognized as important materials for society. To develop organic polymer materials, it is necessary to understand the structure of the polymer. Proteins are essential components of living matter belonging to the class of polyelectrolytes. They are the main polymers among organic substances and have a special complexity of structure. Protein macromolecules also have high mobility under changing environmental conditions. This makes it easier to create organic substances with new properties. Casein is a complex protein with a powerful amino acid composition. The results of experiments on the development of methods for changing the isoelectric point of milk casein protein in two accessible and technologically simple ways are presented. The first method is based on the use of water with an admixture of a modern nanomaterial - fullerene, which is a new allotropic modification of carbon isolated from the natural material shungite. A significant shift of the isoelectric point of casein to the alkaline region was noted, the mechanism of the observed phenomenon was proposed, and its practical significance for improving some technological stages in food production was determined. It was found that casein coagulation (IETB) was observed at pH = 5.8 (the standard value of the IETB region is pH = 4.6–4.7). The second method is based on the use of water pretreated with microwaves with a frequency of 2.45 GHz. The shift of the isoelectric point to the acidic side has been established. In the conducted tests, the positive charge in the electrostatic balance of macromolecules decreases and a reduced (pH = 3.2) value of IETB is observed. The mechanism of the observed phenomenon is proposed, the practical significance of the found technique for the production of whole milk products with an extended shelf life is determined.

Keywords: proteins, isoelectric point, casein, fullerene, microwaves, practical significance

Введение

Особой формой существования химических соединений является полимерное состояние веществ. При этом они качественно отличаются от низкомолекулярных веществ в физико-химических проявлениях.

Главное место среди них занимают органические полимеры, у которых основная цепь молекул построена из четырех элементов (углерода, азота, кислорода, водорода). Ассортимент полимерных продуктов постоянно расширяется. Они по объему производства и потреблению значительно опережают производство и потребление

важных промышленных материалов – металлов и неорганических полимеров [1–3].

При этом основным требованием современной техники является разработка «умных» материалов, способных оперативно изменять комплекс физико-химических и технологических свойств полимеров при различных условиях их существования [4].

Главными полимерами среди органических веществ являются белки – незаменимые компоненты живой материи, относящиеся к классу полиэлектролитов. Они обладают особой сложностью строения и значительными размерами

Для цитирования

Устинова Ю.В., Бородулин Д.М.. Электрофизическое воздействие на белковое сырье // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 113–118. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-113-118

For citation

Ustinova Yu.V., Borodulin D.M.. Electrophysical effect on protein raw materials. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 113–118. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-113-118

своих макромолекул, а также высокой мобильностью при изменении внешних условий. Это облегчает создание органических веществ с новыми свойствами [5].

Характеристика казеина. Казеин (лат. caseus – сыр) – сложный белок (фосфопротеид), образующийся из предшественника казеина – казеиногена при створаживании молока. Его содержание в коровьем молоке составляет 75–87% от суммы всех белков (2,8–3,5%) [6]. Основное преимущество данного белка – мощный аминокислотный состав. В состав казеина с химической формулой $C_{81}H_{125}N_{22}O_{39}P$ и молекулярной массой 24000 а.е.м., входят 8 важных для человека аминокислот [7].

Элементарный состав казеина (в%): углерод – 53,1; водород – 7,1; кислород – 22,8; азот – 15,4; сера – 0,8; фосфор – 0,8. Он широко используется в различных областях жизни. Казеин хорошо известен не только, как спортивная добавка к питанию спортсменов. Его активно применяют в медицинской практике [8]. Белки как полипептиды чувствительны к концентрации ионов водорода (рисунок 1).

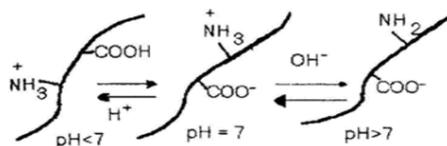


Рисунок 1. Влияние pH среды на структуру макромолекул белка

Figure 1. The effect of the pH of the medium on the structure of protein macromolecules

Из рисунка 1 следует: при $pH < 7$ на макромолекуле казеина имеются положительно заряженные аминокислотные группы (NH_3^+); при $pH = 7$ на макромолекуле белка одновременно находятся положительные (NH_3^+) и отрицательные (COO^-) группы; при $pH > 7$ имеются только отрицательные группы (COO^-). Важным физико-химическим и технологическим свойством казеина и всех белковых соединений является изоэлектрическое состояние белка – наличие изоэлектрической точки белка (ИЭТБ). При этом состоянии (определенное значение pH) число отрицательных зарядов равно числу положительных, а pH определяют по известной формуле Михаэлиса [9]: $pH = (pK_k + pK_o) / 2$, где pK_k ; pK_o – это константы диссоциации белков по типу кислоты и основания соответственно.

Управление величиной ИЭТБ имеет важное практическое значение, т. к. она определяет многие физико-химические свойства белков: минимум вязкости и набухания, наименьшее осмотическое давление, максимальная скорость застудивания, способность связывать воду и др. [10–11].

Использование фуллерена. К наноматериалам, производимых из природного материала – шунгита и востребованных на практике, относятся нанокремниевые продукты – фуллерены разного строения (рисунок 2) [12].

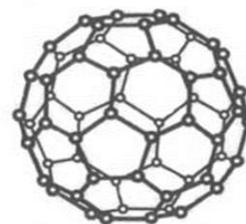


Рисунок 2. Схема структуры фуллерена C_{60}

Figure 2. Diagram of the C_{60} fullerene structure

Из рисунка 2 следует, что молекула углерода имеет замкнутую структуру, сочлененную из пятиугольников и шестиугольников. Это сложная сопряженная электрофильная структура, имеющая чередующиеся одинарные и двойные связи. Они могут при контакте с водой резко менять ее свойства. Его чистые образцы получают лазерным воздействием на графит [13–15].

Микроволны. Микроволны (МВ) имеют частотный диапазон электромагнитного излучения, расположенный в спектре между ультрафиолетовыми телевизионными частотами и частотами дальней инфракрасной области. Этот частотный диапазон соответствует длинам волн от 30 см до 1 мм, поэтому его называют так же диапазоном дециметровых или сантиметровых волн. Поглощение электромагнитного поля водой в зависимости от частоты МВ представлено на рисунке 3 [16–18].

В настоящее время МВ – обработка применяется в качестве стимулирующего фактора, направленного на интенсификацию технологических процессов и повышение пищевой ценности сырья, полуфабрикатов и готовой продукции [19–23].

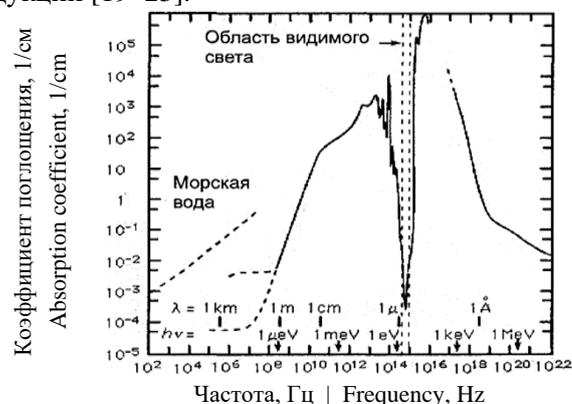


Рисунок 3. Поглощение электромагнитного поля водой в зависимости от частоты МВ

Figure 3. Absorption of the electromagnetic field by water depending on the frequency of MV

Цель работы – управление изоэлектрическим состоянием белков на примере казеина за счет его взаимодействия с водой, содержащей примеси современного наноматериала – фуллерена, и с водой, предварительно обработанной микроволнами.

Материалы и методы

Объектами исследования являются: 1 – определение влияния фуллерена на ИЭТБ; 2-определение влияния микроволн на ИЭТБ.

Экспериментальные исследования проводили двумя способами: 1 – в качестве основного экспериментального приема выбран контакт дистиллированной воды с шунгитом (произведен по ТУ 1916–002–55154581–2009), содержащем наноматериал – фуллерен C₆₀). Настаивание воды на шунгите проводили в течение 3-х суток; 2- использование воды, предварительно обработанной микроволнами с частотой 2.45 ГГц в течении 3 сек. Определение ИЭТБ казеина проведено фотометрически и визуально по стандартной методике, описанной в различных источниках [23]. Определение pH раствора с помощью pH-метра ЭВ-74.

Результаты и обсуждение

Подготовка воды с фуллереном. В результате контакта образуется гидратированный фуллерен C₆₀ – C₆₀ HyFn – это прочный, гидрофильный высокомолекулярный комплекс с размером 1,6–1,8 нм. В настоящее время, максимальная концентрация C₆₀, в виде C₆₀ HyFn, которую удалось создать в воде, эквивалентна 4 мг/мл [25].

Определение ИЭТБ казеина. Опытные растворы были приготовлены из раствора казеина (10% от объема пробы), с добавкой ацетатного буфера. Для создания pH среды в интервале 2–6,5 использованы растворы уксусной кислоты и воды с примесью фуллерена. Созревание растворов после перемешивания проходило в течение 10 минут. Для каждого раствора с помощью pH-метра определяли величину pH и визуально прозрачность. Установлено, что коагуляция казеина (ИЭТБ) наблюдалась при значении pH=5,8 (стандартное значение области ИЭТБ составляет pH=4,6–4,7) [26–28]. Этот факт указывает на связывание излишних отрицательных зарядов на макромолекуле белка примесью фуллерена по схеме на рисунке 4.

Выявлено, что отрицательные заряды на макромолекуле казеина экранируются сопряженными системами фуллерена. При этом снижается доля отрицательного заряда

в электростатическом балансе макромолекул и наблюдается повышенное значение ИЭТБ. Такое новое явление раннего осаждения белка в присутствии наноматериала – фуллерена имеет большую практическую значимость для ускоренного промышленного производства казеина и кисломолочных продуктов на его основе (творог, сыр).

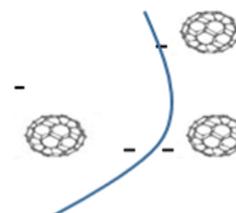


Рисунок 4. Схема взаимодействия макромолекул белков с фуллереном

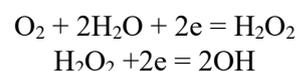
Figure 4. Diagram of the interaction of protein macromolecules with fullerene

Подготовка воды микроволнами. Микроволны (МВ) имеют частотный диапазон электромагнитного излучения, расположенный в спектре между ультравысокими телевизионными частотами и частотами дальней инфракрасной области. Этот частотный диапазон соответствует длинам волн от 30 см до 1 мм, поэтому его называют так же диапазоном дециметровых или сантиметровых волн.

При воздействии электромагнитного излучения с водой происходит накопление энергии в кластерной структуре до некоторого критического значения, затем происходит разрыв связей как между кластерами, так и других, происходит лавинообразное освобождение энергии, которая может затем трансформироваться в другие типы (рисунок 3). В случае биологических систем это может служить первичным механизмом сложных процессов. Из рисунка 3 следует, что при частоте волн $2,45 \times 10^9$ Гц наблюдается интенсивное поглощение водой энергии микроволн (эффект резонанса).

В настоящее время МВ – обработка применяется в качестве стимулирующего фактора, направленного на интенсификацию технологических процессов и изменения качества исходного сырья, полуфабрикатов и готовой продукции.

Определение ИЭТБ казеина. При обработке воды микроволнами наблюдается дополнительное растворение кислорода в воде с образованием примесей перекиси водорода с последующим ее разложением по реакциям:



Поэтому можно сделать вывод о появлении дополнительных количеств гидроксильных ионов в воде, обрабатываемой микроволнами. При этом происходит нейтрализация части положительных зарядов на макромолекуле белка по предлагаемой схеме (рисунок 5).

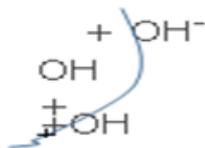


Рисунок 5. Схема взаимодействия OH – групп с молекулами белка

Figure 5. Diagram of the interaction of OH groups with protein molecules

Из рисунка 5 следует, что в проведенных испытаниях снижается положительный заряд в электростатическом балансе макромолекул и наблюдается пониженное (pH=3.2) значение ИЭТБ.

Такое новое явление позднего осаждения белка водой, обработанной МВ, имеет большую практическую значимость для промышленного производства восстановленного молока с повышенным сроком хранения без добавки консервантов.

Заключение

В результате проведенных исследований предложены альтернативные методы управления ИЭТБ при использовании современных наноматериалов и микроволновой обработки водной системы, что является основой интенсификации ряда промышленных производств.

Литература

- 1 Вихарева И.Н., Зарипов И.И., Кинзябулатова Д.Ф. и др. Биоразлагаемые полимерные материалы и модифицирующие добавки: современное состояние. Часть 1 // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2020. Т. 12. № 6. С. 320–325.
- 2 Чанг Ч.И.Д., Зенитова Л.А. Полимерный композиционный материал на основе пенополиуретана и хитина и его свойства // Вестник Технологического университета. 2021. Т. 24. № 2. С. 56–60.
- 3 Лескова С.А. Проблемы биодegradации полиолефинов на примере полиэтилена // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 40. С. 309–315.
- 4 Нгуен Ч.Н., Пыхтин А.А., Симонов-Емельянов И.Д. Дисперсные деформирующиеся частицы, расчет составов и технология получения высоконаполненных полимерных композиционных материалов // Пластические массы. 2022. № 5–6. С. 39–44.
- 5 Долинская Р.М., Прокопчук Н.Р. Использование резиновой крошки в качестве наполнителя термопластов (обзор) // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2022. № 1 (253). С. 37–44.
- 6 Худякова Н., Ступина А., Классен И. Частота встречаемости аллелей гена бета-казеина у разных пород крупного рогатого скота // Аграрный научный журнал. 2023. Р. 85–91. doi: 10.28983/asj.y2023i4pp85–91
- 7 Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Богданова Е.В., Шабалова Е.Д. Особенности получения и применения мицеллярного казеина в технологии молокоемких белковых продуктов // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 592–601.
- 8 Сенцова Т.Б., Ильенко Л.И., Казюкова Т.В. и др. Сравнительная нутрициологическая эффективность казеин-доминирующих и сывороточных смесей, используемых для вскармливания детей первого полугодия жизни // Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. 2019. Т. 98. № 4. С. 149–157.
- 9 Федоров А.А., Сочивко Д.Г., Варламов Д.А., Курочкин В.Е. Модель линейного ингибирования активности фермента в ходе полимеразной цепной реакции // Журнал технической физики. 2022. Т. 92. №. 7. С. 958–962.
- 10 Chen G.Q., Qu Y., Gras S.L., Kentish S.E. Separation technologies for whey protein fractionation // Food Engineering Reviews. 2023. V. 15. №. 3. P. 438-465. doi: 10.1007/s12393-022-09330-2
- 11 Pedrali D., Scarafoni A., Giorgi A., Lavelli V. Binary Alginate-Whey Protein Hydrogels for Antioxidant Encapsulation // Antioxidants. 2023. V. 12. №. 6. P. 1192. doi: 10.3390/antiox12061192
- 12 Miwa K., Aoyagi S., Sasamori T., Morisako S. et al. Facile Multiple Alkylations of C60 Fullerene // Molecules. 2022. V. 27. №. 2. P. 450.
- 13 Tuktarov A.R., Khuzin A.A., Dzhemilev U.M. Fullerene-containing lubricants: Achievements and prospects // Petroleum Chemistry. 2020. V. 60. P. 113-133. doi: 10.1134/S0965544120010144
- 14 Fernandes N.B., Shenoy R.U.K., Kajampady M.K., DCruz C.E. et al. Fullerenes for the treatment of cancer: an emerging tool // Environmental Science and Pollution Research. 2022. V. 29. №. 39. P. 58607-58627. doi: 10.1007/s11356-022-21449-7
- 15 Yamaguchi N., Sano H., Sawahata H., Nakano M. et al. Statistical analysis of properties of non-fullerene acceptors for organic photovoltaics // Japanese Journal of Applied Physics. 2022. V. 61. №. 3. P. 030905. doi: 10.35848/1347-4065/ac4894
- 16 Mumtaz S., Rana J.N., Choi E.H., Han I. Microwave radiation and the brain: Mechanisms, current status, and future prospects // International Journal of Molecular Sciences. 2022. V. 23. №. 16. P. 9288.
- 17 Al_Dulamey Q.K. The Development of microwave applications in medical field // Rafidain Journal of Science. 2021. V. 30. №. 2. P. 23-39.
- 18 Chan J.H., Mumtaz S., Lee S.V., Kim, D.–Y. et al. Focusing high-power microwaves with positive and negative band plates to increase the receiving power in an axial axial oscillator with a virtual cathode // Curr. Appl. Phys. 2021. V. 29. P. 89–96.
- 19 Ryan T.P. History and development of microwave thermal therapy // Principles and Technologies for Electromagnetic Energy Based Therapies. Academic Press, 2022. P. 313-347.
- 20 Mumtaz S., Rana J.N., Choi E.H., Han I. Microwave radiation and the brain: Mechanisms, current status, and future prospects // International Journal of Molecular Sciences. 2022. V. 23. №. 16. P. 9288. doi: 10.3390/ijms23169288

- 21 Балан Д.Д., Кулемин И.В. Экспериментальное исследование свойств микроволнового излучения // Шаг в науку. 2023. № 1. С. 11–16.
- 22 Авакян С.В., Баранова Л.А. Микроволновые излучения в проблеме современных вирусных заболеваний // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92. № 4. С. 372–383.
- 23 Петрова С.Ю., Хлгатян С.В., Емельянова О.Ю. и др. Современные сведения о казеинах молока // Биоорганическая химия. 2022. V. 48. № 2. С. 207–216.
- 24 Шевченко Т.В., Дубинина И.Е., Устинова Ю.В., Попов А.М. Получение цветных пищевых крахмалов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 4. С. 75–83.
- 25 Сенченкова Е.А., Боровская Л.В. Процесс коагуляции белков молока // The Scientific Heritage. 2021. № 80–3. С. 28–31.
- 26 Пат. № 2794151, RU, A23J 3/08. Способ изменения изоэлектрической точки белка с использованием активированной воды / Шевченко Т.В., Устинова Ю.В., Попов А.М. № 2021123640; Заявл. 05.08.2021; Опубл. 12.04.2023, Бюл. № 11.
- 27 Шевченко Т.В., Устинова Ю.В., Юстратов В.П., Безруков М.С. и др. Использование фуллерена при хранении и сушке яблок // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. №2. С.85-93.
- 28 Titorenko E., Ermolaeva E., Ivanov P., Ustinova Yu. Designing the technology and composition of plant extracts using reduced atmospheric pressure // Nexo Revista Científica. 2023. V. 36. № 02. P. 139–147.

References

- Vikhareva I.N., Zaripov I.I., Kinzyabulatova D.F. et al. Biodegradable polymer materials and modifying additives: current state. Part 1. Nanotechnologies in construction: scientific online journal. 2020. vol. 12. no. 6. pp. 320–325. (in Russian).
- Chang C.I.D., Zenitova L.A. Polymer composite material based on polyurethane foam and chitin and its properties. Bulletin of the Technological University. 2021. vol. 24. no. 2. pp. 56–60. (in Russian).
- Leskova S.A. Problems of biodegradation of polyolefins using the example of polyethylene. Innovations. The science. Education. 2021. no. 40. pp. 309–315. (in Russian).
- Nguyen Ch.N., Pykhtin A.A., Simonov-Emelyanov I.D. Dispersed deformable particles, calculation of compositions and technology for producing highly filled polymer composite materials. Plastic masses. 2022. no. 5–6. pp. 39–44. (in Russian).
- Dolinskaya R.M., Prokopchuk N.R. The use of crumb rubber as a filler for thermoplastics (review). Proceedings of BSTU. Series 2: Chemical technologies, biotechnology, geoecology. 2022. no. 1 (253). pp. 37–44. (in Russian).
- Khudyakova N., Stupina A., Klassen I. Frequency of occurrence of beta-casein gene alleles in different breeds of cattle. Agricultural Scientific Journal. 2023. pp. 85–91. doi: 10.28983/asj.y2023i4pp85–91 (in Russian).
- Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Bogdanova E.V., Shabalova E.D. Features of the production and use of micellar casein in the technology of milk-intensive protein products. Equipment and technology of food production. 2022. vol. 52. no. 3. pp. 592–601. (in Russian).
- Sentsova T.B., Ilyenko L.I., Kazyukova T.V. and others. Comparative nutritional effectiveness of casein-dominant and whey formulas used for feeding children in the first half of life. Pediatrics. Journal named after G.N. Speransky. 2019. vol. 98. no. 4. pp. 149–157. (in Russian).
- Fedorov A.A., Sochivko D.G., Varlamov D.A., Kurochkin V.E. Model of linear inhibition of enzyme activity during the polymerase chain reaction. Journal of Technical Physics. 2022. vol. 92. no. 7. pp. 958–962. (in Russian).
- Chen G.Q., Qu Y., Gras S.L., Kentish S.E. Separation technologies for whey protein fractionation. Food Engineering Reviews. 2023. vol. 15. no. 3. pp. 438–465. doi: 10.1007/s12393–022–09330–2
- Pedrali D., Scarafoni A., Giorgi A., Lavelli V. Binary Alginate-Whey Protein Hydrogels for Antioxidant Encapsulation. Antioxidants. 2023. vol. 12. no. 6. pp. 1192. doi: 10.3390/antiox12061192
- Miwa K., Aoyagi S., Sasamori T., Morisako S. et al. Facile Multiple Alkylations of C60 Fullerene. Molecules. 2022. vol. 27. no. 2. pp. 450.
- Tuktarov A.R., Khuzin A.A., Dzhemilev U.M. Fullerene-containing lubricants: Achievements and prospects. Petroleum Chemistry. 2020. vol. 60. pp. 113–133. doi: 10.1134/S0965544120010144
- Fernandes N.B., Shenoy R.U.K., Kajampady M.K., DCruz C.E. et al. Fullerenes for the treatment of cancer: an emerging tool. Environmental Science and Pollution Research. 2022. vol. 29. no. 39. p. 58607–58627. doi: 10.1007/s11356-022-21449-7
- Yamaguchi N., Sano H., Sawahata H., Nakano M. et al. Statistical analysis of properties of non-fullerene acceptors for organic photovoltaics. Japanese Journal of Applied Physics. 2022. vol. 61. no. 3. pp. 030905. doi: 10.35848/1347-4065/ac4894
- Mumtaz S., Rana J.N., Choi E.H., Han I. Microwave radiation and the brain: Mechanisms, current status, and future prospects. International Journal of Molecular Sciences. 2022. vol. 23. no. 16. pp. 9288.
- Al_Dulamey Q.K. The Development of microwave applications in medical field. Rafidain Journal of Science. 2021. vol. 30. no. 2. pp. 23–39.
- Chan J.H., Mumtaz S., Lee S.V., Kim, D.–Y. et al. Focusing high-power microwaves with positive and negative band plates to increase the receiving power in an axial axial oscillator with a virtual cathode. Curr. Appl. Phys. 2021. vol. 29. pp. 89–96.
- Ryan T.P. History and development of microwave thermal therapy. Principles and Technologies for Electromagnetic Energy Based Therapies. Academic Press, 2022. pp. 313–347.
- Mumtaz S., Rana J.N., Choi E.H., Han I. Microwave radiation and the brain: Mechanisms, current status, and future prospects. International Journal of Molecular Sciences. 2022. vol. 23. no. 16. pp. 9288. doi: 10.3390/ijms23169288
- Balan D.D., Kulemin I.V. Experimental study of the properties of microwave radiation. Step into science. 2023. no. 1. pp. 11–16. (in Russian).
- Avakyan S.V., Baranova L.A. Microwave radiation in the problem of modern viral diseases. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2022. vol. 92. no. 4. pp. 372–383. (in Russian).

23 Petrova S.Yu., Khlgatyan S.V., Emelyanova O.Yu. et al. Modern information about milk caseins. Bioorganic chemistry. 2022. vol. 48. no. 2. pp. 207–216. (in Russian).

24 Shevchenko T.V., Dubinina I.E., Ustinova Yu.V., Popov A.M. Production of colored food starches. Storage and processing of agricultural raw materials. 2018. no. 4. pp. 75–83. (in Russian).

25 Senchenkova E.A., Borovskaya L.V. The process of coagulation of milk proteins. The Scientific Heritage. 2021. no. 80–3. pp. 28–31. (in Russian).

26 Shevchenko T.V., Ustinova Yu.V., Popov A.M. Method for changing the isoelectric point of a protein using activated water. Patent RF, no. 2794151, 2023.

27 Shevchenko T.V., Ustinova Yu.V., Yustratov V.P., Bezrukov M.S. and others. Use of fullerene during storage and drying of apples. Storage and processing of agricultural raw materials. 2020. no. 2. pp. 85-93. (in Russian).

28 Titorenko E., Ermolaeva E., Ivanov P., Ustinova Yu. Designing the technology and composition of plant extracts using reduced atmospheric pressure. Nexo Revista Científica. 2023. vol. 36. no. 02. pp. 139–147.

Сведения об авторах

Юлия В. Устинова к.т.н., доцент, кафедра технологии хранения и переработки продуктов животноводства, Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 1274346 Россия, yul48888048@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1649-889X>

Дмитрий М. Бородулин д.т.н., профессор, кафедра технологии хранения и переработки продуктов животноводства, Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, г. Москва, 1274346 Россия, borodulin@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Yulia V. Ustinova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of storage and processing of animal products department, Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, st. Timiryazevskaya, 4, Moscow, 127434, Russia, yul48888048@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1649-889X>

Dmitry M. Borodulin Dr. Sci. (Eng.), professor, technology of storage and processing of animal products department, Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, st. Timiryazevskaya, 4, Moscow, 127434, Russia, borodulin@rgau-msha.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3035-0354>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 09/04/2024	После редакции 30/04/2024	Принята в печать 21/05/2024
Received 09/04/2024	Accepted in revised 30/04/2024	Accepted 21/05/2024

Применение виртуальных тренажеров в процессах электродиализного разделения промышленных растворов

Константин В. Шестаков ¹	kostyanshestakov@mail.ru	 0000-0003-0746-5161
Сергей И. Лазарев ¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	 0000-0002-3429-1139
Ольга В. Долгова ¹	o.v.dolgova@mail.ru	 0009-0000-9588-4897
Константин К. Полянский ²	kaf-kit@vfreu.ru	 0000-0002-8817-1466

¹ Тамбовский государственный технический университет, ул. Советская, 106, г. Тамбов, 392000, Россия

² Воронежский филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394030, Россия

Аннотация. Электродиализное разделение все чаще используется в промышленном производстве. Внедряются новые технологические процессы, виды оборудования, составные части аппаратов. Подобные работы дорогостоящи, трудоемки и требуют отработки. Ошибки в процессе эксплуатации нового оборудования, при разделении смесей могут привести к аварийным ситуациям, выходу из строя узлов аппаратов или полной остановке производства. Поэтому для имитации новых технологических процессов, отработки оборудования и обучения персонала предлагается использовать моделирование и виртуальные тренажеры. Виртуальные тренажеры предоставляют возможность отработать основные параметры технологического процесса электродиализного разделения, оценить характер процессов, протекающих в аппарате, и эффективность внедрения новых технологий без нагрузки на оборудование и персонал. Разработанный виртуальный тренажер имитирует работу промышленной электродиализной установки. Применение тренажера позволяет в реальном времени моделировать технологический процесс, изменять основные параметры работы аппаратов, устанавливать входные и выходные характеристики растворов, оценивать эффективность работы электродиализного оборудования, отрабатывать последовательность действий при возникновении внештатных ситуаций. Используется интуитивно понятный интерфейс, реализована возможность на любом этапе обучения получить развернутую справочную информацию. Разработанный виртуальный тренажер предназначен для обучения студентов, проверки знаний и повышения квалификации сотрудников. Предложенную обучающую программу в виде сценариев можно адаптировать к требуемой скорости усвоения информации и уровню понимания материала. Разработанная программа может быть применена для оценки возможных неисправностей производственного оборудования, причин возникновения внештатных ситуаций в процессе эксплуатации и при разработке подходов к их устранению.

Ключевые слова: мембранные технологии, электродиализ, виртуальный тренажер, обучение, электродиализное оборудование.

Application of virtual simulators in the processes of electrodiagnosis separation of industrial solutions

Konstantin V. Shestakov ¹	kostyanshestakov@mail.ru	 0000-0003-0746-5161
Sergey I. Lazarev ¹	sergey.lazarev.1962@mail.ru	 0000-0002-3429-1139
Olga V. Dolgova ¹	o.v.dolgova@mail.ru	 0009-0000-9588-4897
Konstantin K. Polyansky ²	kaf-kit@vfreu.ru	 0000-0002-8817-1466

¹ Tambov State Technical University, Sovetsray Str., 106, Tambov, 392000, Russia

² Voronezh branch of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov, Karl Marx, 67A, Voronezh, 394030, Russia

Abstract. Electrodiagnosis separation is increasingly used in industrial production. New technological processes, types of equipment, and components of devices are being introduced. Such work is expensive, time-consuming and requires working out. Errors in the operation of new equipment, when separating mixtures, can lead to emergencies, failure of device components or a complete shutdown of production. Therefore, it is proposed to use simulation and virtual simulators to simulate new technological processes, test equipment and train personnel. Virtual simulators provide an opportunity to work out the main parameters of the electrodiagnosis separation process, assess the nature of the processes taking place in the device, and the effectiveness of introducing new technologies without loading equipment and personnel. The developed virtual simulator simulates the operation of an industrial electrodiagnosis unit. The use of the simulator allows you to simulate the technological process in real time, change the basic parameters of the devices, set the input and output characteristics of solutions, evaluate the efficiency of electrodiagnosis equipment, work out a sequence of actions in case of emergency situations. An intuitive interface is used, and it is possible to obtain detailed background information at any stage of training. The developed virtual simulator is designed to train students, test knowledge and improve the qualifications of employees. The proposed training program in the form of scenarios can be adapted to the required speed of assimilation of information and the level of understanding of the material. The developed program can be used to assess possible malfunctions of production equipment, the causes of emergency situations during operation and when developing approaches to their elimination.

Keywords: membrane technologies, electrodiagnosis, virtual simulator, training, electrodiagnosis equipment.

Для цитирования

Шестаков К.В., Лазарев С.И., Долгова О.В., Полянский К.К. Применение виртуальных тренажеров в процессах электродиализного разделения промышленных растворов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 119–125. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-119-125

For citation

Shestakov K.V., Lazarev S.I., Dolgova O.V., Polyansky K.K. Application of virtual simulators in the processes of electrodiagnosis separation of industrial solutions. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 119–125. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-119-125

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Применение виртуальных тренажеров в области мембранных технологий в последнее время все чаще вызывает интерес, как среди исследователей, так и на промышленных предприятиях [1–4]. Тренажеры позволяют студентам и специалистам ознакомиться с практическими аспектами управления и эксплуатации электрохимических мембранных установок без необходимости непосредственного взаимодействия с реальным промышленным оборудованием. Рассмотрим некоторые преимущества их применения.

Одним из главных преимуществ тренажеров является возможность сократить временные и финансовые затраты, связанные с созданием и обслуживанием реальных мембранных установок [5–7]. Разработка и использование тренажеров не требует значительных вложений в закупку дорогостоящего оборудования и проведение капитальных работ.

При работе с материальными мембранными установками существует риск возникновения нештатных ситуаций, которые могут привести к опасным последствиям – авариям, травмам персонала, повреждению и долговременному простоему оборудования в процессе ремонта. Виртуальные тренажеры, в свою очередь, обеспечивают безопасность обучения и исследований [8–10] без необходимости доступа к фактическому оборудованию.

Виртуальные тренажеры обладают гибкостью и возможностью индивидуализации обучения, позволяют пользователям осваивать различные аспекты управления мембранными установками в своем собственном темпе, повторять задания и эксперименты, а также получать мгновенную обратную связь и советы от виртуальных инструкторов [11–13]. Все это способствует более эффективному усвоению материала и повышению уровня профессиональной подготовки.

Важным преимуществом является возможность моделирования различных параметров работы мембранных установок и исследования их воздействия на производительность и эффективность электродиализной установки. В процессе имитации можно изменять расход субстрата, температура, давление и время. Подобные исследования позволяют сократить время и сберечь ресурсы, при определении оптимальных условий работы мембранных установок [14–15].

В настоящее время существует несколько видов виртуальных тренажеров – симуляторы, виртуальные лаборатории и виртуальные тренировочные площадки [16–19].

Тренажеры-симуляторы в области мембранных технологий представляют собой виртуальные

модели мембранных установок и разрабатываются в виде программ. Они позволяют пользователям проводить виртуальные эксперименты, взаимодействовать с компонентами установки и наблюдать результаты своих действий. В симуляторах можно моделировать различные условия работы, менять параметры процесса и изучать их воздействие на эффективность и производительность системы. Наиболее продвинутые тренажеры могут имитировать не только физические процессы, но и условия взаимодействия с операторами и анализ данных. Данный вид симуляторов предназначен для профессиональной подготовки и повышения квалификации специалистов в мембранных технологиях.

Более сложную организацию имеют виртуальные лаборатории. Тренажеры данного вида относятся к интерактивным платформам, предоставляющими доступ к виртуальной лабораторной среде, в которой пользователи могут проводить эксперименты с мембранными установками. Виртуальные лаборатории позволяют взаимодействовать с оборудованием и наблюдать результаты своих действий в режиме реального времени [20].

Виртуальные тренировочные площадки являются наиболее крупными программными комплексами среди виртуальных тренажеров. Это комплексные системы, которые объединяют в себе симуляторы и виртуальные лаборатории, предоставляют обучающие материалы, инструкции и руководства. С помощью данных систем пользователь полностью погружается в управление и эксплуатацию мембранных установок, имитируя реальные условия работы и решая сложные задачи, которые могут возникнуть в процессе промышленного использования мембранных установок.

Рассмотренные виды виртуальных тренажеров предоставляют возможность изучать и экспериментировать с мембранными установками, эффективно обучаться и на практике применять полученные знания. Количество доступных тренажеров, моделирующих процессы в электродиализных аппаратах, на данный момент недостаточно, имеющиеся модели не всегда отвечают современным требованиям в области мембранных технологий.

Цель работы – разработка виртуального тренажера, имитирующего работу промышленной электродиализной установки, позволяющего закрепить теоретические знания и получить практические навыки по работе с реальным очистным оборудованием. Тренажер должен соответствовать современным требованиям, предъявляемым к электродиализному оборудованию.

Материалы и методы

В основу разработанного виртуального тренажера легла электродиализная установка, схема которой представлена на рисунок 1. Установка предназначена для разделения электропроводных растворов химических производств. Обеспечивает высокую степень разделения, отличается низким энергопотреблением, не требует введения дополнительных реагентов в процессе эксплуатации.

Данная установка включает в себя четыре отдельные линии для прокачки через них растворов. Сначала необходимые исходные растворы

заливают в емкости для католита 1, дилоата 2, концентрата 3 и анолита 4. В электродиализную ячейку 7 растворы из соответствующих емкостей подаются с помощью мембранных пневматических насосов 5 марки AFL, насосы работают в результате подачи на них сжатого воздуха от компрессора 6. Для контроля и регулирования интенсивности циркуляции растворов по линиям используются клапаны 8, расходомеры 9 и манометры 10. Через выпускные краны 13 осуществляется слив отработанных растворов. Краны 12 используются для отбора проб.

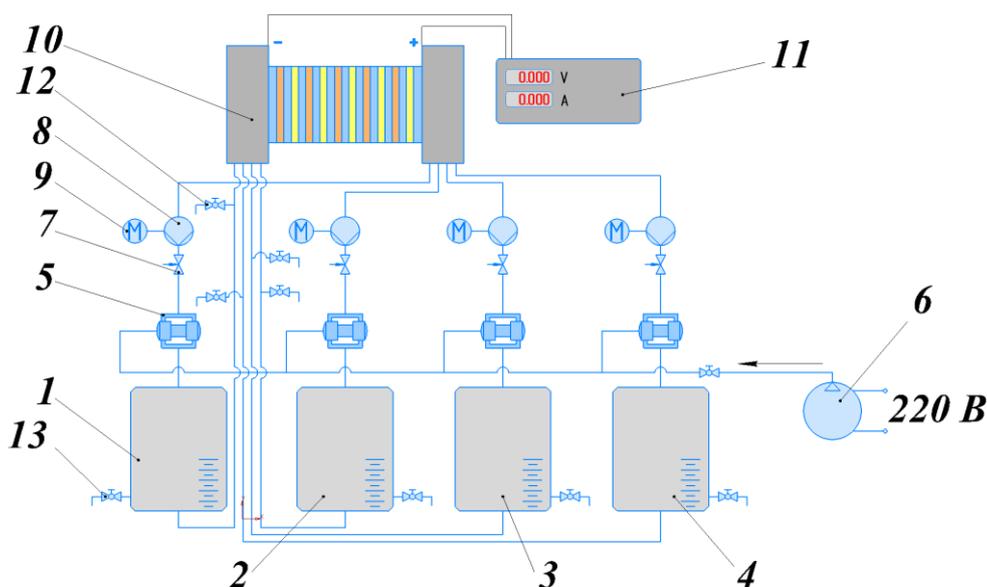


Рисунок 1. Электродиализная установка: 1, 2, 3 и 4 – емкости для католита, дилоата, концентрата и анолита соответственно; 5 – пневматический мембранный насос; 6 – компрессор; 7 – контрольный клапан; 8 – расходомер; 9 – манометр; 10 – разделительная мембранная ячейка; 11 – источник питания; 12 – выпускной кран для сбора; 13 – выпускной кран для слива [1]

Figure 1. Electrodiolysis unit: 1, 2, 3 and 4 – containers for catholyte, dilute, concentrate and anolyte, respectively; 5 – pneumatic diaphragm pump; 6 – compressor; 7 – control valve; 8 – flow meter; 9 – pressure gauge; 10 – separation membrane cell; 11 – power supply; 12 – outlet faucet for collecting; 13 – outlet faucet for draining

Результаты и обсуждение

Графический интерфейс, доступный обучающимся при работе с виртуальным тренажером, представленный на рисунке 2, содержит параметры, характеризующие работу электродиализной установки в данный момент времени. На главном экране воспроизводятся показания манометров и расходомеров, характеристики тока, положение задвижек кранов, количество жидкости в емкостях и ее температура. Данные отображаются с целью обеспечения оператора всей необходимой информацией для принятия решений в реальном времени и бесперебойной работы системы.

Панель управления разработанного виртуального тренажера (рисунок 3) позволяет организовывать работу электродиализной установки, изменяя функциональные параметры. Оператору

доступно включение и выключение насосов или всей установки, в том числе экстренное, изменение расхода растворов, подача и сброс рабочих растворов для управления процессом подачи и сброса рабочих растворов, подача воды для охлаждения емкостей с рабочими растворами.

Одной из особенностей разработанного виртуального тренажера является возможность отработки действий в аварийных ситуациях (рисунок 3). Для этого в тренажере есть возможность выбора предварительно загруженных сценариев аварийных ситуаций или загрузки собственноручно разработанных. Например, возможен выход из строя одного из насосов установки. Обучающемуся в этом случае необходимо проанализировать аварийную ситуацию, локализовав возникшую неисправность и определив ее причины, а также выполнить ряд мероприятий по устранению неисправности.

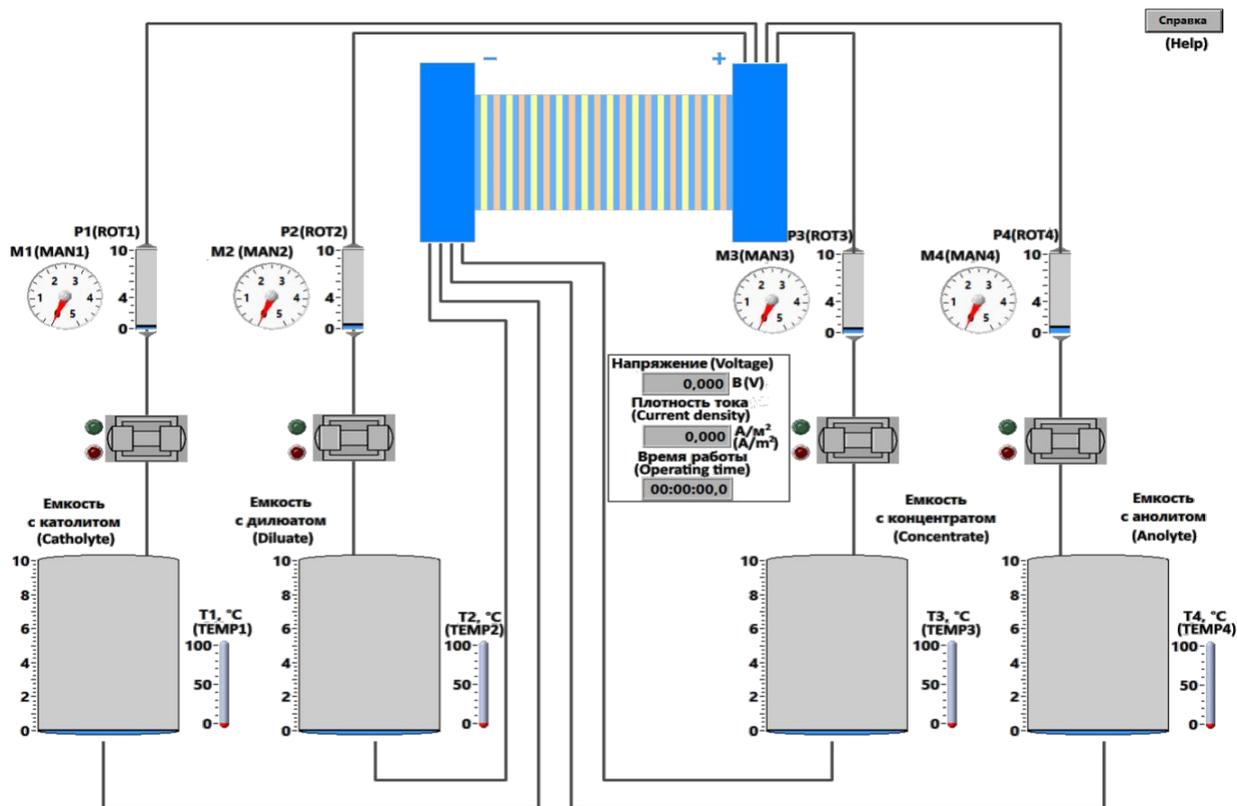


Рисунок 2. Визуальная панель виртуального тренажера в выключенном состоянии

Figure 2. The visual panel of the virtual simulator is turned off

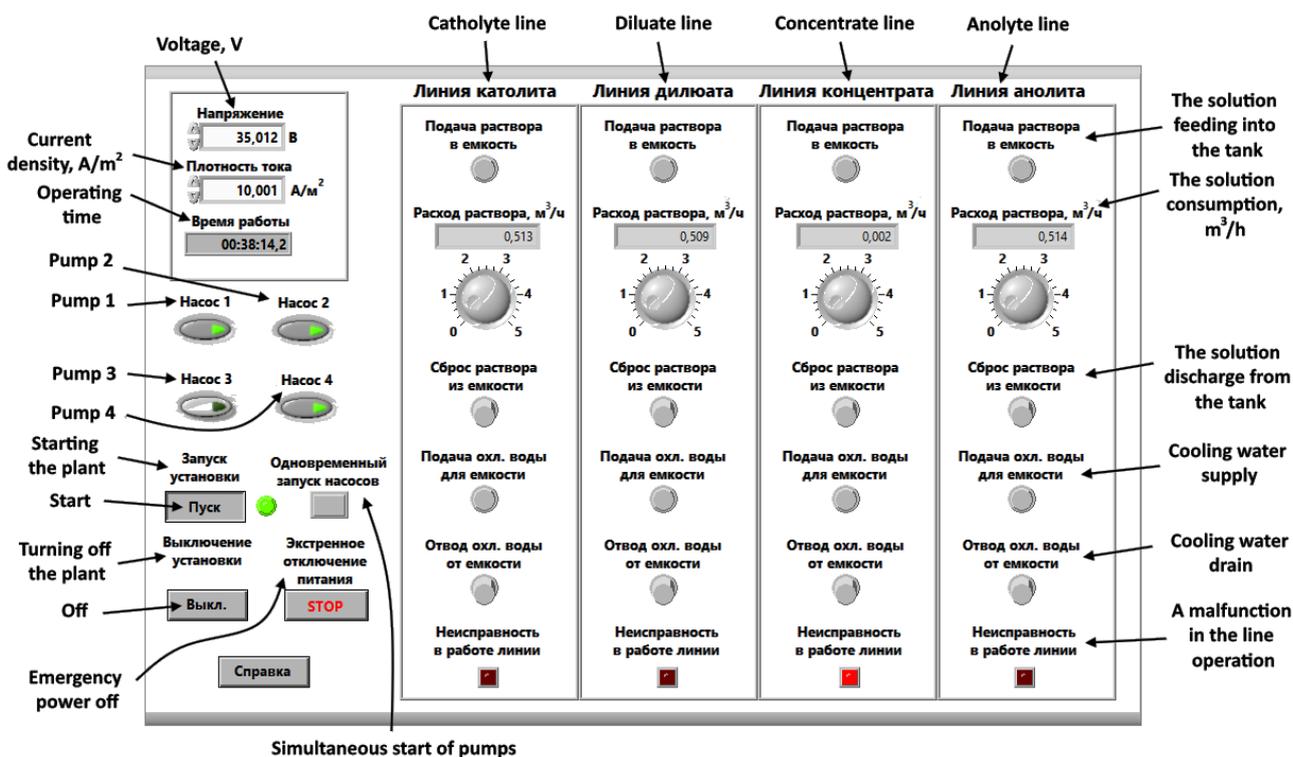


Рисунок 3. Вид панели управления в момент возникновения неисправности в работе линии концентрата, запрограммированной в сценарии

Figure 3. View of the control panel at the time of a malfunction in the operation of the concentrate line programmed in the scenario

На панелях виртуального тренажера присутствует кнопка «Справка», позволяющая в процессе обучения задавать вопросы, получать обратную связь и руководство от системы. При нажатии на нее откроется дополнительная панель (рисунок 4). В всплывающем окне отображается текстовая и графическая информация, подробное руководство по управлению и применению виртуального тренажера. Можно ознакомиться с теоретическим материалом по электродиализному разделению, включающим

описание происходящих базовых явлений и процессов, типовых конструкций электродиализаторов и области их применения.

Обучающую программу в виде сценариев можно адаптировать к требуемой скорости усвоения информации и уровню понимания материала, включая моменты оценки уровня знаний, склонностей и индивидуальных потребностей через процесс адаптации и дифференциации обучения.

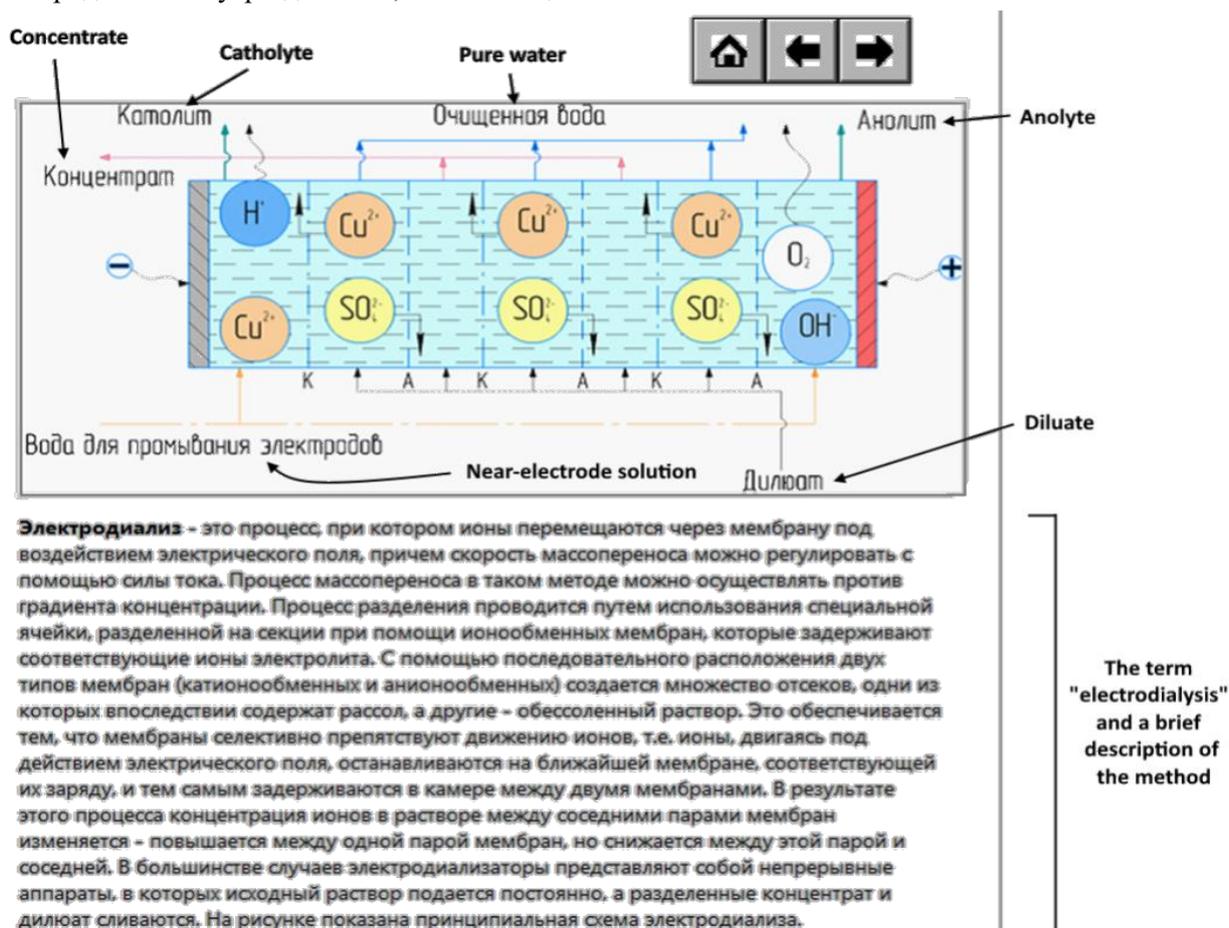


Рисунок 4. Одна из страниц справочной панели

Figure 4. One of the help panel pages

Заключение

Разработан виртуальный тренажер, имитирующий работу промышленной электродиализной установки. Тренажер предназначен для обучения студентов, повышения квалификации специалистов, проведения исследований. Программа позволяет моделировать не только штатную работу электродиализной установки, но и аварийные ситуации.

Представленный подход к обучению приобретает особую важность для пользователей виртуального тренажера, поскольку позволяет им приобрести фундаментальные знания и

выработать навыки без необходимости доступа к фактическому оборудованию. В результате они могут ознакомиться со сложными процессами управления установкой и приобрести опыт, который может быть полезен в контексте реального применения знаний в области электрохимических технологий.

Благодарность

Выполнено в рамках проведения исследований по государственному заданию, проект № FEMU-2024-0011 и при поддержке гранта Тамбовской области для молодых учёных № МУ2023/02-17

Литература

- 1 Шестаков К.В., Лазарев С.И., Хорохорина И.В., Лазарев Д.С. Возможности применения мембранных методов в процессе очистки промышленных сточных вод производства печатных плат // Вестник российских университетов. Математика. 2016. Т. 21. № 1. С. 290-296.
- 2 Малыгин А.В., Емельянов И.И., Семин Р.В. и др. Разработка расчетного модуля мембранного процесса разделения для универсальных моделирующих программ химико-технологических процессов // Математические методы в технологиях и технике. 2023. № 9. С. 13-16. doi 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_9_13
- 3 Павлов В.А., Литвиненко М.А., Головина Е.С., Коровин А.И. Перспективы применения виртуальных тренажеров на опасных производствах // Нефтяное хозяйство. 2020. № 11. С. 70–72. doi: 10.24887/0028–2448–2020–11–70–72
- 4 Макиша Н.А. Оценочный расчет применения мембранного биореактора на очистных сооружениях // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 9. С. 68-74.
- 5 Астрашабов А.Е., Румянцев М.В., Пиков Н.О., Санин А.Ю. и др. Разработка тренажёра виртуальной реальности получения практических навыков ремонта и разбора фонтанной арматуры // Журнал Сибирского федерального университета. Гуманитарные науки. 2023. Т. 16. № 3. С. 481–493.
- 6 Asadi A., Harandi H.B., Kang B., Jung J.C.Y. et al. A comprehensive computational fluid dynamics modeling of lithium sulphate electro dialysis // Journal of the Electrochemical Society. 2023. V. 170. № 9. P. 093502. doi: 10.1149/1945–7111/acf529
- 7 Алексеева А.В., Лапшина И.В. Виртуальная реальность в мире образования и обучения // Гуманитарные и социальные науки. 2024. Т. 102. № 1. С. 123-128.
- 8 Индейкина В.А., Шишканова К.И., Никитин Е.В., Гайдамавичюте В.В. и др. Трёхмерная визуализация процесса переработки опасных промышленных отходов // Успехи в химии и химической технологии. 2023. Т. 37. № 4 (266). С. 74-76.
- 9 Kumar V.V. Carberry D., Beenfeldt C., Andersson M.P. et al. Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training // Education for Chemical Engineers. 2021. V. 36. P. 143–153. doi: 10.1016/j.ece.2021.05.002.
- 10 Vergara D., Extremera J., Rubio M.P., Dávila L.P. et al. Meaningful learning through virtual reality learning environments: A case study in materials engineering // Applied Sciences. 2019. V. 9. № 21. P. 4625. doi: 10.3390/app9214625
- 11 Дозорцев В.М. Новые вызовы промышленной безопасности – помогут ли компьютерные тренажеры? // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 9. С. 31–38. doi: 10.24000/0409–2961–2019–9–31–38
- 12 Kumar V.V. Carberry D., Beenfeldt C., Andersson M.P. et al. Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training // Education for Chemical Engineers. 2021. V. 36. P. 143–153. doi: 10.1016/j.ece.2021.05.002
- 13 Крылова Т.В., Скачкова Е.Г., Тихонова Н.А. Интеграция цифрового образования: потенциал и негативные аспекты // Russian Journal of Education and Psychology. 2023. Т. 14. № 3-2. С. 91–98.
- 14 Xu Y., Sun Y., Ma Z., Wang R. et al. Response surface modeling and optimization of electro dialysis for reclamation of RO concentrates in coal-fired power plants // Separation Science and Technology. 2020. V. 55. № 14. P. 2593–2603.
- 15 Tristán C., Fallanza M., Grossmann I., Ortiz I. et al. Generalized Disjunctive Programming Model for Optimization of Reverse Electrodialysis Process // IFAC-PapersOnLine. 2022. V. 55. № 31. P. 154–159.
- 16 Асадов Ф.М. Передовые технологии профессионального обучения. Тренажеры-симуляторы горного оборудования // Горная промышленность. 2021. № 2. С. 54–58.
- 17 Никулина Ю.С., Ткаченко А.Л., Федорова В.А. Виртуальные лаборатории как информационный продукт // Информационные технологии. Проблемы и решения. 2022. № 1 (18). С. 38-42.
- 18 Баранов А.В. Экспериментирование и моделирование в виртуальных лабораториях физики // Электронные средства и системы управления: материалы докладов Международной научно-практической конференции. 2021. № 1–2. С. 179–181.
- 19 Шаханова М.В., Забелина В.Д., Шаханова В.С. Применение имитационных виртуальных тренажеров в процессе профессионального обучения // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2023. № 12 (38). С. 108-111.
- 20 Kamińska D.D., Sapiński T., Wiak S., Tikk T. et al. Virtual reality and its applications in education: Survey // Information. 2019. V. 10. № 10. P. 318. doi: 10.3390/info10100318

References

- 1 Shestakov K.V., Lazarev S.I., Khorokhorina I.V., Lazarev D.S. Possibilities of using membrane methods in the process of purifying industrial wastewater from the production of printed circuit boards. Bulletin of Russian Universities. Mathematics. 2016. vol. 21. no. 1. pp. 290-296. (in Russian).
- 2 Malygin A.V., Emel'yanov I.I., Semin R.V. et al. Development of a computational module of the membrane separation process for universal modeling programs of chemical and technological processes. Mathematical methods in technology and engineering. 2023. no 9. pp. 13-16. doi 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_9_13 (in Russian).
- 3 Pavlov V.A., Litvinenko M.A., Golovina E.S., Korovin A.I. Prospects for the use of virtual simulators in hazardous industries. Oil industry. 2020. no. 11. pp. 70–72. doi: 10.24887/0028–2448–2020–11–70–72. (in Russian).
- 4 Makisha N.A. An estimated calculation of the use of a membrane bioreactor in wastewater treatment plants. Industrial and civil engineering. 2023. no.9. pp. 68–74. (in Russian).
- 5 Astrashabov A.E., Rumyantsev M.V., Pikov N.O., Sanin A. Yu. et al. Development of a virtual reality simulator for obtaining practical skills in repairing and disassembling fountain fittings. Journal of the Siberian Federal University. Humanities. 2023. vol. 16. no. 3. pp. 481–493. (in Russian).

- 6 Asadi A., Harandi H.B., Kang B., Jung J.C.Y. et al. A comprehensive computational fluid dynamics modeling of lithium sulphate electro dialysis. *Journal of the Electrochemical Society*. 2023. vol. 170. no. 9. pp. 093502. doi: 10.1149/1945-7111/acf529
- 7 Alekseeva A.V., Lapshina I.V. Virtual reality in the world of education and training. *Humanities and Social Sciences*. 2024. vol. 102. no. 1. pp. 123-128. (in Russian).
- 8 Indejkina V.A., Shishkanova K.I., Nikitin E.V., Gajdamavichyute V.V. et al. Three-dimensional visualization of the process of processing hazardous industrial waste. *Advances in chemistry and chemical technology*. 2023. vol. 37. no. 4 (266). pp. 74-76. (in Russian).
- 9 Kumar V.V. Carberry D., Beenfeldt C., Andersson M.P. et al. Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training. *Education for Chemical Engineers*. 2021. vol. 36. pp. 143–153. doi: 10.1016/j.ece.2021.05.002
- 10 Vergara D., Extremera J., Rubio M.P., Dávila L.P. et al. Meaningful learning through virtual reality learning environments: A case study in materials engineering. *Applied Sciences*. 2019. vol. 9. no. 21. pp. 4625. doi: 10.3390/app9214625.
- 11 Dozortsev V.M. New challenges of industrial safety – will computer simulators help? *Occupational safety in industry*. 2019. no. 9. pp. 31–38. doi: 10.24000/0409-2961-2019-9-31-38 (in Russian).
- 12 Kumar V.V. Carberry D., Beenfeldt C., Andersson M.P. et al. Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training. *Education for Chemical Engineers*. 2021. vol. 36. pp. 143–153. doi: 10.1016/j.ece.2021.05.002
- 13 Krylova T.V., Skachkova E.G., Tihonova N.A. Integration of digital education: potential and negative aspects. *Russian Journal of Education and Psychology*. 2023. vol. 14. no. 3-2. pp. 91–98. (in Russian).
- 14 Xu Y., Sun Y., Ma Z., Wang R. et al. Response surface modeling and optimization of electro dialysis for reclamation of RO concentrates in coal-fired power plants. *Separation Science and Technology*. 2020. vol. 55. no. 14. pp. 2593–2603.
- 15 Tristán C., Fallanza M., Grossmann I., Ortiz I. et al. Generalized Disjunctive Programming Model for Optimization of Reverse Electro dialysis Process. *IFAC-PapersOnLine*. 2022. vol. 55. no. 31. pp. 154–159.
- 16 Asadov F.M. Advanced technologies of vocational training. *Simulators-simulators of mining equipment. Mining industry*. 2021. no. 2. pp. 54–58. (in Russian).
- 17 Nikulina Yu.S., Tkachenko A.L., Fedorova V.A. Virtual laboratories as an information product. *Information technology. Problems and solutions*. 2022. no. 1 (18). pp. 38-42. (in Russian).
- 18 Baranov A.V. Experimentation and modeling in virtual physics laboratories. *Electronic tools and control systems. Materials of the reports of the International Scientific and Practical Conference*. 2021. no. 1–2. pp. 179–181. (in Russian).
- 19 Shahanova M.V., Zabelina V.D., Shahanova V.S. The use of simulation virtual simulators in the process of professional training. *International Journal of Information Technology and Energy Efficiency*. 2023. no. 12 (38). pp. 108–111. (in Russian).
- 20 Kamińska D.D., Sapiński T., Wiak S., Tikk T. et al. Virtual reality and its applications in education: Survey. *Information*. 2019. vol. 10. no. 10. pp. 318. doi: 10.3390/info10100318

Сведения об авторах

Константин В. Шестаков д.т.н., доцент, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственных технического университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, kostyanshestakov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0746-5161>

Сергей И. Лазарев д.т.н., профессор, кафедра механики и инженерной графики, Тамбовский государственных технического университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, sergey.lazarev.1962@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3429-1139>

Ольга В. Долгова к.т.н., старший преподаватель, кафедра природопользования и защиты окружающей среды, Тамбовский государственных технического университет, Советская, 106, Тамбов, 392000, Россия, o.v.dolgova@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0000-9588-4897>

Константин К. Полянский д.т.н., профессор, кафедра коммерции и товароведения, Воронежский филиал Российского экономического университете имени Г.В. Плеханова, Карла Маркса, 67А, Воронеж, 394030, Россия, kaf-kit@vfreu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Konstantin V. Shestakov Dr. Sci. (Engin.), associate professor, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetsray Str., 106, Tambov, 392000, Russia, kostyanshestakov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0746-5161>

Sergey I. Lazarev Dr. Sci. (Engin.), professor, mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetsray Str., 106, Tambov, 392000, Russia, sergey.lazarev.1962@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3429-1139>

Olga V. Dolgova Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, nature management and environmental protection mechanics and engineering graphics department, Tambov State Technical University, Sovetsray Str., 106, Tambov, 392000, Russia, o.v.dolgova@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0000-9588-4897>

Konstantin K. Polyansky Dr. Sci. (Engin), professor, commerce and commodity science mechanics and engineering graphics department, Voronezh branch of the Russian Economic University named afte G.V. Plekhanov, Karl Marx, 67A, Voronezh, 394030, Russia, kaf-kit@vfreu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8817-1466>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/04/2024	После редакции 29/04/2024	Принята в печать 24/05/2024
Received 11/04/2024	Accepted in revised 29/04/2024	Accepted 24/05/2024

Биоэлектрокаталитическое восстановление кислорода бактериальными лакказами на электродах, модифицированных многостенными углеродными нанотрубками

Сергей В. Алферов	¹	s.v.alferov@gmail.com	 0000-0002-5217-7815
Вероника В. Федина	¹	agapovaweronica@ya.ru	 0000-0001-5831-123X
Константин А. Егоров	¹	egorov.kost@mail.ru	 0000-0003-3624-4069
Любовь И. Трубицина	²	lyubov_yurevich@mail.ru	 0000-0002-6483-945X

¹ НИЦ «БиоХимТех» ТулГУ, ул. Фридриха Энгельса, 157, г. Тула, 300012, Россия

² Институт биохимии и физиологии микроорганизмов РАН – обособленное подразделение Пушкинского научного центра биологических исследований РАН, пр-т Науки, 5, Пушкино, Московская область 142290, Россия

Аннотация. В данной работе проведено исследование электрохимического поведения биоэлектродов на основе бактериальных лакказ *Streptomyces carpinensis* VKM Ac-1300, полученных с использованием различных способов иммобилизации. Биоэлектроды формировали путем закрепления фермента на поверхности электрода простой адсорбцией, методом адсорбции на предварительно модифицированном электроде многостенными углеродными нанотрубками и путем ковалентной сшивки фермента по карбоксильным группам с функционализированными многостенными углеродными нанотрубками. Оценка ориентации иммобилизованных ферментов лакказ и их способности к прямому и медиаторному электронному переносу проводилась методом прямой амперометрии при постоянном потенциале. Установлено, что в зависимости от метода иммобилизации правильную ориентацию и, как следствие, возможность прямого переноса электронов имеет от 5 до 10% иммобилизованного фермента. При этом ковалентное пришивание белка на поверхности модифицированных нанотрубками графитовых электродов приводит к более активному прямому переносу электронов, увеличению скорости восстановления кислорода и долговременной стабильности электродов. Таким образом, для бактериальных лакказ *Streptomyces carpinensis* VKM Ac-1300 показана возможность прямого переноса электронов при их иммобилизации путем ковалентного пришивания по карбоксильным группам многостенных углеродных нанотрубок, разработанные биоэлектроды могут быть использованы в качестве катодов в биотопливных элементах.

Ключевые слова: лакказы, иммобилизация, перенос электронов, ковалентное связывание, углеродные нанотрубки.

Bioelectrocatalytic oxygen reduction by bacterial laccase on electrodes modified with multi-walled carbon nanotubes

Sergey V. Alferov	¹	s.v.alferov@gmail.com	 0000-0002-5217-7815
Veronika V. Fedina	¹	agapovaweronica@ya.ru	 0000-0001-5831-123X
Konstantin A. Egorov	¹	egorov.kost@mail.ru	 0000-0003-3624-4069
Liubov I. Trubitsina	²	lyubov_yurevich@mail.ru	 0000-0002-6483-945X

¹ Research centre "BioChemTech" Tula State University, Friedrich Engels Street 157, Tula, 300012, Russia

² Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms RAS – A Separate Subdivision of Pushchino Scientific Center for Biological Research RAS, Prospekt Nauki, 5, Pushchino, Moscow region, 142290, Russia

Abstract. In this work, the electrochemical behaviour of bioelectrodes based on bacterial laccase *Streptomyces carpinensis* VKM Ac-1300 obtained using different immobilization methods was investigated. The bioelectrodes were formed by fixing the enzyme on the electrode surface by simple adsorption, by adsorption on the modified electrode by multi-walled carbon nanotubes and by covalent bounding of the enzyme by carboxyl groups with functionalized multi-walled carbon nanotubes. The orientation of immobilized laccase enzymes and their ability to direct and mediated electron transfer were assessed by direct amperometry at constant potential. It was found that, depending on the method of immobilization, from 5 to 10% of immobilized enzyme has the correct orientation and, consequently, the ability to direct electron transfer. At the same time, covalent bounding of protein on the surface of graphite electrodes modified with nanotubes leads to a more active direct electron transfer, an increase in the rate of oxygen reduction and long-term electrode stability. Thus, for bacterial laccase *Streptomyces carpinensis* VKM Ac-1300 the possibility of direct electron transfer at their immobilization by covalent bounding with carboxyl groups of multi-walled carbon nanotubes was shown. The developed bioelectrodes can be used as cathodes in biofuel cells.

Keywords: laccases, immobilization, electron transfer, covalent binding, carbon nanotubes.

Для цитирования

Алферов С.В., Федина В.В., Егоров К.А., Трубицина Л.И. Биоэлектрокаталитическое восстановление кислорода бактериальными лакказами на электродах, модифицированных многостенными углеродными нанотрубками // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 126–131. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-126-131

For citation

Alferov S.V., Fedina V.V., Egorov K.A., Trubitsina L.I. Bioelectrocatalytic oxygen reduction by bacterial laccase on electrodes modified with multi-walled carbon nanotubes. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 126–131. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-126-131

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Ферменты лакказы (benzenediol:oxygen oxidoreductase, EC 1.10.3.2) находят практическое применение в различных отраслях промышленности: пищевой, текстильной, целлюлозно-бумажной, косметической [1, 2]. Благодаря способности быстро восстанавливать кислород лакказы применяются при создании биокатодов в биотопливных элементах [3, 4]. Ключевым моментом при разработке биокатодов топливных элементов является выбор способа иммобилизации фермента, который обеспечивал бы надежность, технологичность, воспроизводимость и стабильность получаемых характеристик. Особенностью строения активного центра лакказ является наличие T1 центра – первичного акцептора электронов, который передает электроны в медный кластер T2/T3, где происходит связывание и разрывание связей кислород-кислород. Для доставки электронов в этот каталитический центр возможны 2 механизма – опосредованный медиаторами и прямой перенос электронов (ППЭ).

Медиаторный перенос электронов предполагает использование редокс-соединений, которые облегчают перенос электронов от электрода к центру T1. Однако с практической точки зрения, отсутствие медиаторов упрощает процесс изготовления биокатодов. Прямой перенос электрона между электродом и лакказой возможен только в том случае, если фермент правильно ориентирован на поверхности электрода, т. е. активный центр T1 находится достаточно близко к электроду для осуществления прямого переноса электронов [1, 3, 4]. Для достижения оптимальной ориентации фермента при изготовлении биокатодов в БТЭ используют такие методы иммобилизации как адсорбция и ковалентное связывание. Так как метод адсорбции основан на случайном закреплении молекул белка на поверхности электрода, это может приводить к заметному снижению эффективности прямого транспорта электронов. Именно поэтому перед закреплением фермента проводят модификацию электродов с помощью наноструктурированных материалов. В частности, углеродные нанотрубки (УНТ) могут использоваться для улучшения электрохимического контакта электродов с окислительно-восстановительными центрами ферментов. УНТ могут находиться в непосредственной близости к активному центру и тем самым способствовать прямому переносу электронов между ферментом и электродом [5]. Однако наличие только УНТ бывает недостаточно, поэтому нанотрубки дополнительно модифицируются полициклическими ароматическими соединениями (ПАУ), которые являются аналогами субстрата лакказ (антрацен, антрахинон, нафталин), что способствуют правильной ориентации фермента [6, 7]. Другим подходом для иммобилизации лакказ

является ковалентное связывание белка с поверхностью электрода. Метод основан на использовании карбоксилированных или амидированных нанотрубок с последующим взаимодействием с аминами (карбоксильной) группой биомолекул и образованием амидной связи. Чтобы избежать денатурации белков используют активаторы карбоксильных групп – карбодимиды, например, 1-этил-3-(3-диметиламинопропил) карбодимид [8, 9]. Таким образом не существует универсального метода иммобилизации, а поиск и разработка оптимальных подходов являются актуальной задачей.

Цель работы – выбор метода иммобилизации бактериальных лакказ *Streptomyces carpinensis* для формирования стабильных биоэлектродов, которые потенциально могут быть использованы как биокатоды в БТЭ.

Материалы и методы

Все реактивы, использованные в работе, были квалификации ХЧ и ЧДА и приобретены в Sigma-Aldrich.

Адсорбция лакказы на графитовом электроде. Грифели («STABILO», НВ, 2 мм) очищали мелкодисперсной наждачной бумагой (P1200). Адсорбцию проводили путем погружения в раствор фермента лакказы *Streptomyces carpinensis* (3.0 ± 0.2 мг/мл, буфер 20 мМ Tris-HCl, pH 8.0, 0.2 5M NaCl, 0.3 М имидазол) на 24 часа.

Адсорбция лакказы на карбоксилированных нанотрубках. Грифели («STABILO», НВ, 2 мм) промывали дистиллированной водой и обрабатывали ультразвуком в ацетоне в течение 5 мин. Обработанные электроды сушили при 90 °С в течение 2 ч для удаления растворителя. Карбоксилированные многослойные нанотрубки (МУНТ-СООН) серии «Таунит-М» («Нано ТЦ», Томск) диспергировали в диметилсульфоксиде ультразвуком в течение 2 мин. Электроды погружали в полученную суспензию нанотрубок на 5 мин, после чего помешали в ток горячего воздуха на 2 ч для удаления избытка растворителя. Процедуру повторяли 4 раза. Адсорбцию проводили путем погружения в раствор фермента лакказы *Streptomyces carpinensis* (3.0 ± 0.2 мг/мл, буфер 20 мМ Tris-HCl, pH 8.0, 0.25M NaCl, 0.3 М имидазол) на 24 часа.

Ковалентное связывание лакказы. Активацию карбоксильных групп на модифицированных МУНТ-СООН электродах проводили путем погружения в раствор 1-циклогексил-(2-морфолиноэтил) карбодимид метоп-толуолсульфоната (3 мг/мл в фосфатном буферном растворе (0.1 М, pH = 7)) на 2 ч. Ковалентную сшивку проводили путем погружения в раствор фермента лакказы *Streptomyces carpinensis* (3.0 ± 0.2 мг/мл, буфер 20 мМ Tris-HCl, pH 8.0, 0.25M NaCl, 0.3 М имидазол) на 24 часа.

Для удаления избытка несвязанного белка во всех случаях электроды промывали цитратным буферным раствором pH 4.5.

Электрохимические измерения проводили при помощи гальванопотенциостата «РС-місто» («Кронас», Москва, Россия), интегрированного с ПК. Измерения проводили по двухэлектродной схеме (электрод сравнения Ag/AgCl) в цитратном буфере с pH 4.5, объем ячейки – 4 мл. Перед измерением буферный раствор дегазировали, ячейка продувалась аргоном до содержания кислорода 0 мг/мл, содержание кислорода контролировали с помощью кислородного электрода. Для насыщения буферного раствора кислорода включалась мешалка (скорость перемешивания 200 об/мин). Измеряемым параметром являлась амплитуда сигнала изменения силы тока рабочего электрода, определяемая как разность между начальным и конечным значениями токов в анаэробных и аэробных условиях. Измерения проводились при постоянном потенциале рабочего электрода 200 мВ [1]. Для определения лакказ, способных только к прямому переносу электронов оценку изменения силы тока проводили только в присутствии кислорода. Для определения лакказ, способных только к медиаторному переносу электронов в ячейку добавляли раствор субстрата АБТС (концентрация в ячейке 790 мкмоль).

Результаты

В работе были сформирована три типа электродов. Фермент закрепляли на поверхности электрода простой адсорбцией (электрод А), методом адсорбции на предварительно модифицированном электроде многостенными углеродными нанотрубками (электрод В) и путем ковалентной сшивки фермента по карбоксильным группам МУНТ-СООН, (электрод С). Типичный

вид зависимости изменения силы тока от времени представлен на рисунке 1.

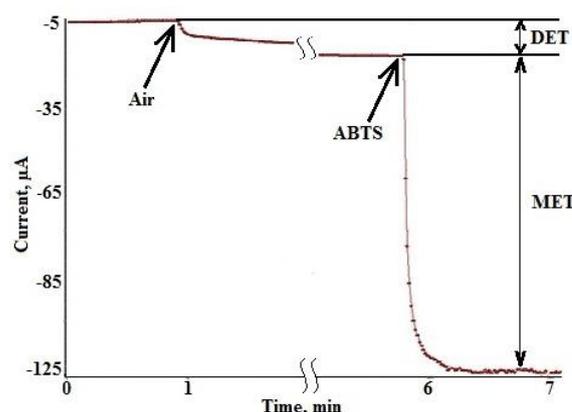


Рисунок 1. Зависимость изменения силы тока от времени для электрода А. DET – прямой перенос электронов, MET – перенос электронов с помощью медиатора

Figure 1. The dependence of the current on time for electrode A. DET - direct electron transfer, MET - mediated electron transfer

Начальное изменение силы тока при насыщении ячейки воздухом соответствует прямому переносу электронов от электрода на активный центр фермента и дальнейшему восстановлению кислорода. Изменение силы тока после добавления АБТС соответствует медиаторному переносу электронов на активный центр фермента и дальнейшему восстановлению кислорода.

Для каждого типа электродов была определена операционная стабильность. Результаты представлены в виде зависимости плотности тока от числа измерений (рисунок 2).

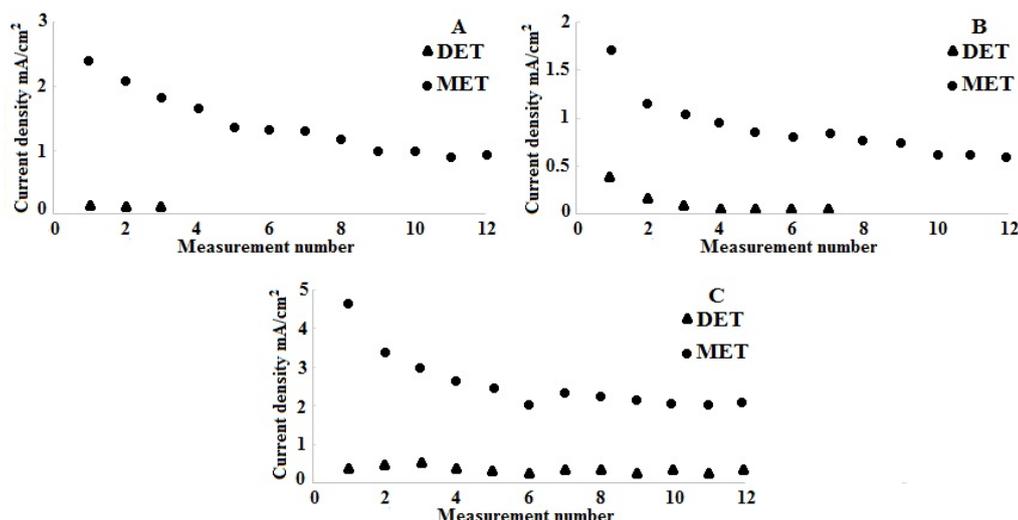


Рисунок 2. Эксплуатационная стабильность электродов с различными типами иммобилизации фермента лакказы. А - адсорбция на графитовом электроде, В - адсорбция на графитовом электроде, модифицированном МУНТ, С - ковалентное связывание с СООН-МУНТ на графитовом электроде

Figure 2. Operational stability of electrodes with different types of laccase enzyme immobilization. A - adsorption on graphite electrode, B - adsorption on graphite electrode modified with MWCNT, C - covalent bonding with MWCNT-COOH on graphite electrode

Для каждого типа электродов выполнена оценка максимальной скорости восстановления кислорода ферментом в режиме ППЭ. Параметр определялся как тангенс наклона прямой падения тока рабочего электрода. Скорости составили: для электрода А – $3,1 \pm 0,3 \text{ mA} \cdot 10^{-3}/\text{мин}$, для электрода В – $7,7 \pm 0,4 \text{ mA} \cdot 10^{-3}/\text{мин}$ и для электрода С – $66 \pm 4 \text{ mA} \cdot 10^{-3}/\text{мин}$.

Обсуждение

Применение метода амперометрии для оценки активности иммобилизованных ферментов лакказ ранее рассматривалось в работах [10, 11]. Данный метод позволяет оценить возможности иммобилизованного фермента к прямому переносу электронов, а значит судить о правильности ориентации активного центра фермента относительно поверхности электрода, и кроме того выполнить оценку максимальной скорости восстановления кислорода лакказами в режиме ППЭ. Полученные данные позволяют заключить, что наиболее перспективным методом закрепления является именно ковалентная сшивка фермента по карбоксильным группам с МУНТ-СООН на поверхности электрода. Данный метод позволяет на порядок увеличить скорость прямого ППЭ по сравнению с адсорбцией фермента на предварительно модифицированном электроде.

Оценка операционной стабильности электродов показывает, что для простой адсорбции эффект ППЭ исчезает уже после 3-го измерения, а для адсорбции на МУНТ после 7-го измерения,

что свидетельствует о десорбции белка. Подобное поведение лакказ было ранее отмечено в работах [12, 13–20]. При использовании метода ковалентной сшивки сигнал биоэлектрода оставался стабильным, по крайней мере, в течение 12 измерений, что подтверждает правильность выбранного подхода закрепления фермента для его правильной ориентации и соответствует литературным данным [9].

Заключение

Для рекомбинантных бактериальных лакказ *Streptomyces carpinensis* показана возможность прямого переноса электронов на кислород при иммобилизации на поверхности графитового электрода. Наиболее перспективным методом иммобилизации является ковалентное связывание фермента с модифицированными углеродными нанотрубками. Данный метод способствует правильной ориентации фермента и как следствие, увеличению скорости восстановления кислорода и стабильности биоэлектрода во времени. Разработанные биоэлектроды могут быть использованы в качестве катодов в биотопливных элементах.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № FEWG-2024-0003 (Биокаталитические системы на основе клеток микроорганизмов, субклеточных структур и ферментов в сочетании с наноматериалами).

Литература

- 1 Fernández-Fernández M., Sanromán M.Á., Moldes D. Recent developments and applications of immobilized laccase // *Biotechnol. Adv.* 2013. №31 (8). P. 1808–1825.
- 2 By S., Arsenault A., Hassani T., Jones J. P., Cabana H. Laccase immobilization and insolubilization: From fundamentals to applications for the elimination of emerging contaminants in wastewater treatment // *Crit. Rev. Biotechnol.* 2013. №33 (4). P. 404–418.
- 3 Le Goff A., Holzinger M., Cosnier S. Recent progress in oxygen-reducing laccase biocathodes for enzymatic biofuel cells // *Mol. Life Sci.* 2015. №72. P. 941–952.
- 4 Zhang Y. et al. Application of eukaryotic and prokaryotic laccases in biosensor and biofuel cells: recent advances and electrochemical aspects // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2018. №102 (24). P. 10409–10423.
- 5 Holzinger M., Le Goff A., Cosnier S. Carbon nanotube/enzyme biofuel cells // *Electrochimica Acta.* 2012. №82. P. 179–190.
- 6 Stolarczyk K. et al. Hybrid biobattery based on arylated carbon nanotubes and laccase // *Bioelectrochemistry.* 2012. №87. P. 154–163.
- 7 Giroud F. et al. Simplifying enzymatic biofuel cells: immobilized naphthoquinone as a biocathodic orientational moiety and bioanodic electron mediator // *ACS Catalysis.* 2015. №5 (2). P. 1240–1244.
- 8 Bandapati M., Krishnamurthy B., Goel S. Fully assembled membraneless glucose biofuel cell with MWCNT modified pencil graphite leads as novel bioelectrodes // *IEEE Transactions on Nanobioscience.* 2019. №18 (2). P. 170–175.
- 9 Gáspár S., Brinduse E., Vasilescu A. Electrochemical evaluation of laccase activity in must // *Chemosensors.* 2020. №8 (4). P. 126.
- 10 Ruff A. et al. A fully protected hydrogenase/polymer-based bioanode for high-performance hydrogen/glucose biofuel cells // *Nature communications.* 2018. №9 (1). P. 3675.
- 11 Olszewski B., Stolarczyk K. Laccase-catalyzed reduction of oxygen at electrodes modified by carbon nanotubes with adsorbed promazine or acetosyringone // *Catalysts.* 2018. №8 (10). P. 414.
- 12 Wu F. et al. Role of organic solvents in immobilizing fungus laccase on single-walled carbon nanotubes for improved current response in direct bioelectrocatalysis // *Journal of the American Chemical Society.* 2017. №139 (4). P. 1565–1574.

- 13 Gutiérrez-Sánchez C. et al. Enhanced direct electron transfer between laccase and hierarchical carbon microfibers/carbon nanotubes composite electrodes. Comparison of three enzyme immobilization methods // *Electrochimica acta*. 2012. №82. P. 218-223.
- 14 Dey B., Dutta T. Laccases: Thriving the domain of bio-electrocatalysis // *Bioelectrochemistry*. 2022. V. 146. P. 108144.
- 15 Lopes P., Koschorreck K., Nedergaard Pedersen J., Ferapontov A. et al. *Bacillus Licheniformis* CotA Laccase mutant: Electrocatalytic Reduction of O₂ from 0.6 V (SHE) at pH 8 and in seawater // *ChemElectroChem*. 2019. V. 6. №. 7. P. 2043-2049.
- 16 Han Z., Zhao L., Yu P., Chen J. et al. Comparative investigation of small laccase immobilized on carbon nanomaterials for direct bioelectrocatalysis of oxygen reduction // *Electrochemistry Communications*. 2019. V. 101. P. 82-87.
- 17 Zhou Y., Umasankar Y., Ramasamy R.P. Laccase-TiO₂ nanoconjugates as catalysts for oxygen reduction reaction in biocathodes // *Journal of The Electrochemical Society*. 2015. V. 162. №. 14. P. H911.
- 18 Franco A., Cebrián-García S., Rodríguez-Padrón D., Puente-Santiago A.R. et al. Encapsulated laccases as effective electrocatalysts for oxygen reduction reactions // *ACS sustainable chemistry & engineering*. 2018. V. 6. №. 8. P. 11058-11062.
- 19 Lalaoui N., David R., Jamet H., Holzinger M. et al. Hosting adamantane in the substrate pocket of laccase: direct bioelectrocatalytic reduction of O₂ on functionalized carbon nanotubes // *Acs Catalysis*. 2016. V. 6. №. 7. P. 4259-4264.
- 20 Zhang L., Cui H., Zou Z., Garakani T.M. et al. Directed evolution of a bacterial laccase (CueO) for enzymatic biofuel cells // *Angewandte Chemie International Edition*. 2019. V. 58. №. 14. P. 4562-4565.

References

- 1 Fernández-Fernández M., Sanromán M.Á., Moldes D. Recent developments and applications of immobilized laccase. *Biotechnol. Adv.* 2013. no. 31 (8). pp. 1808–1825.
- 2 By S., Arsenault A., Hassani T., Jones J. P., Cabana H. Laccase immobilization and insolubilization: From fundamentals to applications for the elimination of emerging contaminants in wastewater treatment. *Crit. Rev. Biotechnol.* 2013. no. 33 (4). pp. 404–418.
- 3 Le Goff A., Holzinger M., Cosnier S. Recent progress in oxygen-reducing laccase biocathodes for enzymatic biofuel cells *Cell. Mol. Life Sci.* 2015. no. 72. pp. 941–952.
- 4 Zhang Y. et al. Application of eukaryotic and prokaryotic laccases in biosensor and biofuel cells: recent advances and electrochemical aspects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2018. no. 102 (24). pp. 10409–10423.
- 5 Holzinger M., Le Goff A., Cosnier S. Carbon nanotube/enzyme biofuel cells. *Electrochimica Acta*. 2012. no. 82. pp. 179-190.
- 6 Stolarczyk K. et al. Hybrid biobattery based on arylated carbon nanotubes and laccase. *Bioelectrochemistry*. 2012. no. 87. pp. 154-163.
- 7 Giroud F. et al. Simplifying enzymatic biofuel cells: immobilized naphthoquinone as a biocathodic orientational moiety and bioanodic electron mediator. *ACS Catalysis*. 2015. no. 5 (2). pp. 1240-1244.
- 8 Bandapati M., Krishnamurthy B., Goel S. Fully assembled membraneless glucose biofuel cell with MWCNT modified pencil graphite leads as novel bioelectrodes. *IEEE Transactions on Nanobioscience*. 2019. no. 18 (2). pp. 170-175.
- 9 Gáspár S., Brinduse E., Vasilescu A. Electrochemical evaluation of laccase activity in must. *Chemosensors*. 2020. no. 8 (4). pp. 126.
- 10 Ruff A. et al. A fully protected hydrogenase/polymer-based bioanode for high-performance hydrogen/glucose biofuel cells. *Nature communications*. 2018. no. 9 (1). pp. 3675.
- 11 Olszewski B., Stolarczyk K. Laccase-catalyzed reduction of oxygen at electrodes modified by carbon nanotubes with adsorbed promazine or acetosyringone. *Catalysts*. 2018. no. 8 (10). pp. 414.
- 12 Wu F. et al. Role of organic solvents in immobilizing fungus laccase on single-walled carbon nanotubes for improved current response in direct bioelectrocatalysis. *Journal of the American Chemical Society*. 2017. no. 139 (4). pp. 1565-1574.
- 13 Gutiérrez-Sánchez C. et al. Enhanced direct electron transfer between laccase and hierarchical carbon microfibers/carbon nanotubes composite electrodes. Comparison of three enzyme immobilization methods. *Electrochimica acta*. 2012. no. 82. pp. 218-223.
- 14 Dey B., Dutta T. Laccases: Thriving the domain of bio-electrocatalysis. *Bioelectrochemistry*. 2022. vol. 146. pp. 108144.
- 15 Lopes P., Koschorreck K., Nedergaard Pedersen J., Ferapontov A. et al. *Bacillus Licheniformis* CotA Laccase mutant: Electrocatalytic Reduction of O₂ from 0.6 V (SHE) at pH 8 and in seawater. *ChemElectroChem*. 2019. vol. 6. no. 7. pp. 2043-2049.
- 16 Han Z., Zhao L., Yu P., Chen J. et al. Comparative investigation of small laccase immobilized on carbon nanomaterials for direct bioelectrocatalysis of oxygen reduction. *Electrochemistry Communications*. 2019. vol. 101. pp. 82-87.
- 17 Zhou Y., Umasankar Y., Ramasamy R.P. Laccase-TiO₂ nanoconjugates as catalysts for oxygen reduction reaction in biocathodes. *Journal of The Electrochemical Society*. 2015. vol. 162. no. 14. pp. H911.
- 18 Franco A., Cebrián-García S., Rodríguez-Padrón D., Puente-Santiago A.R. et al. Encapsulated laccases as effective electrocatalysts for oxygen reduction reactions. *ACS sustainable chemistry & engineering*. 2018. vol. 6. no. 8. pp. 11058-11062.
- 19 Lalaoui N., David R., Jamet H., Holzinger M. et al. Hosting adamantane in the substrate pocket of laccase: direct bioelectrocatalytic reduction of O₂ on functionalized carbon nanotubes. *Acs Catalysis*. 2016. vol. 6. no. 7. pp. 4259-4264.
- 20 Zhang L., Cui H., Zou Z., Garakani T.M. et al. Directed evolution of a bacterial laccase (CueO) for enzymatic biofuel cells. *Angewandte Chemie International Edition*. 2019. vol. 58. no. 14. pp. 4562-4565.

Сведения об авторах

Сергей В. Алферов к.х.н., доцент, зав. лаб., кафедра биотехнологии, лаборатория экологической и медицинской биотехнологии, НИЦ «БиоХимТех», Тульский государственный университет, ул. Фридриха Энгельса, 157, г. Тула, 300012, Россия, s.v.alferov@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5217-7815>

Вероника В. Федина ассистент, м.н.с., кафедра биотехнологии, лаборатория экологической и медицинской биотехнологии, НИЦ «БиоХимТех», Тульский государственный университет, ул. Фридриха Энгельса, 157, г. Тула, 300012, Россия, agapovaweronica@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5831-123X>

Константин А. Егоров м.н.с., лаборатория экологической и медицинской биотехнологии, НИЦ «БиоХимТех», Тульский государственный университет, ул. Фридриха Энгельса, 157, г. Тула, 300012, Россия, egorov.kost@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3624-4069>

Любовь И. Трубицина к.б.н., научный сотрудник, лаборатория микробной энзимологии, Институт биохимии и физиологии микроорганизмов РАН – обособленное подразделение Пушкинского научного центра биологических исследований РАН, пр-т Науки, 5, Пушкино, Московская область, 142290, Россия, lyubov_yurevich@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6483-945X>

Вклад авторов

Сергей В. Алферов постановка целей и задач, редактирование рукописи

Вероника В. Федина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, проведение эксперимента, расчёты

Константин А. Егоров консультация в ходе исследования, проведение эксперимента

Любовь И. Трубицина написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sergey V. Alferov Cand. Sci. (Engin.), head of the laboratory, biotechnology, laboratory of ecological and medical biotechnology department, Research center "BioChemTech" Tula State University, Friedrich Engels Street 157, 300012 Tula, Russia, s.v.alferov@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5217-7815>

Veronika V. Fedina assistant, junior researcher, biotechnology, laboratory of ecological and medical biotechnology department, Research center "BioChemTech" Tula State University, Friedrich Engels Street 157, 300012 Tula, Russia, agapovaweronica@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5831-123X>

Konstantin A. Egorov junior researcher, laboratory of ecological and medical biotechnology, research center "BioChemTech" Tula State University, Friedrich Engels Street 157, 300012 Tula, Russia, egorov.kost@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3624-4069>

Liubov I. Trubitsina Cand. Sci. (Biol.), researcher, laboratory of microbe enzymology, Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms RAS – A Separate Subdivision of Pushchino Scientific Center for Biological Research RAS, Prospekt Nauki, 5, Pushchino, Moscow region, 142290, Russia, lyubov_yurevich@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-6483-945X>

Contribution

Sergey V. Alferov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Veronika V. Fedina literature review, experiments, performed computations

Konstantin A. Egorov consultation during the study, experiments

Liubov I. Trubitsina wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 08/04/2024	После редакции 24/04/2024	Принята в печать 20/05/2024
Received 08/04/2024	Accepted in revised 24/04/2024	Accepted 20/05/2024

Применение сырьевых ингредиентов из корнеплодов свёклы в пищевой промышленности

Екатерина И. Решетник	¹	soia-28@ya.ru	 0000-0002-3166-9992
Антонина П. Пакусина	¹	pakusina.a@ya.ru	 0000-0001-5547-3444
Татьяна П. Платонова	²	platonova.t00@mail.ru	 0000-0002-9056-6846
Светлана Л. Грибанова	¹	lsv24leon@mail.ru	 0000-0003-1448-4328
Кетеван Р. Бабухадия	¹	kbabukhadiya@mail.ru	 0000-0001-8137-7376
Павел Н. Школьников	¹	pavel.shkolnikov@mail.ru	 0000-0003-3587-3082

¹ Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия

² Амурский государственный университет, Игнатьевское шоссе, 21, 675027, Россия

Аннотация. Корнеплоды свёклы столовой являются источником ценных питательных компонентов, обладающих лечебно-профилактическими свойствами и могут быть использованы как сырье при производстве различных видов продуктов питания. Изучены биохимические показатели корнеплодов свёклы столовой сортов выращиваемых в Амурской области: Успех, Детройт, Приморская 4, Цилиндра, Валента и гибрида Пабло F 1. Наибольшее количество сахара установлено в сорте Приморская 4 (15,0%), титруемая кислотность в пересчете на яблочную – у сорта Валента (0,590%), витамина С – в сорте Детройт (10,90 мг/100г), сухое вещество – в сорте Успех (21,75%), зольность – в сорте Цилиндра (1,17%). Наивысший уровень накопления красящих веществ (бетаксантинов и бетанинов) в корнеплодах свёклы отмечен для сортов Успех (соответственно 31,04% и 199,80%) и Валента (соответственно 26,56% и 169,91%). Полученный сок из свёклы сорта Успех, предварительно подвергнутый термической обработке, вносили в качестве натурального красителя и обогащающего компонента в творожный продукт в количестве от 1,0; 1,5 и 2,0% от массы готового продукта. Определены органолептические показатели в полученных образцах творожных продуктов, контролем являлся образец без внесения сока из свёклы. Установлены физико-химические показатели качества в образце 2, у которого сформирован лучший органолептический профиль. В готовом продукте содержание массовой доли жира составило 5,0%, массовой доли белка – 14,0%, сахарозы – 3,26%, значение титруемой кислотности соответствует требованиям нормативно-правовых актов. Обогащение различных продуктов питания пищевыми ингредиентами из корнеплодов свёклы позволит расширить ассортимент продукции лечебно-профилактического назначения.

Ключевые слова: корнеплоды свёклы, биохимические показатели, творожный продукт, обогащение, органолептические показатели, физико-химические показатели.

Application of raw ingredients from beet roots in the food industry

Ekaterina I. Reshetnik	¹	soia-28@ya.ru	 0000-0002-3166-9992
Antonina P. Pakusina	¹	pakusina.a@ya.ru	 0000-0001-5547-3444
Tatyana P. Platonova	²	platonova.t00@mail.ru	 0000-0002-9056-6846
Svetlana L. Gribanova	¹	lsv24leon@mail.ru	 0000-0003-1448-4328
Ketevan R. Babukhadiya	¹	kbabukhadiya@mail.ru	 0000-0001-8137-7376
Pavel N. Shkolnikov	¹	pavel.shkolnikov@mail.ru	 0000-0003-3587-3082

¹ Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnicheskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia

² Amur State University, Ignatievskoe Shosse, 21, 675027, Russia

Abstract. Beet roots are a source of valuable nutritional components that have therapeutic and prophylactic properties and can be used as a raw material in the production of various types of food products. The biochemical indicators of the root crops of table beet varieties grown in the Amur region: Success, Detroit, Primorskaya 4, Tsilindra, Valenta and the hybrid Pablo F 1. The largest amount of sugar was found in the Primorskaya 4 variety (15,0%), titratable acidity in terms of malic acidity - in the Valenta variety (0,590%), vitamin C in the Detroit variety (10,90 mg/100g), dry matter in the Success variety (21,75%), ash content in the Cilindra variety (1,17%). The highest level of accumulation of coloring substances (betaxanthins and betanins) in beet roots was noted for the varieties Success (31,04% and 199,80%, respectively) and Valenta (26,56% and 169,91%, respectively). The resulting juice from beetroot variety Success, previously subjected to heat treatment, was added as a natural coloring and enriching component to the curd product in amounts of 1,0%, 1,5% and 2,0% by weight of the finished product. Organoleptic characteristics were determined in the obtained samples of curd products; the control was a sample without the addition of beet juice. Physico-chemical quality indicators were established in sample 2, which has the best organoleptic profile. In the finished product, the mass fraction of fat was 5,0%, the mass fraction of protein was 14,0%, sucrose was 3,26%, the titratable acidity value complies with the requirements of regulatory legal acts. Enrichment of various food products with food ingredients from beet roots will expand the range of products for therapeutic and prophylactic purposes.

Keywords: beet roots, biochemical indicators, curd product, enrichment, organoleptic indicators, physico-chemical indicators.

Для цитирования

Решетник Е.И., Пакусина А.П., Платонова Т.П., Грибанова С.Л., Бабухадия К.Р., Школьников П.Н. Применение сырьевых ингредиентов из корнеплодов свёклы в пищевой промышленности // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 132–137. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-132-137

For citation

Reshetnik E.I., Pakusina A.P., Platonova T.P., Gribanova S.L., Babukhadiya K.R., Shkolnikov P.N. Application of raw ingredients from beet roots in the food industry. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 132–137. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-132-137

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Свекла – сельскохозяйственное растение, относящееся к овощным культурам. Столовые сорта свёклы нашли широкое использование в повседневном питании многих народов мира.

Корнеплод свеклы используется в качестве лекарственного средства с давних времен. Лечебные свойства свеклы и ее сока обусловлены богатым содержанием природных антиоксидантов и других групп физиологически важных компонентов питания в количествах, оказывающих лечебно-профилактическое воздействие на организм человека [7].

Изучение биохимических свойств различных сортов свеклы столовой, выращиваемой на территории Амурской области, является актуальным.

Цель работы – изучение биохимических показателей корнеплодов свёклы различных сортов и возможность использования сока из свёклы в качестве пищевого сырья при производстве продуктов питания.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны корнеплоды красной свёклы столовой сортов Успех, Детройт, Приморская 4, Цилиндра, Валента и гибрида Пабло F 1.

Исследование влияния свекольного сока без мякоти, полученного из свёклы сорта Успех на органолептические показатели творожной пасты проводилось на следующих образцах:

Образец 1 – творожная паста без добавления свекольного сока.

Образец 2 – творожная паста с добавлением свекольного сока в количестве 1,0% от массы готового продукта.

Образец 3 – творожная паста с добавлением свекольного сока в количестве 1,5% от массы готового продукта.

Образец 4 – творожная паста с добавлением свекольного сока в количестве 2,0% от массы готового продукта.

Органолептические показатели и размер корнеплодов определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 32285–2013. Титруемая кислотность в пересчёте на яблочную кислоту была определена методом потенциометрического титрования согласно ГОСТ ISO 750–2013. Массовую долю сухих веществ в корнеплодах свёклы определяли термогравиметрическим методом по ГОСТ 28561–90. Массовую долю витамина С определяли по ГОСТ 24556–89. Содержание сахаров в корнеплодах свёклы определяли в соответствии с ГОСТ 8756.13–87. Содержание золы определяли по ГОСТ 25555.4–91. Бетацианины корнеплодов свёклы столовой определяли спектрофотометрическим методом [7].

Отбор и подготовка образцов творожных продуктов (контроль и обогащенные соком из свёклы) к анализу проводили по ГОСТ 26809 [5]. Хранение образцов осуществляли при температуре 4 ± 2 °С в холодильной камере [2].

Внешний вид, цвет образцов определяли визуально; консистенцию, вкус и запах определяли органолептически [3]. Определение физико – химических показателей проводили по общепринятым методикам для дано вида продукта [1, 10].

Результаты и обсуждение

В ходе проведённых исследований определены основные биохимические показатели корнеплодов различных сортов свёклы (таблица 1). Установлено, что по содержанию сахаров лидирует сорт Приморская 4. Минимальное содержание сахаров наблюдается в сорте Валента.

Таблица 1.

Биохимические показатели корнеплодов свеклы

Table 1.

Biochemical parameters of beet roots

Сорт, гибрид Variety, hybrid	Сахара, % Sugar, %	Кислотность титруемая в пересчёте на яблочную кислоту, % Acidity titrated in terms of malic acid, %	Витамин С, мг/100г Vitamin C, mg/100g	Сухое вещество, % Dry matter, %	Зольность, % Ash content, %	Оценка вкуса, балл Taste rating, point
Успех Success	13,0	0,297	6,53	21,75	0,58	5
Детройт Detroit	12,0	0,296	10,90	18,79	1,12	4
Приморская 4 Primorskaya 4	15,0	0,256	8,80	20,24	0,95	5
Цилиндра Cylinder	12,0	0,331	7,90	17,22	1,17	3
Валента Valenta	9,5	0,590	7,31	19,48	0,92	3
Пабло F 1 Pablo F 1	11,5	0,419	9,68	14,39	0,78	4
Среднее значение Average value	11,5 ± 0,9	0,365 ± 0,047	8,12 ± 0,74	17,62 ± 1,46	0,90 ± 0,08	

Кислотность характеризует наличие в плодах и овощах органических кислот. В свёкле присутствуют щавелевая, яблочная, лимонная, винная, молочная кислоты. От соотношения содержания сахаров и кислотности зависит вкус овощей [4]. Наибольший сахарокислотный коэффициент имели корнеплоды сорта Приморская 4 (58,6) и Успех (43,8), эти же сорта имели оценку вкуса 5 баллов, наименьшее значение сахарокислотного коэффициента – у свёклы сорт Валента (16,1) и оценка вкуса 3 балла.

Содержание аскорбиновой кислоты (витамина С) в корнеплодах свёклы варьировало в пределах от 6,53 мг/100 г у сорта Успех до 10,90 мг/100г у сорта Детройт. При этом все сорта свёклы имеют достаточно высокий уровень содержания аскорбиновой кислоты.

Среднее значение зольности корнеплодов свёклы столовой составило $0,90 \pm 0,08\%$, а среднее значение содержания сухого вещества $17,62 \pm 1,46\%$.

Ценность свёклы состоит в том, что в её корнеплодах присутствуют красящие вещества: бетацианины, отвечающие за красную окраску, и бетаксантины, которые имеют жёлтую окраску.

Бетацианины обладают антиоксидантными свойствами, препятствуют возникновению злокачественных опухолей [8]. Суммарное содержание бетацианинов определяли в пересчете на бетанин. Накопление бетанина у свёклы столовой зависит от агроклиматических условий выращивания и сорта, а поражение болезнями и вредителями способно остановить аккумуляцию бетанина [9].

Наивысший уровень накопления красящих веществ (бетаксантинов и бетанинов) в корнеплодах свёклы отмечен для сортов Успех и Валента (таблица 2).

Таблица 2.
Содержание красящих веществ
в корнеплодах свёклы

Table 2.
Content of coloring substances in beet roots

Сорт, гибрид Variety, hybrid	Бетаксантины, г/кг Betaxanthins, g/kg	Бетанины, г/кг Betanins, g/kg
Успех Success	31,04	199,80
Детройт Detroit	20,04	166,76
Приморская 4 Primorskaya 4	15,07	124,14
Цилиндра Cylinder	17,58	105,56
Валента Valenta	26,56	169,91
Пабло F 1 Pablo F 1	13,35	86,14
Среднее значение Average value	19,23 + 2,97	142,10 + 46,44

В некоторых сортах свёклы, например, при сравнительном анализе средних значений красящих веществ в сортах Приморская 4 и Цилиндра наблюдаем асинхронное изменение содержания красящих веществ, то есть, максимальное содержание бетаксантинов установлено в сорте

Цилиндра, а наибольшее содержание бетанинов – в сорте Приморская 4. Это свидетельствует о различной склонности сортов свёклы к накоплению бетаксантинов и бетанинов.

На следующем этапе исследована возможность использования сока из свёклы без мякоти, полученного из корнеплодов сорта Успех, в технологии производства творожного продукта. Полученный сок из данного сорта свёклы, по сравнению с соком других исследованных сортов и гибрида свёклы, содержит наибольшее количество красящих веществ (бетаксантинов – 31,04 г./кг, бетанинов – 199,80 г./кг), приближенное к максимальным значениям количество сахаров (13,0%), и относительно не высокое значение показателя титруемой кислотности в пересчете на яблочную кислоту (0,297%).

В подготовленную основу для получения творожного продукта в состав которого входил творог обезжиренный, сливки питьевые и сахар белый в количестве – соответствующем рецептуре на данный продукт, вносили полученный сок из свёклы, предварительно подвергнутый термической обработке с целью исключения обсеменения творожного продукта посторонней микрофлорой, в количестве от 1,0 до 2,0% от массы готового продукта с шагом 0,5% [6]. С помощью планетарного миксера доводили продукт до однородной пастообразной консистенции.

В полученных образцах оценивали внешний вид и консистенцию, вкус и запах, цвет. Контролем являлся образец творожного продукта без внесения сока из свёклы сорта Успех. Визуализация полученных результатов представлена на рисунке 1 в виде профилограммы органолептической оценки.

Дальнейший эксперимент проведен по определению физико-химических показателей в образце с полученными наилучшими органолептическими показателями, массовая доля внесения сока свёклы в котором составила 1,5%.

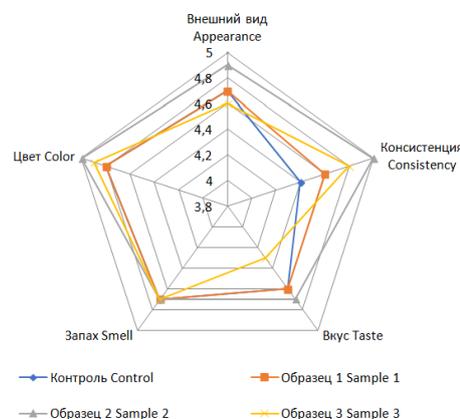


Рисунок 1. Профилограмма органолептической оценки полученных образцов творожных продуктов
Figure 1. Profilogram of organoleptic evaluation of the obtained samples of curd products

Полученные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Физико-химические показатели творожного продукта с соком из свёклы в количестве 1,5%

Table 3.
Physico-chemical characteristics of a curd product with beet juice in an amount of 1,5%

Показатель Indicator	Значение Value
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	5,0 ± 0,08
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	14,0 ± 0,06
Кислотность, °T Acidity, °T	110,0 ± 0,09
Массовая доля влаги, % Moisture content, %	78,0 ± 0,14
Массовая доля сахарозы, % Mass fraction of sucrose, %	3,26 ± 0,04

По основным показателям качества творожный продукт с соком свёклы соответствует требованиям нормативно – правовых актов на данный вид пищевой продукции.

Заключение

При изучении биохимических показателей в проанализированных сортах свёклы выявлены сорта с наибольшим содержанием сахаров и аскорбиновой кислоты. Среди образцов отмечены сорта свёклы с высоким уровнем количественного содержания красящих веществ.

Полученное сырье из корнеплодов свёклы в виде сока без мякоти может быть использовано в пищевых технологиях как натуральный краситель и физиологически-функциональный компонент.

Разработка пищевых продуктов, которые входят в ежедневный рацион питания человека, обогащенных соком из свёклы или другими видами пищевых ингредиентов на основе корнеплодов свёклы, позволит осуществлять профилактику большого количества заболеваний.

Литература

- 1 Бояринаева И.В., Хамагаева И.С. Совершенствование биотехнологии симбиотического бактериального концентрата // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2022. Т. 84. № 4(94). С. 89–95. doi: 10.20914/2310–1202–2022–4–89–95
- 2 Вернер А.В., Гращенков Д.В., Чугунова О.В. Исследование показателей безопасности продукции диетической направленности (на примере безлактозных изделий для детского питания) // Вестник КрасГАУ. 2023. № 10(199). С. 219–225. doi: 10.36718/1819–4036–2023–10–219–225
- 3 Кольберг Н.А., Тихонов С.Л., Тихонова Н.В., Московенко Н.В. Исследование влияния иммунотропных пептидов на экспериментальный иммунодефицит // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 7. С. 84–91. doi: 10.53859/02352451_2022_36_7_84
- 4 Пакулина А.П., Ран О.П., Платонова Т.П. Характеристика сортов и гибридов капусты белокочанной по биохимическим показателям в условиях Приамурья // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Т. 17. № 1. С. 22–29. doi: 10.22450/19996837_2023_1_22
- 5 Просеков А.Ю., Вечтомова Е.А., Неверова О.А., Орлова М.М. Обеспеченность сырьевыми ресурсами для создания биологически активных добавок из дериватов охотничьего промысла // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2022. Т. 11. № 2(58). С. 59–63. doi: 10.46548/21vek-2022–1158–0010
- 6 Решетник Е.И., Грибанова С.Л., Держапольская Ю.И. и др. Влияние растворимых пищевых волокон из *Larix dahurica* на качество молочного биопродукта // Молочная промышленность. 2023. № 6. С. 62–65. doi: 10.21603/1019–8946–2023–6–15
- 7 Саенко И.И., Тарасенко О.В., Дейнека В.И., Дейнека Л.А. Бетаинины корнеплодов красной столовой свеклы // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2012. № 3(122). С. 194–200.
- 8 Henriette M.C. Betalains: properties, sources, applications, and stability – A review // Intern. J. Food Sci. Technol. 2009. №. 44. P. 2365–2376. doi: 10.1111/j.1365–2621.2007.01668
- 9 Sokolova D.V., Shvachko N.A., Mikhailova A.S., Popov V.S. Betalain content and morphological characteristics of table beet accessions: their interplay with abiotic factors // Agronomy. 2022. V. 12. № 5. P. 1033. doi: 10.3390/agronomy12051033
- 10 Zakharova L.M., Zakharenko M.A., Gorbunchikova M.S. Plant origin alternatives to classic dairy products // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2023. V. 2526. №. 1. doi: 10.1063/5.0116426.
- 11 Domínguez R., Maté-Muñoz J.L., Cuenca E., García-Fernández P. et al. Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts // Journal of the international society of sports nutrition. 2018. V. 15. P. 1-12. doi: 10.1186/s12970-017-0204-9
- 12 Zamani H., De Joode M.E.J.R., Hossein I.J., Henckens N.F.T. et al. The benefits and risks of beetroot juice consumption: a systematic review // Critical reviews in food science and nutrition. 2021. V. 61. №. 5. P. 788-804. doi: 10.1080/10408398.2020.1746629
- 13 Domínguez R., Cuenca E., Maté-Muñoz J.L., García-Fernández P. et al. Effects of beetroot juice supplementation on cardiorespiratory endurance in athletes. A systematic review // Nutrients. 2017. V. 9. №. 1. P. 43. doi: 10.3390/nu9010043
- 14 Wruss J., Waldenberger G., Huemer S., Uygun P. et al. Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria // Journal of Food Composition and Analysis. 2015. V. 42. P. 46-55.

- 15 Gallardo E.J., Coggan A.R. What is in your beet juice? Nitrate and nitrite content of beet juice products marketed to athletes // *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2019. V. 29. №. 4. P. 345-349. doi: 10.1123/ijsnem.2018-0223
- 16 Wylie L.J., Bailey S.J., Kelly J., Blackwell J.R. et al. Influence of beetroot juice supplementation on intermittent exercise performance // *European journal of applied physiology*. 2016. V. 116. P. 415-425. doi: 10.1007/s00421-015-3296-4
- 17 Wootton-Beard P.C., Brandt K., Fell D., Warner S. et al. Effects of a beetroot juice with high neobetanin content on the early-phase insulin response in healthy volunteers // *Journal of Nutritional Science*. 2014. V. 3. P. e9.
- 18 Boorsma R.K., Whitfield J., Spriet L.L. (Beetroot juice supplementation does not improve performance of elite 1500-m runners // *Med Sci Sports Exerc*. 2014. V. 46. №. 12. P. 2326-34.
- 19 Pinna M., Roberto S., Milia R., Marongiu E. et al. Effect of beetroot juice supplementation on aerobic response during swimming // *Nutrients*. 2014. V. 6. №. 2. P. 605-615.
- 20 Clifford T., Bell O., West D. J., Howatson G. et al. The effects of beetroot juice supplementation on indices of muscle damage following eccentric exercise // *European journal of applied physiology*. 2016. V. 116. P. 353-362.

References

- 1 Boyarineva, I.V. Boyarineva, I.V. Improving the biotechnology of symbiotic bacterial concentrate. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2022. vol. 84. no. 4(94). pp. 89–95. doi: 10.20914/2310–1202–2022–4–89–95 (in Russian).
- 2 Werner A.V., Grashchenkov D.V., Chugunova O.V. Study of safety indicators of dietary products (using the example of lactose-free products for baby food). *Bulletin of KrasGAU*. 2023. no. 10(199). pp. 219–225. doi: 10.36718/1819–4036–2023–10–219–225 (in Russian).
- 3 Kolberg N.A., Tikhonov S.L., Tikhonova N.V., Moskovenko N.V. Study of the influence of immunotropic peptides on experimental immunodeficiency. *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2022. vol. 36. no. 7. pp. 84–91. doi: 10.53859/02352451_2022_36_7_84 (in Russian).
- 4 Pakusina A.P., Ran O.P., Platonova T.P. Characteristics of varieties and hybrids of white cabbage according to biochemical parameters in the conditions of the Amur region. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2023. vol. 17. no. 1. pp. 22–29. doi: 10.22450/19996837_2023_1_22 (in Russian).
- 5 Prosekov A.Yu., Vechtomova E.A., Neverova O.A., Orlova M.M. Provision of raw materials for the creation of biologically active additives from hunting derivatives // *XXI century: results past and present problems plus*. 2022. vol. 11. no. 2(58). pp. 59–63. doi: 10.46548/21vek-2022–1158–0010 (in Russian).
- 6 Reshetnik E.I., Gribanova S.L., Derzhapolskaya Yu. et al. The influence of soluble dietary fiber from *Larix dahurica* on the quality of dairy bioproduct. *Dairy industry*. 2023. no. 6. pp. 62–65. doi: 10.21603/1019–8946–2023–6–15 (in Russian).
- 7 Saenko I.I., Tarasenko O.V., Deineka V.I., Deineka L.A. Betacyanins of red beet roots. *Scientific bulletins of Belgorod State University. Series: Natural Sciences*. 2012. no. 3(122). pp. 194–200. (in Russian).
- 8 Henriette M.C. Betalains: properties, sources, applications, and stability – A review. *Intern. J. Food Sci. Technol*. 2009. no. 44. pp. 2365–2376. doi:10.1111/j.1365–2621.2007.01668
- 9 Sokolova D.V., Shvachko N.A., Mikhailova A.S., Popov V.S. Betalain content and morphological characteristics of table beet accessions: their interplay with abiotic factors. *Agronomy*. 2022. vol. 12. no. 5. pp. 1033. doi: 10.3390/agronomy12051033
- 10 Zakhарова L.M., Zakharenko M.A., Gorbunchikova M.S. Plant origin alternatives to classic dairy products. *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2023. vol. 2526. no. 1. doi: 10.1063/5.0116426.
- 11 Domínguez R., Maté-Muñoz J.L., Cuenca E., García-Fernández P. et al. Effects of beetroot juice supplementation on intermittent high-intensity exercise efforts. *Journal of the international society of sports nutrition*. 2018. vol. 15. pp. 1-12. doi: 10.1186/s12970-017-0204-9
- 12 Zamani H., De Joode M.E.J.R., Hossein I.J., Henckens N.F.T. et al. The benefits and risks of beetroot juice consumption: a systematic review. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2021. vol. 61. no. 5. pp. 788-804. doi: 10.1080/10408398.2020.1746629
- 13 Domínguez R., Cuenca E., Maté-Muñoz J.L., García-Fernández P. et al. Effects of beetroot juice supplementation on cardiorespiratory endurance in athletes. A systematic review. *Nutrients*. 2017. vol. 9. no. 1. pp. 43. doi: 10.3390/nu9010043
- 14 Wruss J., Waldenberger G., Huemer S., Uygun P. et al. Compositional characteristics of commercial beetroot products and beetroot juice prepared from seven beetroot varieties grown in Upper Austria. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2015. vol. 42. pp. 46-55.
- 15 Gallardo E.J., Coggan A.R. What is in your beet juice? Nitrate and nitrite content of beet juice products marketed to athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2019. vol. 29. no. 4. pp. 345-349. doi: 10.1123/ijsnem.2018-0223
- 16 Wylie L.J., Bailey S.J., Kelly J., Blackwell J.R. et al. Influence of beetroot juice supplementation on intermittent exercise performance. *European journal of applied physiology*. 2016. vol. 116. pp. 415-425. doi: 10.1007/s00421-015-3296-4
- 17 Wootton-Beard P.C., Brandt K., Fell D., Warner S. et al. Effects of a beetroot juice with high neobetanin content on the early-phase insulin response in healthy volunteers. *Journal of Nutritional Science*. 2014. vol. 3. pp. e9.
- 18 Boorsma R.K., Whitfield J., Spriet L.L. (Beetroot juice supplementation does not improve performance of elite 1500-m runners. *Med Sci Sports Exerc*. 2014. vol. 46. no. 12. pp. 2326-34.
- 19 Pinna M., Roberto S., Milia R., Marongiu E. et al. Effect of beetroot juice supplementation on aerobic response during swimming. *Nutrients*. 2014. vol. 6. no. 2. pp. 605-615.
- 20 Clifford T., Bell O., West D. J., Howatson G. et al. The effects of beetroot juice supplementation on indices of muscle damage following eccentric exercise. *European journal of applied physiology*. 2016. vol. 116. pp. 353-362.

Сведения об авторах

Екатерина И. Решетник д.т.н., профессор, кафедра технологии переработки сельскохозяйственной продукции, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия, soia-28@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3166-9992>

Антонина П. Пакузина д.х.н., профессор, кафедра экологии, почвоведения и агрохимии, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия, pakusina.a@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5547-3444>

Татьяна П. Платонова к.х.н., доцент, кафедра химии и химической технологии, Амурский государственный университет, Игнатьевское шоссе, 21, 675027, Россия, platonova.t00@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9056-6846>

Светлана Л. Грибанова к.т.н., старший преподаватель, кафедра технологии переработки сельскохозяйственной продукции, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия, lsv24leon@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1448-4328>

Кетеван Р. Бабухадия к.с.-х.н., профессор, кафедра технологии переработки сельскохозяйственной продукции, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия, kbabukhadiya@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8137-7376>

Павел Н. Школьников д.т.н., доцент, кафедры строительного производства и инженерных конструкций, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия, pavel.shkolnikov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3587-3082>

Вклад авторов

Екатерина И. Решетник написала рукопись, корректуровала её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Антонина П. Пакузина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Татьяна П. Платонова консультация в ходе исследования

Светлана Л. Грибанова обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провела эксперимент, выполнила расчёты

Кетеван Р. Бабухадия, Павел Н. Школьников предложили методику проведения эксперимента

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ekaterina I. Reshetnik Dr. Sci. (Engin.), professor, agricultural products processing technology department, Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnikeskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia, soia-28@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3166-9992>

Antonina P. Pakusina Dr. Sci. (Chem.), professor, ecology, soil science and agrochemistry department, Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnikeskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia, pakusina.a@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5547-3444>

Tatyana P. Platonova Cand. Sci. (Chem.), associate professor, chemistry and chemical technology department, Amur State University, Ignatievskoe Shosse, 21, 675027, Russia, platonova.t00@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9056-6846>

Svetlana L. Gribanova Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, agricultural products processing technology department, Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnikeskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia, lsv24leon@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1448-4328>

Ketevan R. Babukhadiya Dr. Sci. (Agric.), professor, agricultural products processing technology department, Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnikeskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia, kbabukhadiya@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8137-7376>

Pavel N. Shkolnikov Dr. Sci. (Engin.), associate professor, department of construction production and engineering structures, Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnikeskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia, pavel.shkolnikov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3587-3082>

Contribution

Ekaterina I. Reshetnik wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Antonina P. Pakusina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Tatyana P. Platonova consultation during the study

Svetlana L. Gribanova review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Ketevan R. Babukhadiya, Pavel N. Shkolnikov proposed a scheme of the experiment

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/04/2024	После редакции 06/05/2024	Принята в печать 28/05/2024
Received 15/04/2024	Accepted in revised 06/05/2024	Accepted 28/05/2024

Сухое охмеление пива как способ расширения ассортимента в условиях малых предприятий

Дмитрий А. Казарцев	¹	kda_79@mail.ru	 0000-0001-6597-2327
Андрей И. Ключников	¹	kaivanov@mail.ru	 0000-0002-8161-0040
Дина В. Ключникова	²	dina.key@mail.ru	 0000-0002-5306-0328
Наталья В. Зуева	²	nataspirit30@ya.ru	 0000-0003-2840-398X
Иван Н. Криваносов	²		
Даниил Р. Кулигин	²		

¹ Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. На сегодняшний день в условиях мини-пивоварен различной производственной мощности актуальной задачей является постоянный поиск и разработка новых нетрадиционных сортов пива, их совершенствование с целью расширения ассортимента напитков с различными изысканными вкусами и ароматическими оттенками. Несомненно, эти условия являются одним из элементов устойчивого роста и успеха в развитии пивоваренной отрасли. Традиционное охмеление в процессе кипячения пивного сусла неизбежно сопровождается потерями части ароматики, усиливается трансформацией ароматических соединений во время брожения. Цель сухого охмеления – насытить пиво дополнительным свежим вкусом и ароматом хмеля. Сухое охмеление это холодная инфузия, которая не только увеличивает интенсивность хмельной ароматики, но также добавляет ноты, которые существенно отличаются от полученных при позднем охмелении во время варки. Необходимой основой получения новых сортов пива с уникальными и неповторимыми вкусовыми и ароматическими характеристиками является использование определенных ароматических сортов хмеля, вносимых в напиток в определенной дозировке в необходимой последовательности, на различных технологических стадиях их производства и в различных сочетаниях. В данной статье рассмотрены способы сухого охмеления пива на стадии главного брожения и после его дображивания, приведены методики и экспериментальное оборудование для приготовления пивного сусла, ферментации и сухого охмеления, указаны сорта используемого хмеля и их дозировка, идентифицированы органолептические свойства образцов пива, приготовленных разными методами сухого охмеления, приведена сравнительная оценка органолептических и физико-химических показателей образцов пива, охмеленных классическим способом (во время кипячения пивного сусла).

Ключевые слова: пиво, сухое охмеление, сорт хмеля, хмелевой экстрактор, вкусо-ароматический профиль.

Dry hopping of beer as a method of expansion range for small enterprises

Dmitry A. Kazartsev	¹	kda_79@mail.ru	 0000-0001-6597-2327
Andrey I. Klyuchnikov	¹	kaivanov@mail.ru	 0000-0002-8161-0040
Dina V. Klyuchnikova	²	dina.key@mail.ru	 0000-0002-5306-0328
Natalya V. Zueva	²	nataspirit30@ya.ru	 0000-0003-2840-398X
Ivan N. Krivanosov	²		
Daniil R. Kuligin	²		

¹ K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management, 73 Zemlyanoy Val street, Moscow, 109004, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Today, in the conditions of mini-breweries of various production capacities, the urgent task is the constant search and development of new non-traditional varieties of beer, their improvement in order to expand the range of drinks with various exquisite tastes and aromatic shades. Undoubtedly, these conditions are one of the elements of sustainable growth and success in the development of the brewing industry. Traditional hopping during the boiling of beer wort is inevitably accompanied by the loss of some aromatics, enhanced by the transformation of aromatic compounds during fermentation. The purpose of dry hopping is to infuse the beer with additional fresh hop flavor and aroma. Dry hopping is a cold infusion that not only increases the intensity of the hop aromatics, but also adds notes that are significantly different from those produced by late hopping during the boil. A necessary basis for obtaining new varieties of beer with unique and inimitable taste and aromatic characteristics is the use of certain aromatic varieties of hops added to drinks in a certain dosage in the required sequence, at various technological stages of their production and in various combinations. This article discusses methods for dry hopping beer at the stage of main fermentation and after its post-fermentation, provides methods and experimental equipment for preparing beer wort, fermentation and dry hopping, indicates the varieties of hops used and their dosage, identifies the organoleptic properties of beer samples prepared by different dry hopping methods hopping, a comparative assessment of the organoleptic and physico-chemical parameters of beer samples hopped in the classical way (during boiling of beer wort) is given.

Keywords: beer, dry hopping, hop variety, hop extractor, flavor and aroma profile.

Для цитирования

Казарцев Д. А., Ключников А. И., Ключникова Д. В., Зуева Н. В., Криваносов И. Н., Кулигин Д. Р. Сухое охмеление пива как способ расширения ассортимента в условиях малых предприятий // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 138–145. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-138-145

For citation

Kazartsev D.A., Klyuchnikov A.I., Klyuchnikova D.V., Zueva N.V., Krivanosov I.N., Kuligin D.R. Dry hopping of beer as a method of expansion range for small enterprises. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 138–145. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-138-145

Введение

В настоящее время актуальным является вопрос по разработке новых сортов пива с более изысканными и разнообразными оттенками вкуса и аромата ввиду того, что потребитель стал более разборчиво подходить к выбору определенного сорта, соответствующего его запросам. Обилие информации о сортах пива, способах его производства, видах используемого сырья, в т. ч. нетрадиционного, требует от владельцев пивоваренного бизнеса постоянного поиска новых нестандартных решений в рецептурах напитков для привлечения новых клиентов.

Одним из легко доступных способов расширения ассортимента и улучшения вкусо-ароматической составляющей пива является технология сухого охмеления, которая на сегодняшний день остается наиболее доступной и легко реализуемой в условиях пивоваренного производства малой мощности. При этом, технология сухого охмеления пива существенным образом не влияет на горечь конечного продукта и предназначена, главным образом, для формирования хмелевого аромата. Важным остается выбор технологии и техники для сухого охмеления, сортов хмеля и их сочетания, стадий, на которых предполагается внесение хмелепродуктов.

Безусловно, на первом месте остается сенсорный анализ готовой продукции, который на малом предприятии может быть осуществлен при помощи дескрипторно-профильного метода, позволяющего выстроить графическую визуальную модель вкусо-ароматических характеристик пива. Это становится возможным при сравнении вариаций продукта с измененными составами относительно друг друга и последующего выбора варианта, получившего максимальную оценку дегустаторов. Созданные в ходе такого анализа индивидуальные признаки напитка позволяют определить, в каких пределах можно изменять

вкусо-ароматические характеристики продукта в зависимости от их количественной величины.

Цель работы – изучение физико-химических и органолептических свойств пива, полученного различными способами сухого охмеления.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования по сухому охмелению пива проводились в ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» (с 2023 г. по наст. время).

При выполнении настоящей работы использовались общепринятые для пивоваренной отрасли методы анализа: ГОСТ 12786–80 «Пиво. Правила приемки и методы отбора проб», ГОСТ 12787–81 «Пиво. Методы определения спирта, действительного экстракта и расчет сухих веществ в начальном сусле», ГОСТ 12788–87 «Пиво. Методы определения кислотности», ГОСТ 12789–87 «Пиво. Методы определения цвета», ГОСТ 30060–93 «Пиво. Методы определения органолептических показателей и объема продукции», ГОСТ Р 51154–98 «Пиво. Методы определения двуокси углерода и стойкости».

Специальные методики были основаны на подготовке комплекта технологического оборудования (настойной пивоварни, аппарата для брожения и созревания пива, фильтродержателя с колбой-картриджем, сетки-контейнера) к проведению процессов сухого охмеления пива.

Лабораторная пивоварня настольного типа (рисунок 1, а) представляла собой вертикальный цилиндрический корпус, в нижней части которого установлен ТЭН с электронным программируемым контроллером для выбора необходимой температуры, мощности нагревания, продолжительности ферментативных пауз. Внутри вертикального цилиндрического корпуса установлена перфорированная корзина для измельченного солода.



Рисунок 1. Лабораторная пивоварня настольного типа: (а) комплект оборудования для затирания, фильтрации заторной массы, кипячения и охлаждения пивного сусла; (б) аппарат для брожения и созревания

Figure 1. Tabletop laboratory brewery: (a) a set of equipment for mashing, mash filter, boiling and cooling of beer wort; (b) fermentation and maturation apparatus

Устройство снабжалось охладителем змеевикового типа для охлаждения охмеленного пивного сусла до температуры главного брожения 12–14 °С. Для обеспечения равномерного нагревания заторной массы, сусла во время его кипячения с хмелем предназначался циркуляционный насос. С целью предотвращения попадания крупных твердых частиц в циркуляционный насос на выпускной патрубке внутри корпуса устанавливалась фильтр-патрон. Для минимизации контакта заторной массы и пивного сусла с кислородом воздуха и потерь теплоты сверху корпус закрывали стеклянной крышкой.

Лабораторная пивоварня настольного типа работала следующим образом. После предварительной мойки и дезинфекции деталей, входящих в комплект пивоварни, насоса и продуктовых линий обеспечивали набор воды в заданном количестве, обычно составляющим около 8–9 л, которую нагревали до температуры 52–55 °С, используя ТЭН с контроллером и циркуляционный насос. По достижению заданной температуры воды в нее медленно задавали измельченный солод в количестве 2,2–2,8 кг при постоянном перемешивании. Циркуляционный насос в этом случае не использовали, перемешивание заторной массы осуществляли вручную с помощью заторной лопатки. После получения бескомковатой заторной массы последовательно проводили ферментативные паузы (мальтозную и паузу осахаривания) при температурах 62 и 72 °С соответственно.

Окончание осахаривания устанавливали по йодной пробе. Затем заторную массу подогрели до 78 °С и оставляли в покое на 10 мин для оседания взвешенных частиц солода на сетчатое днище корзины. Далее корзину поднимали и ставили на специальные опоры, расположенные на внутренней поверхности цилиндрического

корпуса для стекания первого сусла. После этого осуществляли промывку дробины горячей водой температурой 78–80 °С для извлечения остатков первого сусла. Процесс промывки дробины вели до достижения объема пивного сусла 10–12 л. Затем из корпуса полностью извлекали корзину с промытой дробинкой, содержимое корпуса начинали подогревать до температуры кипения, используя ТЭН с контроллером, пивные магистрали и циркуляционный насос. При температуре 92–94 °С задавали первую порцию хмеля в заданном количестве, вторую порцию хмеля вносили в середине кипячения, а третью порцию – за 10–15 мин. до окончания процесса. Сорт и количество вносимого хмеля определяли в зависимости от ожидаемых вкусо-ароматических особенностей приготавливаемого пива. Циркуляцию пивного сусла обеспечивал циркуляционный насос. По завершению процесса кипячения выдерживали паузу 10 мин. для оседания взвешенных частиц хмеля и коагулированного белка на днище корпуса.

Затем в горячее сусло аккуратно опускали змеевик для охлаждения его до температуры брожения 12–15 °С. Циркуляционный насос перекачивал охлаждаемое сусло «на себя», фильтр-патрон препятствовал попаданию взвешенных частиц хмеля и белка в насос.

Далее осуществляли перелив охлажденного сусла в аппарат для брожения и созревания (рисунок 1, б), вносили расчетное количество сухих дрожжей и гранулированного хмеля. Дополнительное охмеление проводилось расчетным количеством хмеля, вносимым в бродильную емкость в сетке-контейнере перед ее заполнением. Затем аппарат помещали в холодильный шкаф с температурой 12–15 °С для главного брожения в течение 6–8 сут.

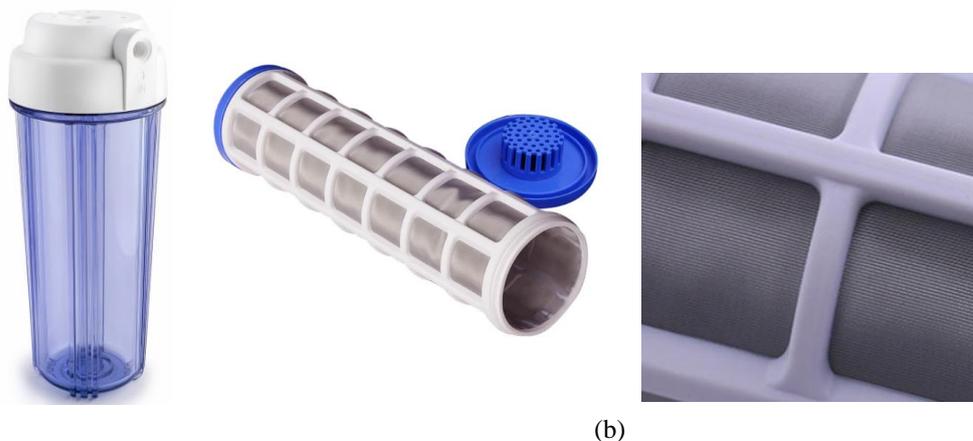


Рисунок 2. Фильтродержатель (а) и колба-картридж; (б) для загрузки гранулированного хмеля
Figure 2. Filter holder (a) and flask cartridge; (b) for loading granulated hops

По окончании процесса главного брожения из нижней части аппарата для брожения аккуратно сбрасывали осевшие дрожжи и производили перелив сброженного суслу в стеклянные бутылки, в которых осуществляли дображивание при 2–4 °С в течение 25–30 сут.

Другой способ охмеления осуществляли в условиях мини-пивоварни, который заключался в подключении фильтродержателя (рисунок 2, а) с гранулированным хмелем к танку с готовым пивом. Сухое охмеление осуществляли в динамическом режиме, за счет пропуска пива через гранулированный хмель в течение определенного времени. Благодаря свободному пространству в колбе-картридже (рисунок 2, б) в процессе охмеления создавалась свободная циркуляция гранулированного хмеля в потоке пива, обеспечивающая его равномерную экстракцию. Также в процессе данного способа охмеления все частицы хмеля оставались внутри колбы-картриджа, что способствовало улучшению прозрачности готового пива.

Результаты и обсуждение

Сухое охмеление на стадии главного брожения. У образца № 1 после сухого охмеления гранулированным хмелем «Citra» в количестве 10 г/л преобладала выраженная хмелевая горечь. После дегустации образец № 1 оставлял на языке вкус приятной ненавязчивой хмелевой горечи, который также постепенно исчезал, не оставляя привкуса. Вкус анализируемого пива также оставался солодовым, чистым,

хорошо выраженным. Посторонние привкусы отсутствовали, приятная текстура сохранялась. В аромате пива преобладали цитрусовые, карамельные, фруктовые, травяные, смоляные тона, вызванные, главным образом, ароматным хмелем «Citra», вносимым в сусло в процессе его главного брожения. Наличие дрожжевого и фенольного ароматов практически не ощущалось из-за преобладающей хмелевой ароматической составляющей. В результате органолептической оценки были выявлены следующие результаты. Контрольный образец (таблица 1), приготовленный без сухого охмеления и образцы с сухим охмелением во время главного брожения, но с разной дозировкой вносимого хмеля полностью соответствовали стилю светлого пива. Все образцы пива имели золотистый цвет, с незначительной опалесценцией, наливались в бокал с небольшой малоустойчивой шапкой пены, поддерживаемой пузырьками поднимающегося углекислого газа. По вкусу и аромату контрольный образец и образец № 1 сбалансированы, в целом, по вкусу, у образца № 1 выдавался цитрусовый оттенок, послевкусие долгое, полнота вкуса (тело) – средняя, текстура гладкая, карбонизация средняя. У образца № 2 после сухого охмеления гранулированным хмелем «Citra» в количестве 20 г/л сильно выдавался хмелевой оттенок с долгим маслянистым послевкусием с присутствием травянистого тона. Вкус, скорее всего, не сбалансирован, полнота вкуса – средняя, текстура маслянистая, карбонизация средняя.

Таблица 1.

Результаты дегустационной оценки образцов пива

Table 1.

Results of tasting evaluation of beer samples

Образец	Показатели качества								Итого, балл Total, score
	Прозрачность Transparency	Цвет Color	Вкус Taste	хмелевая горечь hop bitterness	Аромат Aroma	Пенообразование Foaming	Высота пены, мм Foam height, mm	пеностойкость, мин foaming resistance, min	
Контрольный Control	1	3	4	5	2	4	20	3	22
№ 1	1	2	5	5	4	3	20	3	23
№ 2	1	2	3	2	4	3	20	3	18

Следует отметить, что образец № 1 обладал более приятным цитрусовым ароматом со вкусом светлого солода, сбалансированной горечью, которая не носила главенствующего характера. Слабая опалесценция всех оцениваемых образцов была вызвана отсутствием фильтрования и стабилизации напитка.

Таким образом, внесение хмеля «Citra» на стадии главного брожения в количестве 10 г/12 л позволяет получить напиток с более сбалансированным вкусом и выраженным цитрусовым ароматом, чем пиво, приготовленное по классической технологии без сухого охмеления.

Сухое охмеление динамическим способом.

Для того чтобы произвести подобную оценку также опирались на вкус и аромат исходного образца пива, приготовленного без сухого охмеления.

У пива сорта «Пражское» (12%) преобладала тонкая хмелевая горечь, которая не являлась достаточно выразительной и резкой. После дегустации пиво оставляло на языке вкус приятной хмелевой горечи, который быстро исчезал, не оставляя привкуса. Вкус анализируемого пива – солодовый, чистый, хорошо выраженный, без посторонних привкусов, не свойственных

данному типу напитка. Отмечался умеренный сладковатый привкус, что не являлось недостатком. Отсутствие посторонних привкусов у анализируемого пива говорило о соблюдении технологических режимов на стадиях затирания, брожения и созревания. Приятная текстура у анализируемого пива была вызвана гармоничным содержанием спирта и умеренной насыщенностью диоксидом углерода.

В аромате пива преобладали карамельные и фруктовые тона, вызванные использованным сырьем при производстве: карамельным солодом и ароматным хмелем «Saaz», вносимым в сусло за 10 мин. до окончания кипячения. Причем, чистый аромат у пива свидетельствовал о правильных режимах хранения сырья и грамотной логистикой его закупок в необходимом количестве.

Следует отметить наличие слабо выраженных дрожжевого и диацетилового ароматов. Их наличие вызвано, главным образом, технологией классического брожения и созревания пива, а также отсутствием процессов фильтрации и стабилизации. Указанные недостатки не снижали общую положительную картину восприятия вкуса и аромата анализируемого пива.

У пива сорта «Пражское» (12%) после сухого охмеления гранулированным хмелем «Saaz» (Чехия) в количестве 5 г/л преобладала выраженная хмелевая горечь, которая в соответствии с общепринятой классификацией, продолжала оставаться достаточно выразительной. После дегустации образец пива оставлял на языке вкус приятной ненавязчивой хмелевой горечи, который также постепенно исчезал, не оставляя привкуса. Вкус анализируемого пива также оставался солодовым, чистым, хорошо выраженным, но уже с умеренным преобладанием хмелевой горечи. Наличие умеренного сладковатого привкуса также диагностировалось. Посторонние привкусы у дегустируемого пива, как и в образце, анализируемом ранее, отсутствовали. Приятная текстура у анализируемого пива сохранялась. В аромате пива преобладают карамельные, фруктовые, травяные, смоляные тона, вызванные, главным образом, ароматным хмелем «Saaz», вносимым в пиво в процессе его сухого охмеления в течение 120 мин. Наличие дрожжевого и фенольного ароматов практически не ощущалось из-за преобладающей хмелевой ароматической составляющей.

У пива сорта «Пражское» (12%) после сухого охмеления гранулированным хмелем «Saaz» (Чехия) в количестве 10 г/л преобладала сильно выраженная, грубая хмелевая горечь, которая в соответствии с общепринятой классификацией, была уже достаточно выразительной и резкой. После дегустации образец пива оставлял на языке вкус неприятной навязчивой хмелевой горечи, который долго не исчезал из-за обволакивания языка и неба хмелевыми смолами. Вкус анализируемого пива был с сильным преобладанием хмелевой горечи. Сладковатый привкус уже не ощущался. Посторонние привкусы у дегустируемого пива присутствовали в виде цветочного и смоляного ароматов. Приятная текстура у анализируемого пива уже была не сохранена. В аромате пива сильно преобладали фруктовые, травяные, смоляные тона, вызванные, главным образом, ароматным хмелем «Saaz», вносимым в пиво в процессе его сухого охмеления в течение 120 мин в концентрации 10 г/л. Наличие дрожжевого и фенольного ароматов не ощущалось из-за сильно преобладающей хмелевой ароматической составляющей.

Как следует из рисунка 3, в результате динамического сухого охмеления горечь пива линейно возрастала с течением времени. Так после 110 мин циркуляции пива через хмелевой экстрактор показатели горечи составили 22–23% IBU, что, в принципе, соответствовало общепринятой классификации пива по показателю горечи для светлых лагерных сортов. Таким образом, горечь пива в результате сухого охмеления, возрастала всего на 2–3% IBU.

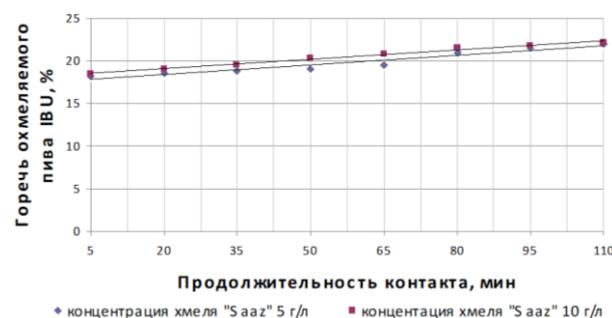


Рисунок 3. Зависимость горечи охмеляемого пива от продолжительности сухого охмеления

Figure 3. Dependence of the bitterness of hopped beer on the duration of dry hopping

Физико-химические показатели пива сорта «Пражское» (12%) после сухого охмеления представлены в таблице 2.

Таблица 2.
Физико-химические показатели пива сорта «Пражское» (12%) после сухого охмеления

Table 2.

Physico-chemical parameters of Prazhskoe beer (12%) after dry hopping

Показатель Index	«Пражское» (12%)		
	1	2	3
Температура, град. Temperature, deg.	17,03	17,5	18,77
Плотность относительная Relative density	1,0114	1,0117	1,0118
Содержание спирта, об. % Alcohol content, vol. %	5,03	5,01	4,99
Экстрактивность начального сусла, % Extractivity of initial wort, %	12,3	12,3	12,3
Действительная степень сбраживания, % Actual degree of digestion, %	61,9	61,5	61,2
Видимая степень сбраживания, % Visible degree of digestion, %	76,5	76,0	75,8
Видимый экстракт, % Visible extract, %	2,88	2,95	2,99
Энергетическая ценность, ккал Energy value, kcal	50,9	51,1	51,1

Примечание: Пиво соответствует ГОСТ 31711–2012 «Пиво. Общие технические условия». Незначительное повышение экстрактивности, вероятно, вызвано процессом сухого охмеления, главным образом, контактом хмеля с пивом

Заключение

В целом, подводя итог по оценке данных образцов пива, можно сказать, что формирование вкуса и аромата при сухом охмелении сильно зависело от сорта хмеля, продолжительности и режимов организации процесса сухого охмеления. Например, некоторые вкусовые качества пива можно регулировать технологическим путем, выбирая соответствующий сорт хмеля или изменяя процесс сухого охмеления, при котором необходимо учитывать возможное воздействие его на остальные вкусовые качества.

Также следует отметить, что для многих потребителей пивной аромат, достигнутый сухим

охмелением предпочтительней, чем в пиве полученным классическим охмелением, т. е. при кипячении пивного сусла. В этом случае, хмелевой аромат характеризуется большей интенсивностью и стабильностью.

На практике для сухого охмеления используют только ароматные сорта хмеля с низким содержанием кислоты. Поскольку этот метод преследует главную цель – передать аромат готовому пиву, то определяющим показателем при выборе хмеля для сухого охмеления, является количество смол, а не уровень содержащихся в нем α - и β -кислот.

Литература

- 1 Гернет М.В., Грибкова И.Н. Современные способы использования хмелепродуктов в пивоварении // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 4. С. 34–42.
- 2 Гернет М.В., Грибкова И.Н., Борисенко О.А., Захаров М.А. и др. Исследование миграции полифенолов хмеля в технологии пива при различных способах охмеления // Техника и технология пищевых производств. 2021. № 3. С. 628–638.
- 3 Грибкова И.Н., Борисенко О.А. Влияние соединений хмеля на формирование органолептических показателей пива при «холодном» способе охмеления // Пиво и напитки. 2021. № 1. С. 30–35.
- 4 Матвеева Н.А., Титов А.А. Выбор сорта хмеля для технологии сухого охмеления // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 4. С. 120–125.
- 5 Матвеева Н.А., Титов А.А. Применение технологии сухого охмеления в пивоварении // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. № 1. С. 111–118.
- 6 Новикова И.В., Рукавицын П.В., Муравьев А.С. Оптимизация технологических параметров процесса сухого охмеления с разработкой методики интегральной оценки качества пива // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 3. С. 163–172.
- 7 Тишин В.Б., Кондратьев Д.В. Процесс кипячения и охмеления пивного сусла с газлифтной циркуляцией // Пиво и напитки. 2006. № 6. С. 8–9.
- 8 Федоренко Б.Н. Пивоваренная инженерия: технологическое оборудование отрасли. СПб.: Профессия, 2009. 998 с.
- 9 Федоренко Б.Н., Орлов И.А., Каледин И.М., Скоморохов Н.С. Оценка эффективности современного способа экстракции хмеля в пивоваренной промышленности с применением специализированного оборудования // Health, Food & Biotechnology. 2020. № 3. С. 57–66.
- 10 Христюк А.В., Касьянов Г.И. Хмель в пивоварении // Пиво и напитки. 2007. № 1. С. 10–12.
- 11 Новикова И.В., Рукавицын П.В., Муравьев А.С. Обзор: сухое охмеление в пивоварении // Вестник ВГУИТ. 2018. №2 (76). С. 144 – 149.
- 12 Бородулин Д.М., Сафонова Е.А., Просин М.В., Миленский И.О. Исследование процесса охмеления пивного сусла с применением современного оборудования // Современные материалы, техника и технологии. 2017. №3 (11). С. 16 – 21.
- 13 Хоконова М.Б. Применение хмеля в пивоваренном производстве // Символ науки. 2015. №7-1. С. 54 – 56.

- 14 Хоконова М.Б., Терентьев С.Е. Рациональные способы дозировки хмеля в пивоваренном производстве // Пиво и напитки. 2017. №2. С. 22 – 24.
- 15 Коростелев А.В., Рукавицын П.В., Новикова И.В., Кучменко Т. и др. Исследование ароматобразующих компонентов хмеля с применением сенсоров // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2020. №3 (34). С. 479–486.
- 16 Donaldson B.A., Bamforth C.W., Heymann H. Sensory Descriptive Analysis and Free-Choice Profiling of Thirteen Hop Varieties as Whole Cones and After Dry Hopping of Beer // Cerevisia. 2013. V. 2. №. 38. P. 56. doi: 10.1016/j.cervis.2013.09.023
- 17 Gasiński A., Kawa-Rygielska J., Paszkot J., Pietrzak W. et al. Second life of hops: Analysis of beer hopped with hop pellets previously used to dry-hop a beer // LWT. 2022. V. 159. P. 113186.
- 18 Hrabia O., Ditrych M., Ciosek A., Fulara K. et al. Effect of dry hopping on the oxidative stability of beer // Food Chemistry. 2022. V. 394. P. 133480.
- 19 Lafontaine S., Varnum S., Roland A., Delpech S. et al. Impact of harvest maturity on the aroma characteristics and chemistry of Cascade hops used for dry-hopping // Food chemistry. 2019. V. 278. P. 228-239.
- 20 Oladokun O., James S., Cowley T., Dehrmann F. et al. Perceived bitterness character of beer in relation to hop variety and the impact of hop aroma // Food Chemistry. 2017. V. 230. P. 215-224.

References

- 1 Gernet M.V., Gribkova I.N. Modern methods of using hop products in brewing. Storage and processing of agricultural raw materials. 2020. no. 4. pp. 34–42. (in Russian).
- 2 Gernet M.V., Gribkova I.N., Borisenko O.A., Zakharov M.A. et al. Study of the migration of hop polyphenols in beer technology with various methods of hopping. Equipment and technology of food production. 2021. no. 3. pp. 628–638. (in Russian).
- 3 Gribkova I.N., Borisenko O.A. The influence of hop compounds on the formation of organoleptic characteristics of beer during the “cold” hopping method. Beer and drinks. 2021. no. 1. pp. 30–35. (in Russian).
- 4 Matveeva N.A., Titov A.A. Choosing a hop variety for dry hopping technology. Scientific journal of NRU ITMO. Series “Processes and apparatus of food production”. 2014. no. 4. pp. 120–125. (in Russian).
- 5 Matveeva N.A., Titov A.A. Application of dry hopping technology in brewing. Scientific journal of NRU ITMO. Series “Processes and apparatus of food production”. 2015. no. 1. pp. 111–118. (in Russian).
- 6 Novikova I.V., Rukavitsyn P.V., Muravyov A.S. Optimization of technological parameters of the dry hopping process with the development of a methodology for integral assessment of beer quality. Storage and processing of agricultural raw materials. 2021. no. 3. pp. 163–172. (in Russian).
- 7 Tishin V.B., Kondratyev D.V. The process of boiling and hopping beer wort with gas-lift circulation. Beer and drinks. 2006. no. 6. pp. 8–9. (in Russian).
- 8 Fedorenko B.N. Brewing engineering: technological equipment of the industry. St. Petersburg: Profession, 2009. 998 p. (in Russian).
- 9 Fedorenko B.N., Orlov I.A., Kaledin I.M., Skomorokhov N.S. Assessing the effectiveness of a modern method of hop extraction in the brewing industry using specialized equipment. Health, Food & Biotechnology. 2020. no. 3. pp. 57–66. (in Russian).
- 10 Khristyuk A.V., Kasyanov G.I. Hops in brewing. Beer and drinks. 2007. no. 1. pp. 10–12. (in Russian).
- 11 Novikova I.V., Rukavitsyn P.V., Muravyov A.S. Review: dry hopping in brewing. Proceedings of VSUET. 2018. no. 2 (76). pp. 144 – 149. (in Russian).
- 12 Borodulin D.M., Safonova E.A., Prosin M.V., Milenky I.O. Study of the process of hopping beer wort using modern equipment. Modern materials, equipment and technologies. 2017. no. 3 (11). pp. 16 – 21. (in Russian).
- 13 Khokonova M.B. The use of hops in brewing production. Symbol of science. 2015. no. 7-1. pp. 54–56. (in Russian).
- 14 Khokonova M.B., Terentyev S.E. Rational methods of dosing hops in brewing production. Beer and drinks. 2017. no. 2. pp. 22–24. (in Russian).
- 15 Korostelev A.V., Rukavitsyn P.V., Novikova I.V., Kuchmenko T. et al. Study of aroma-forming components of hops using sensors. News of universities. Applied chemistry and biotechnology. 2020. no. 3 (34). pp. 479–486. (in Russian).
- 16 Donaldson B.A., Bamforth C.W., Heymann H. Sensory Descriptive Analysis and Free-Choice Profiling of Thirteen Hop Varieties as Whole Cones and After Dry Hopping of Beer. Cerevisia. 2013. vol. 2. no. 38. pp. 56. doi: 10.1016/j.cervis.2013.09.023
- 17 Gasiński A., Kawa-Rygielska J., Paszkot J., Pietrzak W. et al. Second life of hops: Analysis of beer hopped with hop pellets previously used to dry-hop a beer. LWT. 2022. vol. 159. pp. 113186.
- 18 Hrabia O., Ditrych M., Ciosek A., Fulara K. et al. Effect of dry hopping on the oxidative stability of beer. Food Chemistry. 2022. vol. 394. pp. 133480.
- 19 Lafontaine S., Varnum S., Roland A., Delpech S. et al. Impact of harvest maturity on the aroma characteristics and chemistry of Cascade hops used for dry-hopping. Food chemistry. 2019. vol. 278. pp. 228-239.
- 20 Oladokun O., James S., Cowley T., Dehrmann F. et al. Perceived bitterness character of beer in relation to hop variety and the impact of hop aroma. Food Chemistry. 2017. vol. 230. pp. 215-224.

Сведения об авторах

Дмитрий А. Казарцев д.т.н., профессор заведующий кафедрой, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kda_79@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

Андрей И. Ключников д.т.н., профессор, кафедра технологии виноделия, бродильных производств и химии им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kaivanov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8161-0040>

Дина В. Ключникова к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, dina.key@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5306-0328>

Наталья В. Зуева к.т.н., доцент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nataspirt30@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>

Иван Н. Криваносов аспирант, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Даниил Р. Кулигин студент, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Dmitry A. Kazartsev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kda_79@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

Andrey I. Klyuchnikov Dr. Sci. (Chem.), professor, winemaking technology, fermentation production and chemistry named after G.G. Agabalyantsa department, Moscow State University of Technology and Management. K.G. Razumovsky, st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, kaivanov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8161-0040>

Dina V. Klyuchnikova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technology of animal products department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dina.key@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5306-0328>

Natalya V. Zueva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nataspirt30@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2840-398X>

Ivan N. Krivanosov graduate student, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Daniil R. Kuligin student, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 19/04/2024	После редакции 13/05/2024	Принята в печать 31/05/2024
Received 19/04/2024	Accepted in revised 13/05/2024	Accepted 31/05/2024

Нутрициологический потенциал мясного паштета из конины с молочным соусом

Балсекер М. Нурғалиева	1	janslu_0@mail.ru	 0000-0002-8700-6629
Софья С. Зюзина	2	frankiblu@yandex.ru	 00009-0006-9622-1407
Кристина Е. Белоглазова	2	k.beloglazova@yandex.ru	 0000-0002-0665-9928
Гульсара Е. Рысмұхамбетова	2	gerismuh@yandex.ru	 0000-0003-4224-5922
Ульяна М. Курако	2	kum13@rambler.ru	 0000-0002-5066-6789
Лидия В. Карпунина	2	karpuninal@mail.ru	 0000-0002-9985-9944

1 Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем, ул. М. Маметовой, 81, г. Уральск, 090009, Республика Казахстан

2 Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, г. Саратов, 410012, Россия

Аннотация. В работе изучали нутрициологический потенциал мясного паштета из конины с молочным соусом. Известно, что одним из перспективных вариантов расширения сырьевой базы мясной отрасли является вовлечение мяса конины в производство продуктов специализированного питания. В связи с этим целью исследований явилось разработка комплексной оценки белкового состава мясного паштета из конины с молочным соусом. Задачами работы явились: определение содержания массовой доли белка и аминокислотного состава мясного паштета из конины с молочным соусом, также определение полноценности белка с учетом аминокислотного сора и расчет коэффициентов сбалансированности аминокислотного состава и различий аминокислотного сора. Для определения аминокислотного состава были использованы справочные данные химического состава пищевых продуктов. Биологическую ценность белков определяли методом расчета аминокислотного сора. В качестве контроля использовали технологию мясного изделия «Паштет куриный школьный», в состав которого входили куриное мясо бланшированное, бульон куриный, яичная масса, масло коровье сливочное, морковь бланшированная, лук репчатый пассерованный, соль поваренная, перец черный молотый. В качестве опытного образца использовали технологию производства мясного изделия «Мясной паштет из конины». Установлено, что содержание массовой доли белков по сравнению с контролем в опытном образце мясного паштета из конины с молочным соусом было выше на 1,5 %. В ходе расчета аминокислотного состава выявлено, что мясной паштет из конины с молочным соусом больше всего содержит лейцина 0,357 г в 100 г белка по сравнению с остальными аминокислотами. Также было установлено, что разработанный мясной паштет из конины с молочным соусом имеет две лимитирующие кислоты, которые содержатся в наименьшем количестве – первая метионин 0,027 доля единиц и вторая фенилаланин 0,032 доля единиц, а в контроле – метионин - 0,740 и триптофан -0,340 доля единиц соответственно. Установлено, что в разработанном мясном паштете с молочным соусом коэффициент утилитарности больше контроля и данный продукт будет усваиваться лучше. Таким образом, оценка комплексной сбалансированности мясного паштета из конины с молочным соусом показала повышение сбалансированности продукта и уменьшение содержания аминокислот в продукте, что подразумевает комбинирование его с другими продуктами в суточном рационе.

Ключевые слова: конина, мясные паштеты, диетический продукт, безопасность, соус молочный, аминокислотный состав, пищевые волокна, специализированный продукт, функциональные ингредиенты, коровье молоко.

Nutritional potential of horsemeat pate with milk sauce

Balseker M. Nurgalieva	1	janslu_0@mail.ru	 0000-0002-8700-6629
Sofia S. Zyuzina	2	frankiblu@yandex.ru	 00009-0006-9622-1407
Kristina E. Beloglazova	2	k.beloglazova@yandex.ru	 0000-0002-0665-9928
Gulsara E. Rysmukhambetova	2	gerismuh@yandex.ru	 0000-0003-4224-5922
Ulyana M. Kurako	2	kum13@rambler.ru	 0000-0002-5066-6789
Lydia V. Karpunina	2	karpuninal@mail.ru	 0000-0002-9985-9944

1 Kazakhstan University of Innovative and Telecommunication Systems, 81 M. Mametova str., Uralsk, 090009, Kazakhstan

2 Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, ave. Petra Stolypina zd. 4, p. 3, Saratov, 410012, Russia

Для цитирования

Нурғалиева Б.М., Зюзина С.С., Белоглазова К.Е., Рысмұхамбетова Г.Е., Курако У.М., Карпунина Л.В. Нутрициологический потенциал мясного паштета из конины с молочным соусом // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 146–152. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-146-152

For citation

Nurgalieva B.M., Zyuzina S.S., Beloglazova K.E., Rysmukhambetova G.E., Kurako U.M., Karpunina L.V. Nutritional potential of horsemeat pate with milk sauce. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 146–152. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-146-152

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Abstract. The work studied the nutritional potential of horse meat pate with milk sauce. It is known that one of the promising options for expanding the raw material base of the meat industry is the involvement of horse meat in the production of specialized food products. In this regard, the goal of the research was to develop a comprehensive assessment of the protein composition of horse meat pate with milk sauce. The objectives of the work were: determining the content of the mass fraction of protein and the amino acid composition of horse meat pate with milk sauce, also determining the usefulness of the protein taking into account the amino acid score and calculating the balance coefficients of the amino acid composition and differences in the amino acid score. To determine the amino acid composition, reference data on the chemical composition of food products was used. The biological value of proteins was determined by calculating the amino acid score. As a control, we used the technology of the meat product “Chicken school pate”, which included blanched chicken meat, chicken broth, egg mass, butter, blanched carrots, sautéed onions, table salt, ground black pepper. The production technology of the meat product “Horse meat pate” was used as a prototype. It was found that the content of the mass fraction of proteins compared to the control in the experimental sample of horse meat pate with milk sauce was higher by 1.5%. When calculating the amino acid composition, it was revealed that horse meat pate with milk sauce contains the most leucine, 0.357 g per 100 g of protein, compared to other amino acids. It was also found that the developed horse meat pate with milk sauce has two limiting acids, which are contained in the smallest quantities - the first is methionine - 0.027 units and the second is phenylalanine - 0.032 units, and in the control - methionine - 0.740 and tryptophan - 0.340 units, respectively. It has been established that in the developed meat pate with milk sauce, the utilitarian coefficient is more controllable and this product will be better absorbed. Thus, an assessment of the complex balance of horse meat pate with milk sauce showed an increase in the balance of the product and a decrease in the content of amino acids in the product, which implies combining it with other products in the daily diet.

Keywords: horsemeat, meat pates, dietary product, safety, milk sauce, amino acid composition, dietary fiber, specialized product, functional ingredients, cow's milk.

Введение

В настоящее время сырьевая база для мясоперерабатывающей промышленности Российской Федерации нуждается в новых технологических решениях с учетом нутриентного состава. В первую очередь это связано не только с дефицитом полноценного белка, но и с обогащением продуктов пищевыми волокнами, витаминами и минеральными веществами. Поэтому актуальным становится разработка и внедрение новых технологических решений при производстве диетических и специализированных продуктов массового потребления из мяса конины [1].

Традиционно основными сырьевыми источниками для мясной промышленности являются говядина, свинина, мясо птицы. Кроме этого, во многих регионах страны мясо конины, баранины, козлятины и т. д. также становится основным сырьем для выработки готовой продукции различных видов [2].

Кроме этого, внедрение разработанных технологий по переработке мяса конины, позволяющей расширить ассортимент готовой продукции за счет использования пищевых волокон, является перспективным направлением [3].

Известно, что созревшее мясо конины является легкоусвояемым диетическим мясом с высоким содержанием полноценного белка [4]. Качественный состав протеинов конины близок к говядине, однако именно в конине уровень соединительнотканых белков выше на 25–30%, а содержание миоглобина на 18–20%. Все это способствует более жесткой консистенции и темному цвету конского мяса по сравнению с говядиной [5, 6].

Современное производство пищевых продуктов неотрывно связано с вовлечением пищевых волокон [7]. В мясоперерабатывающей промышленности пищевые волокна обычно используют для улучшения или сохранения природных качеств сырья или готовой продукции, интенсификации процесса производства мясных изделий, повышения органолептических характеристик и увеличения стабильности при хранении готовых продуктов [8].

Таким образом, в современных условиях импортозамещения производство высококачественной, экологически чистой и конкурентоспособной животноводческой продукции с высокой пищевой ценностью является актуальным [9].

Цель работы – разработка комплексной оценки белкового состава мясного паштета из конины с молочным соусом.

Для реализации поставленной цели были определены следующие задачи:

- провести исследования мясного паштета из конины с молочным соусом по содержанию массовой доли белка, аминокислотному составу;
- определить характеристики полноценности белка с учетом аминокислотного сора;
- рассчитать коэффициенты сбалансированности аминокислотного состава и различий аминокислотного сора.

Материалы и методы

Объектом исследования являлся мясной паштет из конины с молочным соусом.

Массовую долю белка определяли согласно ГОСТ 25011–2017 [10].

Для определения аминокислотного состава были использованы справочные данные химического состава пищевых продуктов [11].

Биологическую ценность белка определяли методом расчета аминокислотного сора [12, 13].

Наиболее доступным методом оценки биологической ценности продуктов питания является метод определения аминокислотного сора (*scor* – счёт, подсчёт), который рассчитывали по формуле 1:

$$AC = \frac{AK_{пр}}{AK_{нб}} \cdot 100, \quad (1)$$

где AC – аминокислотный сора, %; АК_{пр} – содержание любой незаменимой аминокислоты в 1 г белка исследуемого продукта, мг; АК_{нб} – содержание любой незаменимой аминокислоты в 1 г стандартного (эталонного, «идеального») белка, мг [14].

Качественную оценку белка рассчитывали определением коэффициента утилитарности, показателя «избыточности содержания» и показателя сопоставимой избыточности [12,13].

Результаты

Рассчитав массовую долю белка и аминокислотный состав мясного паштета из конины с молочным соусом, были определены две лимитирующие кислоты, которые содержатся в наименьшем количестве: первая – метионин и вторая – фенилаланин. Установлено, что разработанный мясной паштет из конины по своим характеристикам можно отнести к полноценному белку согласно расчетам аминокислотного сора. Рассчитанные коэффициенты сбалансированности аминокислотного состава и различий аминокислотного сора показали, что коэффициент утилитарности у мясного паштета из конины с молочным соусом в сравнении с контролем больше, то есть данный продукт будет усваиваться лучше.

Обсуждение

В качестве контроля использовали технологию мясного изделия «Паштет куриный школьный». В состав контрольного образца входили следующие ингредиенты: куриное мясо бланшированное, бульон куриный, яичная масса, масло коровье сливочное, морковь бланшированная, лук репчатый пассерованный, соль поваренная, перец черный молотый.

Ранее нами была разработана технология производства мясного изделия «Мясной паштет из конины», в состав которого входили: мясо конины бланшированное, молочный соус с гуараном, морковь бланшированная, лук репчатый пассерованный, соль поваренная, перец черный молотый [15]. На рисунке 1 показана массовая доля белка мясного паштета из конины с молочным соусом.

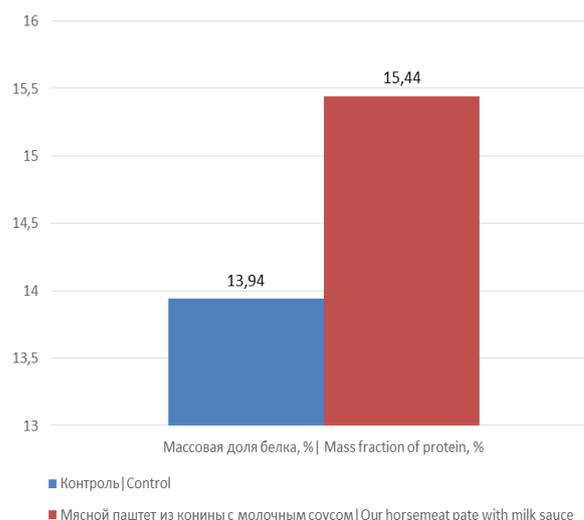


Рисунок 1. Массовая доля белка мясного паштета из конины с молочным соусом

Figure 1. Mass fraction of protein in our horsemeat pate with milk sauce

Из рисунка 1 видно, что содержание массовой доли белков по сравнению с контролем в опытном образце выше на 1,5%.

Результаты оценки аминокислотного состава общепринято выражать в мг/г белка или в г / 100 г. белка по каждой аминокислоте и суммарно. На рисунке 2 приведены данные полного аминокислотного состава мясного паштета из конины с молочным соусом.

Из рисунка 2 видно, что мясной паштет из конины с молочным соусом больше всего содержит лейцина 0,357 г. в 100 г. белка по сравнению с остальными аминокислотами. Лейцин необходим для снижения уровня сахара в крови, обеспечения азотистого баланса (необходим для обмена белков и углеводов), построения и нормальное развитие мышц, защиты клеток и тканей мышц от распада, синтеза протеина, укрепления иммунной системы, регуляции производства серотонина, заживления ран. Отсутствие или нехватка лейцина в организме может привести к нарушениям обмена веществ, остановке роста и развития, снижению массы тела [16].

Аминокислоту с самым низким скором принято называть лимитирующей (лат. *Limitus* – граница), именно она определяет степень усвоения белка организмом, так как аминокислоты со скором значительно превышающим лимитирующую не используются в биосинтезе белка и не депонируются в организме человека [17]. Как видно из рисунка 2, разработанный мясной паштет из конины с молочным соусом имеет две лимитирующие кислоты, которые содержатся в наименьшем количестве первая метионин

0,027 доля единиц и вторая фенилаланин 0,032 доля единиц, а в контроле это метионин 0,740 и триптофан 0,340 доля единиц. Наличие в продукте лимитирующей незаменимой аминокислоты (НЗАК) означает то, что такой продукт нельзя употреблять в пищу без комбинирования его с другими продуктами, имеющими достаточное количество данной проблемной аминокислоты [18]. Поэтому предлагается комбинировать мясной паштет из конины с молочным соусом с другими продуктами, например, многозерновым хлебом в котором содержится комплекс из трех незаменимых аминокислот: лейцин (0,556 г), изолейцин (0,323 г) и валин (0,397 г) – суммарное содержание 1,276 г в 100 г [19].

Также известно, что для обеспечения организма человека необходимыми белковыми

элементами пища должна содержать незаменимые аминокислоты в сбалансированных количествах. Для оценки этого показателя используется коэффициент утилитарности аминокислотного состава, который отражает сбалансированность незаменимых аминокислот в белке по сравнению с физиологически необходимой нормой (эталонным значением). Чем выше значение коэффициента утилитарности, тем лучше сбалансированы аминокислоты в белке и тем эффективнее они могут быть использованы организмом. Известно, что меньшая возможность утилизации незаменимых аминокислот в составе пищевого продукта наблюдается, когда их скорости максимальны или находятся близко к максимуму [20].

На рисунке 3 представлены коэффициенты сбалансированности аминокислотного состава.

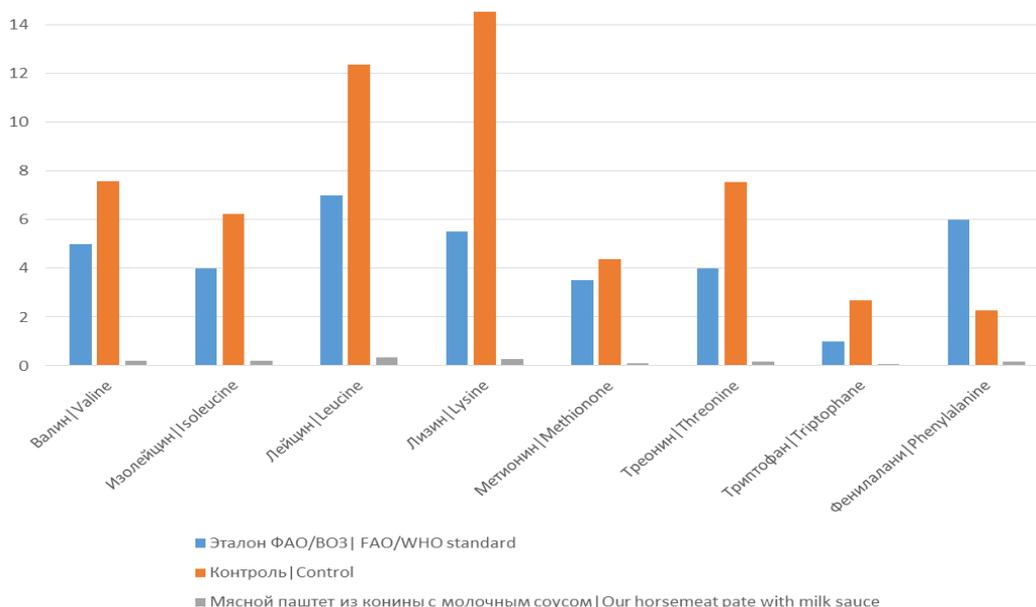


Рисунок 2. Содержание незаменимых аминокислот в мясном паштете из конины с молочным соусом

Figure 2. Content of essential amino acids in our horsemeat pate with milk sauce



Рисунок 3. Коэффициенты сбалансированности аминокислотного состава мясного паштета из конины с молочным соусом

Figure 3. Balance coefficients of the amino acid composition of our horsemeat pate with milk sauce

Известно, что усвоение аминокислот влияет коэффициент утилитарности. Так как в разработанном мясном паштете из конины с молочным соусом коэффициент утилитарности больше контроля, то данный продукт будет усваиваться лучше.

Заключение

Оценка комплексной сбалансированности мясного паштета из конины с молочным соусом показала повышение сбалансированности продукта, но уменьшение содержания аминокислот в продукте, что подразумевает комбинирование его с другими продуктами в суточном рационе.

Литература

- 1 Забалуева Ю.Ю., Бычкова Т.С., Лескова С.Ю. Использование нетрадиционных источников мясного сырья для производства продуктов масс-маркета // Вестник ВСГУТУ. 2022. № 3(86). С. 5–13.
- 2 Попова О.А. Ценность конского мяса как питательного материала // Научное и методическое обеспечение развития сельского хозяйства в Республике Саха (Якутия): сборник статей научно-практической конференции, посвященной 100-летию образования Якутской АССР, Якутск, 09 февраля 2022 года. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2022. С. 148–150.
- 3 Суходольская И.В. Продуктивное коневодство в Центральной России как один из способов восстановления массового коневодства и конепользования // Современные достижения и актуальные проблемы в коневодстве: сборник докладов международной научно-практической конференции, Дивово, 14 июня 2019 года. Дивово: Всероссийский научно-исследовательский институт коневодства, 2019. С. 236–243. doi: 10.25727/HS.2019.1.35395
- 4 Базарон Б.З., Хамируев Т.Н., Дашинимаев С.М., Костомахин Н.М. Производство молодой конины при пастбищно-тебеновочном содержании лошадей в условиях лесостепной зоны Забайкалья // Главный зоотехник. 2021. № 9(218). С. 37–46. doi: 10.33920/sel-03-2109-05
- 5 Баженова Б.А., Забалуева Ю.Ю., Колесникова И.С., Мелёшкина Н.В. Разработка технологии конской ветчины функционального назначения // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017. № 5. С. 101–114.
- 6 Токтосунов Б.И., Баймуканов Д.А., Абдурасулов А.Х. Аминокислотный состав и качество конины аборигенной кыргызской лошади // Вестник Тувинского государственного университета. № 2 Естественные и сельскохозяйственные науки. 2022. № 4(101). С. 51–61. doi: 10.24411/2221-0458-2022-101-51-61
- 7 Merenkova S.P., Zinina O.V., Stuart M. et al. Effects of dietary fiber on human health: A review // Human. Sport. Medicine. 2020. V. 20. № 1. P. 106–113. doi: 10.14529/hsm200113
- 8 Шагаева Н.Н., Колобов С.В. Научные и практические аспекты использования пищевых волокон в мясной промышленности // Актуальные проблемы социально-экономического развития современного общества: сборник статей I международной заочной научно-практической конференции, Киров, 20 апреля 2020 года. Киров: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кировский государственный медицинский университет" Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2020. С. 344–348.
- 9 Капогузов Е.А., Чупин Р.И., Харламова М.С. Импортзамещение в мясной промышленности: экспансия за доллар // ЭКО. 2020. № 11(557). С. 104–123. doi: 10.30680/ЕСО0131-7652-2020-11-104-123
- 10 ГОСТ 25011–2017. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. М: Стандартинформ, 2017. 13 с.
- 11 Скурихин И.М. Химический состав пищевых продуктов. Кн. 2: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро – и микро – элементов, органических кислот и углеводов. М.: Агропромиздат, 1987. 360 с.
- 12 Лисин П.А., Мусина О.Н., Кистер И.В., Чернопольская Н.Л. Методология оценки сбалансированности аминокислотного состава многокомпонентных пищевых продуктов // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2013. № 3(11). С. 53–58.
- 13 Лисин П.А., Молибога Е.А., Канушина Ю.А., Смирнова Н.А. Оценка аминокислотного состава рецептурной смеси пищевых продуктов // Аграрный вестник Урала. 2012. № 3(95). С. 26–28.
- 14 Мельденберг Д.Н., Полякова О.С., Семенова Е.С., Юрова Е.А. Разработка комплексной оценки белкового состава молока сырья различных сельскохозяйственных животных для выработки продуктов функциональной направленности // Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 3. С. 118–133. doi: 10.36107/spfp.2020.352
- 15 Пат. № 2784806, RU, A23L 13/60 Мясной паштет из конины / Нургалиева Б.М., Саукенова М.М., Рысмухамбетова Г.Е. и др.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова». № 2021133263, Заявл. 15.11.2021; Оpubл. 29.11.2022, Бюл. № 34.
- 16 Обухова Л.М., Ерлыкина Е.И. Биохимия. Метаболические аспекты биохимии детского возраста: учебник для студентов педиатрического факультета медицинских вузов. СПб.: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "СпецЛит", 2023. 464 с.
- 17 Литвицкий П.Ф., Мальцева Л.Д. Нарушения обмена белков, аминокислот и нуклеиновых кислот // Вопросы современной педиатрии. 2015. Т.14, № 1. С. 95–107.
- 18 Малиновский А.В. Биохимические причины лимитирующего характера треонина и других незаменимых аминокислот и отсутствия этого характера у некоторых млекопитающих и человека // Клиническая патофизиология. 2023. Т. 29. № 2. С. 33–42.
- 19 Пат. № 2702089, RU, A21D 13/04. Хлеб повышенной пищевой ценности и способ его изготовления / Долгих В.В. № 2018147043; Заявл. 27.12.2018; Оpubл. 03.10.2019, Бюл. № 28.
- 20 Ligotsky D.N., Argimbaeva K.V. Effect of grain size distribution of tailings during the formation of technogenic deposit on the fragmentation index // Sustainable Development of Mountain Territories. 2023. V. 15. №. 2(56). P. 275–282. doi: 10.21177/1998-4502-2023-15-2-275-282

References

- 1 Zabalueva Yu.Yu., Bychkova T.S., Leskova S.Yu. The use of non-traditional sources of raw meat for the production of mass market products. Bulletin of VSGUTU. 2022. to. 3(86). pp. 5–13. (in Russian).
- 2 Popova O.A. The value of horse meat as a nutritious material // Scientific and methodological support for the development of agriculture in the Republic of Sakha (Yakutia): a collection of articles from a scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the formation of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic, Yakutsk, February 09, 2022. Yakutsk, NEFU Publishing House, 2022. pp. 148–150. (in Russian).

- 3 Sukhodolskaya I.V. Productive horse breeding in Central Russia as one of the ways to restore mass horse breeding and horse use. Modern achievements and current problems in horse breeding: collection of reports of the international scientific and practical conference, Divovo, June 14, 2019. Divovo, All-Russian Scientific Research Institute of Horse Breeding, 2019. pp. 236–243. doi: 10.25727/HS.2019.1.35395 (in Russian).
- 4 Bazarov B.Z., Khamiruev T.N., Dashinimaev S.M., Kostomakhin N.M. Production of young horse meat during pasture-grazing keeping of horses in the forest-steppe zone of Transbaikalia. Chief zootechnician. 2021. no. 9(218). pp. 37–46. doi: 10.33920/sel 03–2109–05 (in Russian).
- 5 Bazhenova B.A., Zabalueva Yu.Yu., Kolesnikova I.S., Meleshkina N.V. Development of technology for horse ham for functional purposes. News of the Timiryazev Agricultural Academy. 2017. no. 5. pp. 101–114. (in Russian).
- 6 Toktosunov B.I., Baimukanov D.A., Abdurasulov A.Kh. Amino acid composition and quality of horse meat of the aboriginal Kyrgyz horse. Bulletin of the Tuva State University. No. 2 Natural and agricultural sciences. 2022. no. 4(101). pp. 51–61. doi: 10.24411/2221–0458–2022–101–51–61 (in Russian).
- 7 Merenkova S.P., Zinina O.V., Stuart M. et al. Effects of dietary fiber on human health: A review. Human. Sport. Medicine. 2020. vol. 20. no. 1. pp. 106–113. doi: 10.14529/hsm200113
- 8 Shagaeva N.N., Kolobov S.V. Scientific and practical aspects of the use of dietary fiber in the meat industry // Current problems of socio-economic development of modern society: collection of articles of the 1st international correspondence scientific and practical conference, Kirov, April 20, 2020. Kirov: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kirov State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2020. P. 344–348.
- 9 Kapoguzov E.A., Chupin R.I., Kharlamova M.S. Import substitution in the meat industry: expansion for the dollar. EKO. 2020. no. 11(557). pp. 104–123. doi: 10.30680/ECO0131–7652–2020–11–104–123 (in Russian).
- 10 GOST 25011–2017. Meat and meat products. Methods for protein determination. M., Standartinform, 2017. 13 p. (in Russian).
- 11 Skurikhin I.M. Chemical composition of food products. Book 2: Reference tables for the content of amino acids, fatty acids, vitamins, macro- and micro-elements, organic acids and carbohydrates. M., Agropromizdat, 1987. 360 p. (in Russian).
- 12 Lisin P.A., Musina O.N., Kister I.V., Chernopolskaya N.L. Methodology for assessing the balance of the amino acid composition of multicomponent food products. Bulletin of the Omsk State Agrarian University. 2013. no. 3(11). pp. 53–58. (in Russian).
- 13 Lisin P.A., Molibova E.A., Kanushina Yu.A., Smirnova N.A. Assessment of the amino acid composition of a recipe mixture of food products. Agrarian Bulletin of the Urals. 2012. no. 3(95). pp. 26–28. (in Russian).
- 14 Meldenberg D.N., Polyakova O.S., Semenova E.S., Yurova E.A. Development of a comprehensive assessment of the protein composition of milk from raw materials of various farm animals for the production of functional products. Storage and processing of agricultural raw materials. 2020. no. 3. pp. 118–133. doi: 10.36107/spfp.2020.352 (in Russian).
- 15 Nurgalieva B.M., Saukenova M.M., Rysmukhambetova G.E. et al. Horse meat pate. Patent RF, no. 2784806, 2022.
- 16 Obukhova L.M., Erlykina E.I. Biochemistry. Metabolic aspects of biochemistry of childhood: a textbook for students of the pediatric faculty of medical universities. St. Petersburg, Limited Liability Company "SpetsLit Publishing House", 2023. 464 p. (in Russian).
- 17 Litvitsky P.F., Maltseva L.D. Disorders of protein, amino acid and nucleic acid metabolism. Issues of modern pediatrics. 2015. vol. 14. no. 1. pp. 95–107. (in Russian).
- 18 Malinovsky A.V. Biochemical reasons for the limiting nature of threonine and other essential amino acids and the absence of this nature in some mammals and humans. Clinical pathophysiology. 2023. vol. 29. no. 2. pp. 33–42. (in Russian).
- 19 Dolgikh V.V. Bread of high nutritional value and method of its production. Patent RF, no. 2702089, 2019. (in Russian).
- 21 Ligotsky D.N., Argimbaeva K.V. Effect of grain size distribution of tailings during the formation of technogenic deposit on the fragmentation index. Sustainable Development of Mountain Territories. 2023. vol. 15. no. 2(56). pp. 275–282. doi: 10.21177/1998–4502–2023–15–2–275–282

Сведения об авторах

Балсекер М. Нургалиева старший преподаватель, кафедра экологии и безопасность жизнедеятельности, Казахский университет инновационных и телекоммуникационных систем, ул. М. Маметовой, 81, г. Уральск, 090009, Республика Казахстан, janslu_0@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8700-6629>

Софья С. Зюзина обучающийся, факультета ветеринарной медицины, пищевых и биотехнологий, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, г. Саратов, 410012, Россия, frankiblu@yandex.ru

 <https://orcid.org/00009-0006-9622-1407>

Кристина Е. Белоглазова к.с.-х.н., ассистент, кафедра технологии продуктов питания, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, г. Саратов, 410012, Россия, k.beloglazova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0665-9928>

Information about authors

Balseker M. Nurgalieva senior lecturer, ecology and life safety department, Kazakhstan University of Innovative and Telecommunication Systems, 81 M. Mametova str., Uralsk, 090009, janslu_0@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-8700-6629>

Sofia S. Zyuzina student, veterinary medicine, food and biotechnology faculty, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, ave. Petra Stolypina zd. 4, p. 3, Saratov, 410012, Russia, frankiblu@yandex.ru

 <https://orcid.org/00009-0006-9622-1407>

Kristina E. Beloglazova Cand. Sci. (Agric.), associate professor, food technology department, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, ave. Petra Stolypina zd. 4, p. 3, Saratov, 410012, Russia, k.beloglazova@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-0665-9928>

Гульсара Е. Рысмухамбетова к.б.н., доцент, кафедра технологии продуктов питания, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, г. Саратов, 410012, Россия, gerismuh@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4224-5922>

Ульяна М. Курако к.б.н., доцент, кафедра технологии производства и переработки продукции животноводства, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, г. Саратов, 410012, Россия, kum13@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5066-6789>

Лидия В. Карпунина д.б.н., профессор, кафедра микробиологии и биотехнологии, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, г. Саратов, 410012, Россия, karpuninal@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9985-9944>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Gulsara E. Rysmukhambetova Cand. Sci. (Biol.), associate professor, food technology department, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, ave. Petra Stolypina zd. 4, p. 3, Saratov, 410012, Russia, gerismuh@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4224-5922>

Ulyana M. Kurako Cand. Sci. (Biol.), associate professor, technology of production and processing of livestock products department, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, ave. Petra Stolypina zd. 4, p. 3, Saratov, 410012, Russia, kum13@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5066-6789>

Lydia V. Karpunina Dr. Sci. (Biol.), professor, microbiology and biotechnology department, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, ave. Petra Stolypina zd. 4, p. 3, Saratov, 410012, Russia, karpuninal@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-9985-9944>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/04/2024	После редакции 17/05/2024	Принята в печать 03/06/2024
Received 29/04/2024	Accepted in revised 17/05/2024	Accepted 03/06/2024

Кисломолочный напиток обогащенный продуктами глубокой переработки виноградной косточки

Екатерина А. Пожидаева	¹	katerina-77707@mail.ru	 0000-0001-6763-8875
Евгений С. Попов	¹	e_s_popov@mail.ru	 0000-0003-3303-3434
Анастасия М. Огорокова	¹	nastya3198.xx@yandex.ru	 0000-0002-1584-0024
Максим М. Хорпьяков	¹	horpyakov75@mail.ru	 0000-0002-2790-4304
Юлия В. Дурова	¹	durova525@mail.ru	 0000-0002-0498-7522
Мария С. Гребенникова		mary.bazaeva@mail.ru	 0000-0002-8972-4333

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Перспективным направлением в технологиях функциональных пищевых систем является применение продуктов глубокой переработки растительного сырья, обладающих высоким биопотенциалом и доказанным терапевтическим воздействием на организм. Для полной реализации природного потенциала биоактивного растительного сырья в организме человека необходимо обеспечение их высокой биодоступности, а также эффективности всасывания. Данное условие может быть достигнуто при комбинировании растительных компонентов с биомассами пробиотических микроорганизмов в активном состоянии, ответственных за важнейшие функции в организме, в том числе синтез и транспорт необходимых веществ из кишечника в кровь. В статье приведены результаты исследования антиоксидантной активности, микробиологических свойств кисломолочного напитка на основе консорциума штаммов *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus* с включением частично обезжиренной муки виноградной косточки. Приведены данные химического состава, антиоксидантных характеристик муки виноградной косточки. Исследование функционально-технологических свойств муки виноградной косточки проводили в различных средах, таких как вода дистиллированная, сыворотка творожная, нормализованная смесь с массовой долей жира 2,5 %. Полученные данные доказывают возможность применения муки виноградной косточки в пищевых технологиях в качестве альтернативы применяемым пищевым добавкам, позволяющей не только улучшить потребительские свойства продуктов питания, но и расширить их функциональные свойства. На основе результатов исследования органолептических показателей установлено, что разрабатываемый продукт обладает повышенными потребительскими характеристиками и может быть рекомендован для включения в ежедневный рацион различных категорий граждан, в том числе работающих во вредных и экстремальных условиях, подвергнутых антибиотико- и химиотерапии, спортсменов.

Ключевые слова: пробиотические микроорганизмы, мука виноградной косточки, биопотенциал, консорциум, штамм.

Fermented milk drink enriched with products of deep processing of grape seed

Ekaterina A. Pozhidaeva	¹	katerina-77707@mail.ru	 0000-0001-6763-8875
Evgeny S. Popov	¹	e_s_popov@mail.ru	 0000-0003-3303-3434
Anastasia M. Okorokova	¹	nastya3198.xx@yandex.ru	 0000-0002-1584-0024
Maxim M. Khorpyakov	¹	horpyakov75@mail.ru	 0000-0002-2790-4304
Julia V. Durova	¹	durova525@mail.ru	 0000-0002-0498-7522
Maria S. Grebennikova		mary.bazaeva@mail.ru	 0000-0002-8972-4333

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. A promising direction in the technologies of functional food systems is the use of products of deep processing of plant materials with a high biopotential and proven therapeutic effect on the body. To fully realize the natural potential of bioactive plant materials in the human body, it is necessary to ensure their high bioavailability, as well as absorption efficiency. This condition can be achieved by combining plant components with biomasses of probiotic microorganisms in an active state, responsible for the most important functions in the body, including the synthesis and transport of necessary substances from the intestine to the blood. The article presents the results of a study of antioxidant activity, microbiological properties of a fermented milk drink based on a consortium of *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* strains with the inclusion of partially defatted grape seed flour. There are presented data of chemical composition, antioxidant characteristics of grape seed meal. The study of the functional and technological properties of grape seed flour was carried out in various media, such as distilled water, curd whey, normalized mixture with a mass fraction of fat of 2.5%. The data obtained prove the possibility of using grape seed meal in food technologies as an alternative to the food additives used, which allows not only to improve the consumer properties of food products, but also to expand their functional properties. Based on the results of the study of organoleptic indicators, it was found that the product under development has increased consumer characteristics and can be recommended for inclusion in the daily diet of various categories of citizens, including those working in harmful and extreme conditions, subjected to antibiotic and chemotherapy, athletes.

Keywords: probiotic microorganisms, grape seed meal, biopotential, consortium, strain.

Для цитирования

Пожидаева Е.А., Попов Е.С., Огорокова А.М., Хорпьяков М.М., Дурова Ю.В., Гребенникова М.С. Кисломолочный напиток обогащенный продуктами глубокой переработки виноградной косточки // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 153–159. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-153-159

For citation

Pozhidaeva E.A., Popov E.S., Okorokova A.M., Khorpyakov M.M., Durova J.V., Grebennikova M.S. Fermented milk drink enriched with products of deep processing of grape seed. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 153–159. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-153-159

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Алиментарные технологии биокоррекции пищевого статуса и физиологических состояний организма человека требует развития фундаментальных и прикладных научных исследований по медико-биологической оценке безопасности новых источников пищи и ингредиентов, внедрения инновационных технологий, включающих физико-химические, био- и нанотехнологии, расширения ассортимента новых пищевых систем с использованием природных алиментарных биокорректоров и разработкой критериев для оценки их эффективности. Наиболее актуальными, эффективными и перспективными средствами для коррекции пищевого статуса и профилактики патологических состояний являются природные формы из растительного сырья, получаемые в процессе их глубокой переработки, в частности мука виноградной косточки, а также пробиотические микроорганизмы, позволяющие усилить действие целевых биологически активных веществ [1–3].

Виноградные косточки – каплевидные твердые образования небольших размеров, обладающие вяжущими и с небольшой горчинкой вкусовыми качествами. Они практически не имеют запаха, но иногда можно ощутить легкий аромат с ореховыми нотками. Ядра легко раскусываются, так как обладают низким уровнем прочности. Цвет косточек зависит от сортовых особенностей и варьируется от светло-коричневого до зеленого.

Виноградные косточки в своем составе содержат набор нехарактерных ни для одного продукта питания химических соединений. В состав виноградных косточек входят и различные дубильные вещества, протеин, ненасыщенные и насыщенные жирные кислоты, фитостеролы, флавоноиды, аминокислоты и многие другие полезные вещества.

В таблице 1 приведены данные, характеризующие химический состав семян винограда (сорто-смесь белых и красных сортов) с учетом отделения выжимок до брожения и высушивание семян.

Виноградные косточки обладают ярко выраженными антиоксидантными свойствами. Они борются с негативным воздействием свободных радикалов, являются отличной профилактикой возникновения и развития злокачественных опухолей, улучшают состояние кожи, волос, зубов и ногтей, замедляют естественные процессы старения.

Косточки винограда нормализуют и ускоряют обменные процессы, происходящие в организме, положительно влияют на работу нервной системы, помогают бороться с раздражительностью, апатией, усталостью и нервным напряжением, повышают умственную активность и уровень концентрации внимания.

Химический состав семян винограда

Таблица 1.

Table 1.

Chemical composition of grape seeds

Показатель Indicator	Значение Value
Массовая доля (Mass fraction), %. влаги и летучих веществ (moisture and volatile substances)	6,5–6,8
липидов (lipids), в том числе (including): полиненасыщенных жирных кислот (polyunsaturated fatty acids) фосфолипидов (phospholipids)	15,9–16,9 9,9–10 8 0,6–0 7
белков (proteins), в том числе (including): водорастворимых (water-soluble) солерастворимых (salt-soluble) щелочерастворимых (alkali-soluble) нерастворимых (insoluble)	16,5–17 8 4,2–4,6 7,2–7,8 3,6–3,9 1,4–1,5
Углеводов (carbohydrates), в том числе (including): глюкозы (glucose) гемицеллюлозы (hemicelluloses) целлюлозы (cellulose) пектина (pectin) протопектина (protopectin)	49,5–50 7 0,3–0 6 16,6–17 5 24,8–25 5 1,9–2,1 4,6–5,2
дубильных веществ (tannins), в том числе (including): танина (tannin) пикатехина (picatechina) рутина (rutine)	4,8–5,5 3,2–3,8 1,0–1,5 0,4–0,5
органических кислот (organic acids), в том числе (including): яблочной (apple) винной (wine)	1,5–2,0 1,2–1,7 0,2–0,3
золы (wine)	2,6–3,0

Благотворно продукт влияет и на пищеварительную систему. Он улучшает перистальтику, очищает организм от токсинов, радионуклидов и шлаков, снимает воспалительные процессы, нормализует выработку желудочного сока и желчи. Для повышения усвояемости виноградной косточки проводится ее механическая активация [1–4].

Вводимая в рацион биомасса пробиотических микроорганизмов также обладает биокорректирующим эффектом, в частности трофическое и энергетическое обеспечение макроорганизма, энергообеспечение эпителия, стимуляция иммунной системы, образование иммуноглобулинов, регулирование перистальтики кишечника, участие в регуляции, дифференциации и регенерации эпителия кишечника, обеспечение цитопротекции, детоксикация, выведение эндо- и экзогенных токсичных соединений, разрушение мутагенов, активация лекарственных соединений, образование сигнальных молекул (нейро- и трансмиттеров), поддержание ионных, физических и химических параметров гомеостаза приэпителиальной зоны, поставка субстратов для липо- и глюкогенеза [1, 4, 5–20].

В настоящее время большинство научных школ, специализирующихся на обеспечении здоровья человека, осознают важность применения пробиотических продуктов питания. Доказана роль пробиотиков в восстановлении здоровой микрофлоры кишечника (поддержание гомеостаза кишечника), улучшении иммунитета и борьбе с различными метаболическими, неврологическими, аутоиммунными, сердечно-сосудистыми, онкологическими заболеваниями.

Материалы и методы

Объектом исследования являлся кисломолочный напиток, содержащий 1–3% муки виноградной косточки в комбинации с 97–99% биомассы консорциума пробиотических микроорганизмов на основе *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* с концентрацией активных клеток не менее 10^9 КОЕ/мл, титруемая кислотность составляла 80–100°Т, рН 4,61–4,65. Рост биомассы проводили на обезжиренном молоке в диапазоне температур 37–42 °С до рН 4,4–4,7, нормативное время ферментации составляло 8–10 часов. Количество вносимой биологически активной добавки соответствовало 50% рекомендуемой суточной норме их потребления со 100 г продукта.

В ходе экспериментальных исследований виноградные косточки подвергали дезинтеграционно-волновому воздействию с помощью опытно-экспериментального полупромышленного дезинтегратора марки ДВП «Кедр 3601» в опытно-экспериментальной лаборатории нанотехнологий ВГУИТ, при линейной скорости 300 м/сек, и слабо модулирующем воздействии СВЧ-КВЧ излучения, путем одно – и двукратного пропускания измельчаемого объекта через дезинтегратор.

В качестве контрольного образца принят кисломолочный напиток без внесения растительных биологически активных добавок.

Антиоксидантную активность определяли амперометрическим методом с помощью прибора «Цвет Яуза-01-АА». Определение динамической вязкости проводилось на вискозиметре серии SV / SV-A. Микробиологические показатели определяли в соответствии с СанПин 2.3.2.1078–01. Степень гидратации муки виноградной косточки определяли с помощью ПКН-2.

Результаты и обсуждение

В процессе экспериментальных исследований проведена органолептическая оценка обогащенного кисломолочного напитка с целью установления оптимальной концентрации вносимой муки виноградной косточки в диапазоне 1–3% масс. Обогащенный кисломолочный напиток был оценен по следующим параметрам: вкус, аромат, текстура и цвет (рисунок 1).

Установлено, что увеличение концентрации муки виноградной косточки свыше 2% приводит к снижению органолептических показателей в готовом продукте. Результаты органолептической оценки показали, что кисломолочный напиток с включением муки виноградной косточки имеет более выраженный кислый вкус по сравнению с кисломолочным напитком без включения добавки. Были отмечены свежий аромат и мягкая текстура продукта.

Результаты исследования антиоксидантной активности кисломолочного напитка с включением муки виноградной косточки различной степени измельчения приведены в таблице 2. Установлено, значения антиоксидантной активности в опытных образцах варьируются в диапазоне 11,14–11,87 мг/г, в контрольном образце 4,32 мг/г. Выявлено, что кисломолочный напиток с механически активированной мукой виноградной косточки обладает более высокими численными значениями антиоксидантной активности по сравнению с контролем в 2,57–2,74 раза.

Мука виноградной косточки, благодаря содержанию в ней гидрофильных высокомолекулярных соединений – белков и полисахаридов, активно проявляет важные технологические свойства, связанные с гидратацией, в частности, влагоудерживающая способность. Это позволяет прогнозировать и направленно формировать не только структурно-механические характеристики конечных пищевых продуктов на ее основе, но и их хранимость. Данные обстоятельства создают предпосылки для ее применения не только в качестве биологически-активной добавки, но и в качестве функционально-технологического фактора при производстве различных категорий продуктов питания.

При проведении исследований количественных характеристик процесса гидратации проводилось выделение фракции нерастворимых в воде компонентов муки виноградной косточки, которая составила 50,0–51,0% от содержания сухих веществ. С этой целью мука виноградной косточки подвергалась сушке до стабилизации массы, последующему промыванию большим количеством воды и повторному высушиванию до постоянной массы.

В качестве модельных образцов для исследования влияния рН на процессы гидратации мукой виноградной косточки применялись: вода дистиллированная, сыворотка творожная и нормализованная смесь с массовой долей жира 2,5%.

Полученные в результате экспериментальных исследований кинетические зависимости степени гидратации в исследуемых средах имели вид экспоненциально-возрастающей

зависимости, и свидетельствовали, что период возрастающей скорости гидратации имел продолжительность – 120–140 с, после чего система характеризовалась равновесным состоянием – степень гидратации стабилизировалась и принимала постоянные значения.

Степень гидратации муки виноградной косточки со степенью дисперсности 0,8–1,0 мм в воде дистиллированной, сыворотке творожной и нормализованной смеси с массовой долей жира 2,5% составила 1,9, 2,2 и 2,4 г/г соответственно. Для образцов муки из виноградной косточки со степенью дисперсности 0,3–0,5 мм аналогичные значения степени гидратации в исследуемых средах составили 1,7, 1,9 и 2,1 г/г. Периоды достижения равновесного состояния муки виноградной косточки со степенью дисперсности 0,8–1,0 мм и 0,3–0,5 мм в процессе гидратации в исследуемых технологических средах варьируются в диапазоне 220–245 с и 205–230 с соответственно.

На основе анализа полученных данных можно сделать вывод, что лучшей сорбционной способностью обладает опытный образец с размером частиц 0,8–1,0 мм.

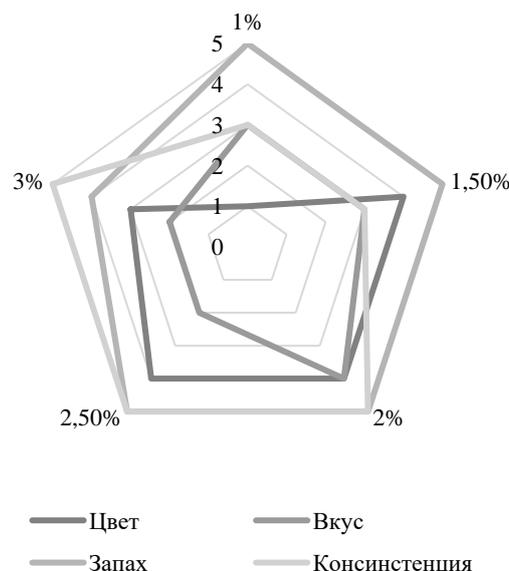


Рисунок 1. Органолептическая оценка кисломолочного напитка с включением муки виноградной косточки (концентрация 1–3%)

Figure 1. Organoleptic evaluation of cultured milk beverage with inclusion of grape seed meal (concentration 1–3%)

Таблица 1.

Антиоксидантная активность кисломолочного напитка с включением муки виноградной косточки

Table 1.

Antioxidant activity of cultured milk beverage with inclusion of grape seed meal

Образец Sample	Площадь выходной кривой исследуемого образца, см ² Area of the test sample output curve, cm ²	Антиоксидантная активность, мг/г Antioxidant activity, mg/g	Содержание антиоксидантов, мг/г Content of antioxidants, mg/g
Контроль (без растительной добавки) Control (without plant additive)	2720,14	4,32	0,012
Кисломолочный напиток с включением муки виноградной косточки (степень дисперсности 0,8–1,0 мм) Cultured milk beverage with inclusion of grape seed meal (dispersion degree 0,8–1,0 mm)	4583,18	11,14	0,043
Кисломолочный напиток с включением муки виноградной косточки (степень дисперсности 0,3–0,5 мм) Cultured milk beverage with inclusion of grape seed meal (dispersity 0,3–0,5 mm)	4654,88	11,87	0,064

Микробиологические показатели кисломолочного напитка с включением муки виноградной косточки соответствуют требованиям ГОСТа и не превышают допустимых норм. Количество молочнокислых бактерий составило $1,1 \times 10^9$ КОЕ/мл, что подтверждает безопасность и качество продукта (таблица 3).

По сравнению с контрольным образцом кисломолочный напиток, обогащенный растительным биокорректором проявил большую устойчивость к микроорганизмам, что говорит о его лучшей микростойкости и соответственно хранимоспособности.

Таблица 2.
Микробиологические показатели кисломолочного напитка с включением муки виноградной косточки

Table 2.

Microbiological indicators of cultured milk beverage with inclusion of grape seed meal

Показатель Index	Результаты Results		
	В соответствии с ТР ТС 033/2013 In accordance with TR CU 033/2013	В начале процесса хранения At the beginning of the storage process	По истечении 10 дней хранения After 10 days storage
<i>S. aureus</i>	–	не обнаружено в 1 см ³ not detected in 1 cm ³	не обнаружено в 1 см ³ not detected in 1 cm ³
БГКП (колиформы) ВНКР (colifor)	не допускается в 10 см ³ does not allow 10 cm ³	не обнаружено в 0,01 см ³ not detected in 0,01 cm ³	не обнаружено в 0,01 см ³ not detected in 0,01 cm ³
Дрожжи, КОЕ/мл Yeast, CFU/mL	не более 10 not more than 10	менее 10 less than 10	менее 10 less than 10
Молочнокислые микроорганизмы, КОЕ/мл Lactic acid microorganisms, CFU/mL	не менее 1 x 10 ⁷ not less than 1 x 10 ⁷	более 1,1 x 10 ⁸ more than 1.1 x 10 ⁸	более 1,1 x 10 ⁸ more than 1.1 x 10 ⁸
Патогенные, в т. ч. сальмонеллы Pathogenic, including salmonella	не допускается в 10 см ³ does not allow 10 cm ³	не обнаружено в 25 см ³ not detected in 25 cm ³	не обнаружено в 25 см ³ not detected in 25 cm ³
Плесени, КОЕ/мл Molds, CFU/mL	не более 10 not more than 10	2,1	4,2

Заключение

Можно сделать вывод о целесообразности введения муки виноградной косточки в состав пищевых систем, что позволит не только улучшить потребительские свойства продуктов питания, но и расширить их функциональные свойства.

На основе результатов экспериментальных исследований выявлено, что разрабатываемый продукт обладает повышенными потребительскими характеристиками и может быть

рекомендован для включения в ежедневный рацион различных категорий граждан, в том числе работающих во вредных и экстремальных условиях, при повышенных умственных и физических нагрузках, подвергнутых антибиотико- и химиотерапии, спортсменов.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-26-00256, <https://rscf.ru/project/23-26-00256/>.

Литература

- 1 Eamonn M.M. Prebiotics and Probiotics in Digestive Health // Clinical Gastroenterology and Hepatology. 2019. V. 17. № 2. P. 333–344.
- 2 Исаев В.А., Родионова Н.С., Белокурова Е.В. Медико-биологические аспекты проектирования пищевых продуктов для здоровьесбережения // Продовольственная безопасность: научное, кадровое, информационное обеспечение: сборник научных статей и докладов. Воронеж, 2019. С. 368–371.
- 3 Mohammed F.A. Ganoderma lucidum: persuasive biologically active constituents and their health endorsement // Biomedicine and Pharmacotherapy. 2018. V. 107. P. 507–519.
- 4 FarhanaFazilah N. et.al. Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt // Journal of Functional Foods. 2018. V. 48. P. 387–399.
- 5 Vernerey F.J. et.al. Biological active matter aggregates: inspiration for smart colloidal materials // Advances in colloid and interface science. 2019. V. 263. P. 38–51.
- 6 Dwyer J.T., Coates P.M., Smith M.J. Dietary Supplements: Regulatory Challenges and Research Resources // Nutrients. 2018. V. 10. № 1. P. 41. doi: 10.3390/nu10010041
- 7 Rawson E.S., Miles M.P., Enette Larson-Meyer D. Dietary Supplements for Health, Adaptation, and Recovery in Athletes // International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 2018. V. 28. № 2. P. 188–199. doi: 10.1123/ijsnem.2017–0340
- 8 Navarro V.J., Khan I., Björnsson E., Seeff L.B. Liver injury from herbal and dietary supplements // Hepatology. 2016. V. 65. № 1. doi: 10.1002/hep.28813
- 9 Ronis M.J.J., Pedersen K.B., Watt J. Adverse Effects of Nutraceuticals and Dietary Supplements // Annual Review of Pharmacology and Toxicology. 2018. V. 58. P. 583–601. doi: 10.1146/annurev-pharmtox-010617–052844
- 10 Kubachka K.M., Hanley T., Mantha M., Wilson R.A. et al. Evaluation of selenium in dietary supplements using elemental speciation // Food Chemistry. 2017. V. 218. P. 313–320.

- 11 Шкловец А.В., Агафонова С.В. Кисломолочный напиток, обогащенный биологически активными веществами биомассы *Arthrospira* // Вестник молодежной науки. 2021. №. 3 (30). С. 9.
- 12 Каледина М.В., Евдокимов И.А., Салаткова Н.П., Жигулина О.В. и др. Кисломолочный напиток с пищевыми волокнами // Молочная промышленность. 2013. №. 8. С. 43-44.
- 13 Грунская В.А., Габриелян Д.С. Обогащенные кисломолочные напитки // Молочная промышленность. 2012. №. 9. С. 56-56.
- 14 Третьякова Е.Н., Нечепорук А.Г., Бабушкин В.А., Гудкова Г.А. и др. Кисломолочный напиток повышенной пищевой ценности // Наука и образование. 2021. Т. 4. №. 1.
- 15 Tami S.H., Aly E., Darwish A.A., Mohamed E.S. Buffalo stirred yoghurt fortified with grape seed extract: new insights into its functional properties // Food Bioscience. 2022. V. 47. P. 101752.
- 16 Kandyli P., Dimitrellou D., Moschakis T. Recent applications of grapes and their derivatives in dairy products // Trends in Food Science & Technology. 2021. V. 114. P. 696-711.
- 17 Cho Y.J., Kim D.H., Jeong D., Seo K.H. et al. Characterization of yeasts isolated from kefir as a probiotic and its synergic interaction with the wine byproduct grape seed flour/extract // Lwt. 2018. V. 90. P. 535-539.
- 18 Oprea O.B., Popa M.E., Apostol L., Gaceu L. Research on the potential use of grape seed flour in the bakery industry // Foods. 2022. V. 11. №. 11. P. 1589.
- 19 Aiello F., Restuccia D., Spizzirri U.G., Carullo G. et al. Improving kefir bioactive properties by functional enrichment with plant and agro-food waste extracts // Fermentation. 2020. V. 6. №. 3. P. 83.
- 20 de Oliveira F.L., Arruda T.Y.P., Morzelle M.C., Pereira A.P.A. et al. Fruit by-products as potential prebiotics and promising functional ingredients to produce fermented milk // Food Research International. 2022. V. 161. P. 111841

References

- 1 Eamonn, M.M. Prebiotics and Probiotics in Digestive Health. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*. 2019. vol. 17. no. 2. pp. 333–344.
- 2 Isaev V.A., Rodionova N.S., Belokurova E.V. Biomedical aspects of the design of food products for health conservation. *Food Security: Scientific, Personnel, Information Support: A Collection of Scientific Articles and Reports, Voronezh*, 2019. pp. 368–371. (in Russian).
- 3 Mohammed F.A. *Ganoderma lucidum*: persuasive biologically active constituents and their health endorsement. *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2018. vol. 107. pp. 507–519.
- 4 FarhanaFazilah N. et.al. Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. *Journal of Functional Foods*. 2018. vol. 48. pp. 387–399.
- 5 Vernerey F.J. et.al. Biological active matter aggregates: inspiration for smart colloidal materials. *Advances in colloid and interface science*. 2019. vol. 263. pp. 38–51.
- 6 Dwyer J.T., Coates P.M., Smith M.J. Dietary Supplements: Regulatory Challenges and Research Resources. *Nutrients*. 2018. vol. 10. no. 1. pp. 41. doi: 10.3390/nu10010041
- 7 Rawson E.S., Miles M.P., Enette Larson-Meyer D. Dietary Supplements for Health, Adaptation, and Recovery in Athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2018. vol. 28. no. 2. pp. 188–199. doi: 10.1123/ijsnem.2017–0340
- 8 Navarro V.J., Khan I., Björnsson E., Seeff L.B. Liver injury from herbal and dietary supplements. *Hepatology*. 2016. vol. 65. no. 1. doi: 10.1002/hep.28813
- 9 Ronis M.J.J., Pedersen K.B., Watt J. Adverse Effects of Nutraceuticals and Dietary Supplements. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*. 2018. vol. 58. pp. 583–601. doi: 10.1146/annurev-pharmtox-010617–052844
- 10 Kubachka K.M., Hanley T., Mantha M., Wilson R.A. et al. Evaluation of selenium in dietary supplements using elemental speciation. *Food Chemistry*. 2017. vol. 218. pp. 313–320.
- 11 Shklovets A.V., Agafonova S.V. Fermented milk drink enriched with biologically active substances of *Arthrospira* biomass. *Bulletin of youth science*. 2021. no. 3 (30). pp. 9. (in Russian).
- 12 Kaledina M.V., Evdokimov I.A., Salatкова N.P., Zhigulina O.V. et al. Fermented milk drink with dietary fiber. *Dairy industry*. 2013. no. 8. pp. 43-44. (in Russian).
- 13 Grunskaya V.A., Gabrielyan D.S. Fortified fermented milk drinks. *Dairy industry*. 2012. no. 9. pp. 56-56. (in Russian).
- 14 Tretyakova E.N., Nечeporuk A.G., Babushkin V.A., Gudkova G.A. et al. Fermented milk drink of increased nutritional value. *Science and education*. 2021. vol. 4. no. 1. (in Russian).
- 15 Tami S.H., Aly E., Darwish A.A., Mohamed E.S. Buffalo stirred yoghurt fortified with grape seed extract: new insights into its functional properties. *Food Bioscience*. 2022. vol. 47. pp. 101752.
- 16 Kandyli P., Dimitrellou D., Moschakis T. Recent applications of grapes and their derivatives in dairy products. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. vol. 114. pp. 696-711.
- 17 Cho Y.J., Kim D.H., Jeong D., Seo K.H. et al. Characterization of yeasts isolated from kefir as a probiotic and its synergic interaction with the wine byproduct grape seed flour/extract. *Lwt*. 2018. vol. 90. pp. 535-539.
- 18 Oprea O.B., Popa M.E., Apostol L., Gaceu L. Research on the potential use of grape seed flour in the bakery industry. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 11. pp. 1589.
- 19 Aiello F., Restuccia D., Spizzirri U.G., Carullo G. et al. Improving kefir bioactive properties by functional enrichment with plant and agro-food waste extracts. *Fermentation*. 2020. vol. 6. no. 3. pp. 83.
- 20 de Oliveira F.L., Arruda T.Y.P., Morzelle M.C., Pereira A.P.A. et al. Fruit by-products as potential prebiotics and promising functional ingredients to produce fermented milk. *Food Research International*. 2022. vol. 161. pp. 111841

Сведения об авторах

Екатерина А. Пожидаева к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katerina-77707@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6763-8875>

Евгений С. Попов д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, e_s_popov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3303-3434>

Анастасия М. Окорокова студент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, nastya3198.xx@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1584-0024>

Максим М. Хорпяков студент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, хорпяков75@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2790-4304>

Юлия В. Дурова студент, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, durova525@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0498-7522>

Мария С. Гребенникова студент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mary.bazaeva@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8972-4333>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ekaterina A. Pozhidaeva Cand. Sci. (Engin)., associate professor, department of animal products technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katerina-77707@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6763-8875>

Evgeny S. Popov Dr. Sci. (Engin)., professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, e_s_popov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-3303-3434>

Anastasia M. Okorokova student, department of animal products technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, nastya3198.xx@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1584-0024>

Maxim M. Khorpyakov student, department of animal products technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, хорпяков75@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2790-4304>

Julia V. Durova student, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, durova525@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0498-7522>

Maria S. Grebennikova student, department of animal products technology, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, mary.bazaeva@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8972-4333>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/03/2024	После редакции 14/05/2024	Принята в печать 23/05/2024
Received 18/03/2024	Accepted in revised 14/05/2024	Accepted 23/05/2024

Изучение реологических свойств кисломолочного напитка

Ольга И. Долматова¹ olgadolmatova@rambler.ru  0000-0002-4450-8856
Софья В. Мухоркина¹ muhorkinasofa0406@gmail.com

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Кисломолочные напитки относятся к группе продуктов, позволяющих улучшить работу желудочно-кишечного тракта, а также могут быть рекомендованы как профилактическое и лечебное средство при ряде заболеваний. В настоящее время приоритетной задачей пищевой отрасли является создание продуктов со сбалансированным составом, чаще всего при сочетании сырьевых источников различного происхождения. Однако вносимые добавки в кисломолочные напитки могут как улучшить его реологические свойства, так и ухудшить. Авторами получен кисломолочный напиток со следующим рецептурно-компонентным составом: молоко цельное, молоко обезжиренное, закваска ацидофильных лактобактерий «Наринэ», бифидобактерий *B.bifidum*, *B.longum*, порошок лукумы. Порошок лукумы является источником углеводов, витаминов и пищевых волокон. Кисломолочный напиток получали по традиционной технологии. Особенностью являлись операции подготовки и внесения заквасочных культур и порошка лукумы. Готовый кисломолочный напиток охлаждали и упаковывали. Хранили при температуре (4 ± 2) °С. В качестве контрольного образца исследовали ацидофилин с аналогичной массовой долей жира. Опытный образец напитка обладал кисломолочным, фруктовым вкусом и запахом, слегка сладковатым, имел кремовый цвет, равномерный по всей массе. С целью установления влияния порошка лукумы на консистенцию готового напитка и в процессе хранения изучали его реологические свойства. Установлена повышенная на 30 % вязкость опытного образца по сравнению с контрольным. Консистенция напитка при хранении стабильная; однородная, в меру вязкая, с нарушенным сгустком. По результатам изучения динамики синерезиса у кисломолочного напитка с порошком лукумы установлена самая прочная связь со сгустком по сравнению с контрольным образцом. Количество сыворотки, полученной в ходе эксперимента в опытном образце было в два раза меньше, чем в контрольном. Данный факт можно объяснить влиянием порошка лукумы на реологические свойства напитка.

Ключевые слова: кисломолочный напиток, качество, реологические свойства, порошок лукумы, хранение.

Study of rheological properties of fermented milk drink

Olga I. Dolmatova¹ olgadolmatova@rambler.ru  0000-0002-4450-8856
Sofya V. Mukhorkina¹ muhorkinasofa0406@gmail.com

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Fermented milk drinks belong to a group of products that improve the functioning of the gastrointestinal tract, and can also be recommended as a preventive and therapeutic agent for a number of diseases. Currently, the priority task of the food industry is to create products with a balanced composition, most often with a combination of raw materials of various origins. However, additives added to fermented milk drinks can both improve its rheological properties and worsen it. The authors obtained a fermented milk drink with the following formulation and component composition: whole milk, skimmed milk, sourdough acidophilic lactobacilli "Narine", bifidobacteria *B.bifidum*, *B.longum*, lukuma powder. Lukuma powder is a source of carbohydrates, vitamins and dietary fiber. Fermented milk drink was produced using traditional technology. A special feature was the operations of preparation and application of starter cultures and lukuma powder. The finished fermented milk drink was cooled and packaged. It was stored at a temperature of (4 ± 2) °C. Acidophilus with a similar mass fraction of fat was studied as a control sample. The prototype of the drink had a sour-milk, fruity taste and smell, slightly sweet, had a creamy color, uniform throughout the mass. In order to establish the effect of lukuma powder on the consistency of the finished drink and during storage, its rheological properties were studied. The viscosity of the prototype was increased by 30% compared to the control one. The consistency of the drink is stable during storage; homogeneous, moderately viscous, with a disturbed clot. According to the results of studying the dynamics of syneresis in a fermented milk drink with lukuma powder, the strongest connection with the clot was established compared with the control sample. The amount of serum obtained during the experiment in the experimental sample was two times less than in the control sample. This fact can be explained by the influence of lukuma powder on the rheological properties of the drink.

Keywords: fermented milk drink, quality, rheological properties, lukuma powder, storage.

Введение

Кисломолочные напитки относятся к группе продуктов, позволяющих улучшить работу желудочно-кишечного тракта, а также могут быть рекомендованы как профилактическое и лечебное средство при ряде заболеваний [1–15]. Особую пользу для организма приносят ацидофильные напитки. Дополнительно с основной закваской можно вносить бифидобактерии, которые помогают расщеплять жиры и усваивать питательные вещества, улучшать моторику кишечника.

Для цитирования

Долматова О.И., Мухоркина С.В. Изучение реологических свойств кисломолочного напитка // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 160–165. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-160-165

В настоящее время приоритетной задачей пищевой отрасли является создание продуктов со сбалансированным составом, чаще всего при сочетании сырьевых источников различного происхождения. Актуальным направлением является поиск заменителей сахара. Предпочтительным фактом при этом является использование естественных заменителей сахара растительного происхождения [16].

Однако вносимые добавки в кисломолочные напитки могут как улучшить его реологические свойства, так и ухудшить. Авторами произведена

For citation

Dolmatova O.I., Mukhorkina S.V. Study of rheological properties of fermented milk drink. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 160–165. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-160-165

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

выработка кисломолочного напитка с порошком лукумы. В молочной отрасли известны технологии приготовления некоторых продуктов,

в том числе мороженого и ацидофильного напитка с органическим порошком лукумы [17, 18]. Состав порошка лукумы представлен в таблице 1 [19].

Таблица 1.

Состав порошка лукумы

Table 1.

The composition of the lukuma powder

Компонент Component	Количество на 100 г продукта Quantity per 100 g of product	Норма Standard	% от нормы в 100 г % of the norm in 100 g
Белки, г Proteins, g	3,6	76	4,7
Жиры, г Fats, g	1,3	56	2,3
Углеводы, г Carbohydrates, g	66,7	219	30,5
Пищевые волокна, г Dietary fiber, g	2,3	20	11,5
Витамины, мг Vitamins, mg			
Тиамин Thiamine	0,2	1,5	13,3
Рибофлавин Riboflavin	0,3	1,8	16,7
Минеральные вещества, мг Mineral substances, mg			
Кальций Calcium	92	1000	9,2
Фосфор Phosphorus	186	800	23,3
Железо Iron	4,6	18	25,6

Известно, что добавление порошка лукумы до заквашивания смеси при производстве кисломолочных напитков неблагоприятно сказывается на консистенции готового продукта, органолептически ощущается крупитчатость и песчанистость. При внесении добавки после заквашивания отклонений в консистенции готового продукта не выявлено [18].

Материалы и методы

Объектом исследования является кисломолочный напиток с добавлением порошка лукумы, сырье для его производства.

Напиток, полученный на кафедре Технологии продуктов животного происхождения ФГБОУ ВО «ВГУИТ» имеет следующий состав: молоко цельное, молоко обезжиренное, закваска ацидофильных лактобактерий «Наринэ», бифидобактерий *B. bifidum*, *B. longum*, порошок лукумы.

Синерезис определяли фильтрационным методом путем замера количества сыворотки, выделившейся при фильтровании 100 см³ разрушенного сгустка через бумажный фильтр в течение времени при комнатной температуре.

Вязкость определяли в лаборатории Центра стратегического развития научных исследований ВГУИТ на приборе вибровискозиметр «AND SV-10».

Результаты и обсуждение

Порошок лукумы вносили в сквашенный сгусток в количестве от 1,0 до 7,0%. Результаты определяли по пятибальной шкале. Определена оптимальная дозировка 5,5±0,5%. Кисломолочный напиток получали по традиционной технологии. Особенностью являлись операции подготовки

и внесения заквасочных культур и порошка лукумы. Готовый кисломолочный напиток охлаждали и упаковывали. Хранили при температуре (4±2) °С. Напиток обладал кисломолочным, фруктовым вкусом и запахом, слегка сладковатым, имел кремовый цвет, равномерный по всей массе, массовую долю жира 3,2%.

В течение всего срока хранения определяли органолептические, физико-химические и микробиологические показатели. Реологические свойства, наряду с органолептическими, играют важную роль при выборе потребляемого продукта населением [20]. С целью установления влияния порошка лукумы на консистенцию готового напитка и в процессе хранения изучали реологические свойства последнего. Степень синерезиса является одним из показателей реологических свойств кисломолочных продуктов, так как определяет прочность сгустка, а, следовательно, их потребительские свойства. Необходимо установить влияние вносимой добавки на интенсивность синерезиса кисломолочного напитка. В качестве контрольного образца взят ацидофилин.

Реологические показатели кисломолочных напитков приведены в таблице 2.

На рисунке 1 представлена динамика синерезиса кисломолочных напитков.

Основной объем сыворотки из сгустков кисломолочных напитков выделяется в течении двух часов, т. е. 43±0,5 см³ сыворотки отошло в пробе контрольного образца (в объеме выражении 85±0,5%) и 22±0,5 см³ в опытном образце (71±0,5% от общего объема сыворотки), рисунки 2 и 3.

Реологические показатели кисломолочных напитков

Table 2.

Rheological parameters of fermented milk drinks

Кисломолочный напиток Fermented milk drink	Ацидофилин (ГОСТ-31668) Acidophilus	Кисломолочный напиток Fermented milk drink
Внешний вид и консистенция Appearance and consistency	Однородная, с нарушенным или ненарушенным сгустком в меру вязкая. Допускаются слегка тягучая консистенция и газообразование в виде отдельных глазков, вызванное нормальной микрофлорой Homogeneous, with a disturbed or undisturbed clot, moderately viscous. A slightly viscous consistency and gas formation in the form of separate eyes caused by normal microflora are allowed	Однородная, в меру вязкая, с нарушенным сгустком. Выделение сыворотки не наблюдается Homogeneous, moderately viscous, with a disturbed clot. Serum excretion is not observed

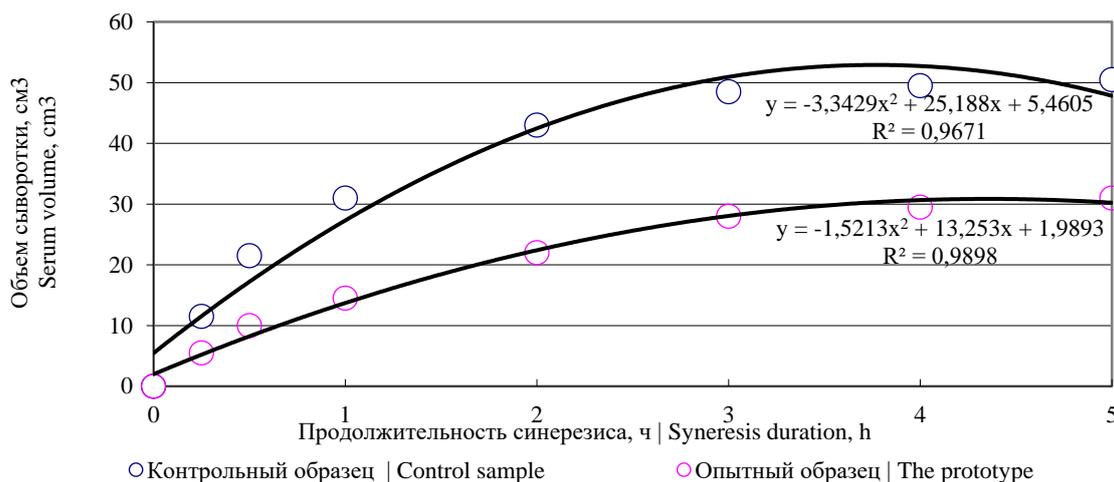


Рисунок 1. Динамика процесса синерезиса кисломолочных напитков

Figure 1. Dynamics of the process of syneresis of fermented milk drinks

За 3 ч синерезиса количество сыворотки увеличились до $96 \pm 0,5\%$ в кисломолочном напитке – до $90 \pm 0,5\%$. Следовательно, оптимальной продолжительностью синерезиса напитков следует считать 3 ч.

За все время проведения эксперимента в ацидофилине сыворотка выделилась в количестве $\approx 50\%$, тогда как в кисломолочном напитке $\approx 31\%$.

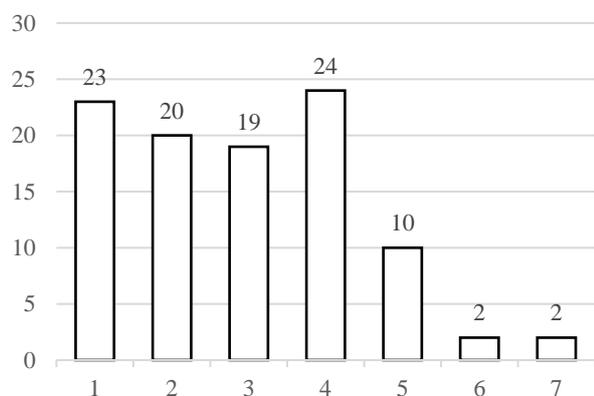


Рисунок 2. Интенсивность синерезиса ацидофилина, %: 1 – 15 мин, 2 – 30 мин, 3 – 1 ч, 4 – 2 ч, 5 – 3 ч, 6 – 4 ч, 7 – 5 ч

Figure 2. Intensity of acidophilus syneresis, %: 1 – 15 min, 2 – 30 min, 3 – 1 hour, 4 – 2 hours, 5 – 3 hours, 6 – 4 hours, 7 – 5 hours

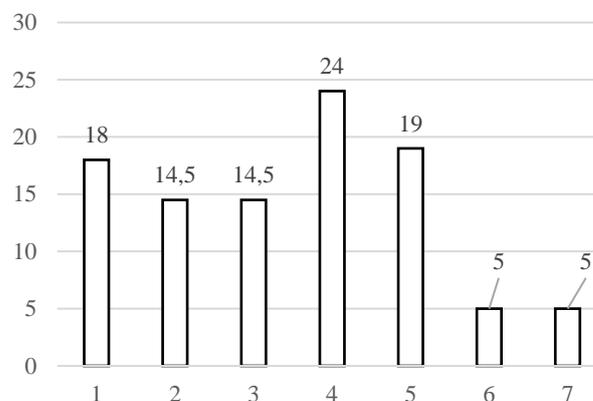


Рисунок 3. Интенсивность синерезиса кисломолочного напитка, %: 1 – 15 мин, 2 – 30 мин, 3 – 1 ч, 4 – 2 ч, 5 – 3 ч, 6 – 4 ч, 7 – 5 ч

Figure 3. The intensity of syneresis of fermented milk drink, %: 1 – 15 min, 2 – 30 min, 3 – 1 hour, 4 – 2 hours, 5 – 3 hours, 6 – 4 hours, 7 – 5 hours

Проведены исследования вязкости в пробах каждого из образцов (рисунок 4).

Результаты измерений показателя вязкости кисломолочного напитка в диапазоне температур от 5 до 20 °C были выше \sim на 30% по сравнению с контрольным образцом.

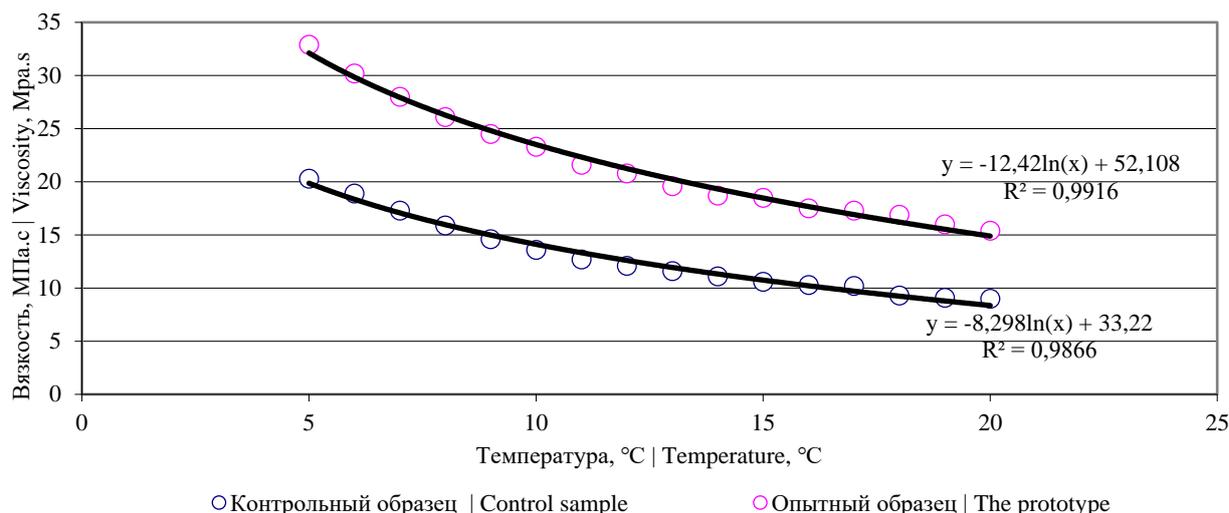


Рисунок 4. Вязкость кисломолочных напитков

Figure 4. Viscosity of fermented milk drinks

Заключение

Определена повышенная на 30% вязкость опытного образца по сравнению с контрольным. Консистенция напитка при хранении стабильная. По результатам исследований у кисломолочного напитка с порошком лукумы установлена самая прочная связь со сгустком по сравнению

с контрольным образцом. Количество сыворотки, полученной в ходе эксперимента в опытном образце было в два раза меньше, чем в контрольном. Данный факт можно объяснить влиянием порошка лукумы на реологические свойства напитка. Таким образом, получен кисломолочный напиток с улучшенными реологическими показателями.

Литература

- 1 Кадиева Т.А., Караева З.А., Алдатова Д.Г. Актуальность использования барбариса в технологии функциональных кисломолочных продуктов // Материалы 9-й научно-практической конференции. ФГБОУ ВО Горский ГАУ, 2020. С. 386–389.
- 2 Долматова О.И., Дошина А.В., Печенкина И.Н., Выклинец Л.В. Современные технологии кисломолочного продукта со вкусовыми компонентами // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 38–39.
- 3 Рысина В.И. и др. Ацидофильный кисломолочный напиток с растительной добавкой // Инновационные технологии в науке: управление качеством, метрологическое обеспечение, новые подходы и цифровизация производства в сфере АПК. 2023. С. 312–317.
- 4 Шкловец А.В., Агафонова С.В. Кисломолочный напиток, обогащенный биологически активными веществами биомассы *Arthrospira* // Вестник молодежной науки. 2021. №. 3 (30). С. 9.
- 5 Гордеева Ю.В., Буянова И.В. Исследование и разработка кисломолочных напитков с использованием экстракта чаги // Пищевые инновации и биотехнологии. 2020. С. 96–98.
- 6 Хрипко И.А., Бредихина А.С., Фоменко Д.А. Разработка рецептуры кисломолочного напитка с фруктовым наполнителем // Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения. 2020. С. 464.
- 7 Иванова А.В., Неронова Е.Ю. Кисломолочный напиток с томатным соком и морковным пюре // М 75 Молодые исследователи агропромышленного и лесного ком. 2020. С. 47.
- 8 Уткина О.С., Бычкова В.А. Использование стабилизаторов в производстве кисломолочных напитков // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. №. 1. С. 14–20.
- 9 Нестеренко Н.С., Мазеева И.А. Применение пажитника в технологии кисломолочного напитка // Пищевые инновации и биотехнологии. 2021. С. 222–224.
- 10 Мальченко Т.В., Лунева О.Н., Зомитева Г.М. Разработка технологии кисломолочного напитка с фитокомпонентами // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2023. №. 2. С. 26–30.
- 11 Slyvka N.B., Bilyk O.Y., Nagovska V.O. Development of the technology of fermented milk drink with goji berries // Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies. 2022. V. 24. №. 97. P. 65-71.
- 12 dos Santos D.G. et al. Sensory profile of fermented milk drink with yellow mombin (*Spondias mombin* L.) and the addition of (*Crotonblanchetianus* Baill) essential oil // Food Science and Technology. 2021. V. 42. P. e40221.
- 13 Alekseeva Y.A. et al. Ecological and raw material aspects of the production of fermented milk drinks // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. V. 981. №. 2. P. 022082.
- 14 de Matos Reis S. et al. Development of milk drink with whey fermented and acceptability by children and adolescents // Journal of Food Science and Technology. 2021. V. 58. P. 2847–2852.

15 Savaiano D.A., Hutkins R.W. Yogurt, cultured fermented milk, and health: A systematic review // *Nutrition reviews*. 2021. V. 79. № 5. P. 599–614.

16 Кобякова М.С., Демьянова Т.В., Широкова Н.В. Состав и свойства сырьевых компонентов, их роль в формировании качества мороженого // *Общество – Наука – Инновации: сборник статей международной научно-практической конференции*, г. Ижевск. Уфа: OMEGA SCIENCE, 2021. С. 30–34.

17 Сергеенко А.И., Кошелева Е.А. Оптимизация функционального ацидофильного напитка с использованием органического порошка лукумы // *Теория и практика современной аграрной науки: сб. V национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием*. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2022. С. 1067–1071.

18 Сергеенко А.И., Кошелева Е.А. Исследование пищевой безопасности и совершенствование технологии ацидофильного напитка с применением органического порошка лукумы // *Развитие биотехнологии: новая реальность: сборник Международной научно-практической конференции*. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2022. С. 141–149.

19 Кобякова М.С., Демьянова Т.В., Широкова Н.В. Состав и свойства сырьевых компонентов, их роль в формировании качества мороженого // *Общество – Наука – Инновации: Сборник статей международной научно-практической конференции*, г. Ижевск. Уфа: OMEGA SCIENCE, 2021. С. 30–34.

20 Голубева Л.В., Долматова О.И., Губанова А.А., Гребенкина А.Г. Изучение процесса синерезиса кисломолочных напитков // *Пищевая промышленность*. 2015. № 4. С. 42–43.

References

1 Kadieva T.A., Karaeva Z.A., Aldatova D.G. The relevance of the use of barberry in the technology of functional sour-milk products. Materials of the 9th Scientific and Practical Conference. FSBOU in Gorsky GAU, 2020. pp. 386–389. (in Russian).

2 Dolmatova O.I., Doshina A.V., Pechenkina I.N., Tyclinets L.V. Modern technologies of sour -milk product with taste components. *Food industry*. 2019. no. 4. pp. 38–39. (in Russian).

3 Rysina V.I. et al. Acydophilic sour -milk drink with a plant addition. *Innovative technologies in science: quality management, metrological support, new approaches and digitalization of production in the field of agricultural sector*. 2023. pp. 312–317. (in Russian).

4 Shklovets A.V., Agafonova S.V. Sour -milk drink enriched with biologically active substances of Arthrospira biomass. *Bulletin of Youth Science*. 2021. no. 3 (30). pp. 9. (in Russian).

5 Gordeeva Yu.V., Buyanova I.V. Research and development of sour -milk drinks using chaga extract. *Food Innovations and Biotechnology*. 2020. pp. 96–98.

6 Khripko I.A., Bredikhina A.S., Fomenko D.A. Development of a fermented milk drink with a fruit filler. *Biotechnological, environmental and economic aspects of creating safe food foods*. 2020. pp. 464. (in Russian).

7 Ivanova A.V., Neronova E.Yu. A fermented milk drink with tomato juice and carrot puree. *M 75 Young researchers of the agro -industrial and forest com*. 2020. pp. 47. (in Russian).

8 Utkina O.S., Bychkova V.A. The use of stabilizers in the production of sour -milk drinks. *Bulletin of the Izhevsk State Agricultural Academy*. 2020. no. 1. pp. 14–20. (in Russian).

9 Nesterenko N.S., Mazeeva I.A. The use of a fenced man in the technology of sour -milk drink. *Food Innovations and Biotechnology*. 2021. pp. 222–224. (in Russian).

10 Malchenko T.V., Luneva O.N., Zomiteva G.M. Development of sour -milk drink technology with phytocomponents. *Technology and commodity science of innovative foods*. 2023. no. 2. pp. 26–30. (in Russian).

11 Slyvka N.B., Bilyk O.Y., Nagovska V.O. Development of the technology of fermented milk drink with goji berries. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*. 2022. vol. 24. no. 97. P. 65-71.

12 dos Santos D.G. et al. Sensory profile of fermented milk drink with yellow mombin (*Spondias mombin* L.) and the addition of (*Croton blanchetianus* Bail) essential oil. *Food Science and Technology*. 2021. vol. 42. pp. e40221.

13 Alekseeva Y.A. et al. Ecological and raw material aspects of the production of fermented milk drinks. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing*, 2022. vol. 981. no. 2. pp. 022082.

14 de Matos Reis S. et al. Development of milk drink with whey fermented and acceptability by children and adolescents. *Journal of Food Science and Technology*. 2021. vol. 58. pp. 2847–2852.

15 Savaiano D.A., Hutkins R.W. Yogurt, cultured fermented milk, and health: A systematic review. *Nutrition reviews*. 2021. vol. 79. no. 5. pp. 599–614.

16 Kobyakova M.S., Demyanova T.V., Shirokova N.V. The composition and properties of raw materials components, their role in the formation of the quality of ice cream. *Society-Science-Innovation: a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Izhevsk. Ufa, Omega Science*, 2021. pp. 30–34. (in Russian).

17 Sergeenko A.I., Kosheleva E.A. Optimization of the functional acidophilic drink using the organic powder of Lukuma. *Theory and practice of modern agrarian science: Sat. V National (All -Russian) Scientific Conference with international participation*. Novosibirsk, IT NGAU "Golden Kolos", 2022. pp. 1067–1071. (in Russian).

18 Sergeenko A.I., Kosheleva E.A. The study of food safety and the improvement of the technology of an acidophilic drink using the organic powder of Lukuma. *Development of biotechnology: New reality: a collection of an international scientific and practical conference*. Novosibirsk, IC NGAU "Golden Kolos", 2022. pp. 141–149. (in Russian).

19 Kobyakova M.S., Demyanova T.V., Shirokova N.V. The composition and properties of raw materials components, their role in the formation of the quality of ice cream. *Society-Science-Innovation: a collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Izhevsk. Ufa, Omega Science*, 2021. pp. 30–34. (in Russian).

20 Golubeva L.V., Dolmatova O.I., Gubanova A.A., Grebenkina A.G. Studying the process of syneresis of sour -milk drinks. *Food industry*. 2015. no. 4. pp. 42–43. (in Russian).

Сведения об авторах

Ольга И. Долматова к.т.н., доцент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, olgadolmatova@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4450-8856>

Софья В. Мухоркина студент, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, muhorkinasofa0406@gmail.com

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Olga I. Dolmatova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, animal origin products technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, olgadolmatova@rambler.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-4450-8856>

Sofya V. Mukhorkina student, animal origin products technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, muhorkinasofa0406@gmail.com

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 05/04/2024	После редакции 22/04/2024	Принята в печать 14/05/2024
Received 05/04/2024	Accepted in revised 22/04/2024	Accepted 14/05/2024

Новые ассортиментные линейки мясных продуктов питания с использованием побочного сырья убоя кроликов

Людмила В. Антипова¹

e-mail@m.ru

 введите здесь orcidМарина С. Болдырева¹

bms88@ya.com

 XXXX-XXXX-XXXX-XXXX

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Луганский государственный университет имени Владимира Даля, кв. Молодежный, 20А, г. Луганск, 291034, Россия

Аннотация. Одним из основополагающих факторов формирования здоровья человека является его питание. Именно поэтому оно должно быть правильным, сбалансированным и соответствовать особенностям организма человека. Особое место в рационе человека занимают мясные продукты, которые обладают высокой пищевой, биологической, физиологической ценностью, а также усвояемостью. На сегодняшний день кролиководство является перспективным направлением животноводства, которое может обеспечить мясную промышленность высококачественными сырьевыми ресурсами. Особенно актуальным можно считать использование побочных продуктов убоя кроликов: субпродуктов, кишечного сырья и внутреннего жира. Аминокислотный состав определяли по ГОСТ 34132–2017 с помощью жидкостного хроматографа Shimadzu LC 20 Prominence методом ионообменной хроматографии с постколоночной дериватизацией нингидрином. Результаты исследования аминокислотного состава белков кишечного сырья показали наличие всех незаменимых аминокислот (%): валин – 0,66; лейцин – 0,97; гуолейцин – 0,52; треонин – 0,60; метионин – 0,29; триптофан – 0,05; лизин – 0,94; фенилаланин – 0,50. Аминокислотный состав голов, лапок, хвостов показал содержание незаменимых аминокислот в составе белков этого мясного сырья. За счёт применения побочных продуктов убоя кроликов можно повысить объёмы высокоценного питания, а также снизить его себестоимость сырья и продуктов. Обоснованы и предложены рецептуры и технологии оригинальных мясных продуктов различных ассортиментных линеек с максимальным использованием побочных продуктов убоя и разделки кроликов. На примере закуски хрустящей, колбасы мясо-растительной, зельца, деликатесного продукта – желудка фаршированного, показана перспективность и целесообразность расширения ассортимента продуктов питания эконом-класса для удовлетворения потребительского спроса с высокой биологической ценностью.

Ключевые слова: кролики, продукты убоя, оригинальный ассортимент, мясные продукты, субпродукты.

New assortment lines of meat food products using rabbit slaughter by-products

Ludmila V. Antipova¹

e-mail@m.ru

 введите здесь orcidMarina S. Boldyreva¹

bms88@ya.com

 XXXX-XXXX-XXXX-XXXX

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Volodymyr Dahl Lugansk State University, Molodezhny square, 20A, Lugansk, 291034, Russia

Abstract. One of the fundamental factors in the formation of human health is its nutrition. That is why it should be correct, balanced and correspond to the peculiarities of the human body. A special place in the human diet is occupied by meat products, which have a high nutritional, biological, physiological value, as well as digestibility. To date, rabbit breeding is a promising area of animal husbandry, which can provide the meat industry with high-quality raw materials. Especially relevant can be considered the use of by-products of slaughtering rabbits: by-products, intestinal raw materials and internal fat. The amino acid composition was determined according to GOST 34132–2017 using the Shimadzu LC 20 Prominence liquid chromatograph by ion exchange chromatography with post-column derivatization of ninhydrin. The results of the study of the amino acid composition of intestinal proteins showed the presence of all essential amino acids (%): Valin - 0.66; Leucin - 0.97; guileycin - 0.52; Treononin - 0.60; methionine - 0.29; Tryptofan - 0.05; Lizin - 0.94; phenylalanine - 0.50. The amino acid composition of heads, paws, tails showed the content of essential amino acids in the composition of the proteins of this meat raw material. At the expense of application of by-products of slaughter of rabbits it is possible to increase volumes of highly valuable food, and also to reduce its cost price of raw materials and products. Recipes and technologies of original meat products of various assortment lines with maximum use of by-products of slaughtering and cutting of rabbits are substantiated and offered. On the example of crispy appetizer, meat and vegetable sausage, zeltsa, delicacy product - stuffed stomach, the prospects and feasibility of expanding the range of economy-class food products to meet consumer demand with high biological value are shown.

Keywords: rabbits, slaughter products, original range, meat products, offal.

Введение

Питание человека – важнейший фактор формирования здоровья и активного долголетия. Качественное и сбалансированное питание обеспечивает жизнедеятельность и работоспособность человека, способствует профилактике заболеваний, повышает иммунитет в отношении неблагоприятного влияния окружающей среды и социальных условий.

Для цитирования

Антипова Л.В., Болдырева М.С. Новые ассортиментные линейки мясных продуктов питания с использованием побочного сырья убоя кроликов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 166–173. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-166-173

Среди пищевых продуктов значительная роль в питании отводится мясу и мясным продуктам ввиду высокой ценности белков. Перспективными источниками мяса выступают кролики. В настоящее время кролиководство как подотрасль животноводства переживает существенные изменения, а именно переход от выращивания в подворьях к развитию крупных индустриальных хозяйств. Ассортимент

For citation

Antipova L.V., Boldyreva M.S. New assortment lines of meat food products using rabbit slaughter by-products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 166–173. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-166-173

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

продуктов из мяса кроликов расширяется, в том числе создаются и внедряются в реальное производство мясные продукты функционального назначения [1, 2, 3]. Доказана их полезность при различных заболеваниях желудочно-кишечного тракта, сахарном диабете, ожирении, сердечно-сосудистых заболеваниях. Они показаны в питании беременных женщин, пожилых людей, рекомендуются для детского питания. Весьма важно отметить, что эссенциальные нутриенты и биологически активные вещества находятся в сбалансированном соотношении и обеспечивают метаболическую активность организма. Кроме того, скороспелость и высокая плодовитость этого вида животных составляют интерес для производства и связанного с ним бизнеса. Однако мясо кроликов относительно дорого, используется нерационально, характерно значительной долей несъедобных частей при переработке животных и разделке тушек, ассортимент продуктов всё ещё значительно ограничен, побочное сырьё используется в технологиях продуктов с низкой добавленной стоимостью.

Мясо кроликов в той или иной степени популярно практически во всех странах мира, кроме Ирана. Интерес зависит от особенностей культуры питания, религиозных традиций и других причин. Наблюдаются тенденции развития кролиководства в России и в мире, ставят как неотложную задачу комплексной и глубокой переработки формирующихся в процессе переработки биоресурсов.

Ранее было доказано наличие значительной доли белков и жиров в некоторых объектах переработки кроликов [4], дана их гистоморфологическая характеристика, определено общее содержание биополимеров и витаминов.

В значительной степени можно расширить ассортимент и раскрыть новые возможности использования побочного сырья переработки кроликов в технологии пищевых продуктов, что снизит себестоимость мяса. В этой связи значительный объём исследований проведён научным коллективом авторов Воронежского государственного университета инженерных технологий и других организаций. Результаты исследований легли в основу разработки усовершенствованных технологий разделки, способов получения полуфабрикатов, колбас, сосисок, паштетов, готовых блюд [5–11]. Однако возможности продуктов кролиководства не исчерпаны [12–14], так как вторичное сырьё задействовано не полностью. Представляет интерес исследовать возможности самостоятельного использования отделов желудочно-кишечного тракта (желудок, тонкий и толстый кишечник, мочевой пузырь), имеющего значительный массовый выход при разделке тушек с привлечением маловостребованных в настоящее время ресурсов (уши, лапы, хвосты, головы).

Цель работы – изучение пищевой ценности побочных продуктов убоя кроликов и обоснование новых способов их применения в технологии оригинальных мясных и мясорастительных продуктов эконом-класса с высокой биологической ценностью.

Объекты и методы

Объектами исследования служили кролики породы чёрно-бурый и продукты их переработки. Выбор данной породы обусловлен основными характеристиками (рисунок 1).

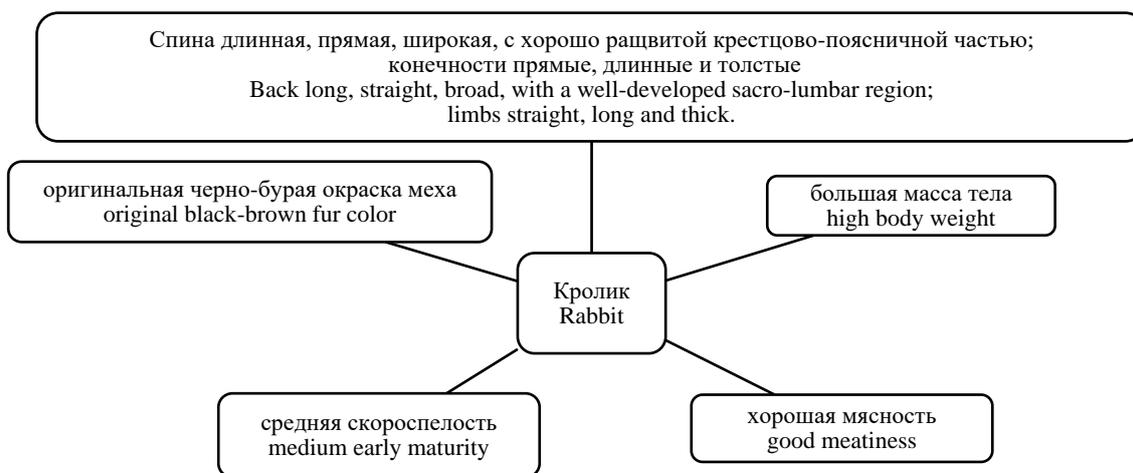


Рисунок 1. Характеристика кроликов породы чёрно-бурый
Figure 1. Characteristics of black-brown rabbits

Отбор кроликов проводили в фермерских хозяйствах Воронежской области по ГОСТ 7686–88 в возрасте 3 месяца. Живая масса отобранных кроликов составляла 2,5–2,6 кг.

Убой кроликов и обработку тушек проводили в соответствии с действующей документацией в условиях фермерских хозяйств в последовательности, технологических операций, представленных на рисунке 2:

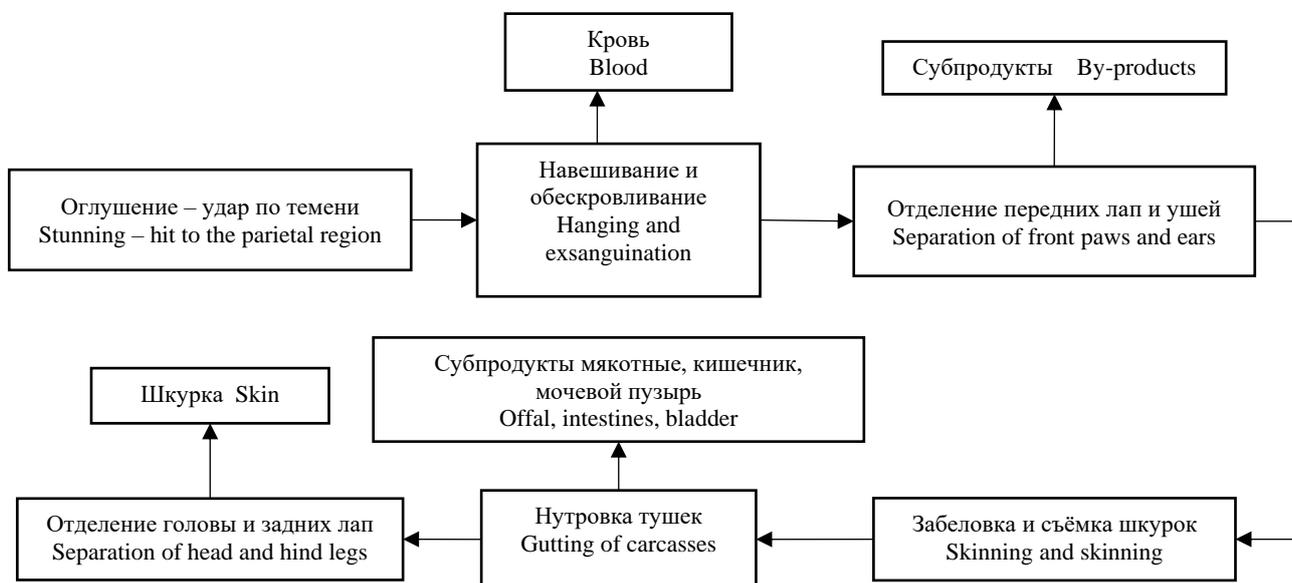


Рисунок 2. Последовательность технологических операций убоя кроликов, обработки тушек и сбора побочных продуктов

Figure 2. Sequence of technological operations for slaughtering rabbits, processing carcasses and collecting by-products

В результате реализации технологической схемы были собраны и взвешены продукты убоя.



Рисунок 3. Продукты убоя кролика: 1 – голова; 2 – тушка; 3 – уши; 4 – лапки; 5 – печень; 6 – почки; 7 – легкие; 8 – сердце; 9 – внутренний жир; 10 – желудок; 11 – толстый и тонкий кишечник; 12 – мочевой пузырь

Figure 3. Rabbit slaughter products: 1 – head; 2 – carcass; 3 – ears; 4 – feet; 5 – liver; 6 – kidneys; 7 – lungs; 8 – heart; 9 – internal fat; 10 – stomach; 11 – large and small intestine; 12 – bladder

Химический состав определяли в условиях Испытательного центра ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» с использованием рекомендаций [15].

При этом массовую долю белка определяли методом минерализации органических веществ проб с последующим определением азота по количеству образовавшегося аммиака (методом Кьельдаля) по ГОСТ 25011–2017; массовую долю жира определяли по ГОСТ 23042–2015 с помощью многократной экстракции жира растворителем из высушенной анализируемой пробы в экстракционном аппарате Сокслета с последующим удалением растворителя и высушиванием выделенного жира до постоянной массы; массовую долю влаги определяли влагомером термогравиметрически по ГОСТ 29027–91;

Аминокислотный состав определяли по ГОСТ 34132–2017 с помощью жидкостного хроматографа Shimadzu LC-20 Prominence методом ионообменной хроматографии с постколоночной дериватизацией нингидрином.

Массовую долю объектов определяли путём взвешивания на технических весах с точностью до $\pm 0,1$ г.

Разделку тушек кроликов проводили в лабораторных условиях с выделением анатомических участков, определяли общий химический состав и энергетическую ценность объектов (таблица 1).

Таблица 1.

Химический состав отдельных частей мяса кроликов породы черно-бурый в возрасте 3 мес

Table 1.

Chemical composition of separate parts of meat of black-brown rabbits at the age of 3 months

Часть Part	Массовая доля, % Mass fraction, %			Энергетическая ценность, ккал/100 г Energy value, kcal/100 g
	влага water	белок protein	жир fat	
Тазобедренная Hip	72,3	23,58	4,12	110,8
Лопаточно- плечевая Scapulothumeral	74,51	22,27	3,97	104,96
Пояснично- крестцовая Lumbosacral	73,56	20,84	5,43	105,08
Шейно-грудная Cervicothoracic	74,86	20,12	4,02	96,56
Длиннейшая мышца Longest muscle	73,64	24,59	3,31	111,6

В таблице 2 представлен массовый состав тушки кролика породы чёрно-бурый в возрасте 3 месяцев с расчётом выхода отдельных анатомических участков и органов.

Таблица 2.

Выход продуктов убоя кролика породы черно-бурый в возрасте 3 мес

Table 2.

Yield of slaughter products of black-brown rabbit breed at the age of 3 months

Сырьё Raw material	Масса, г Mass, g	Выход, % Output, %
Тушка Carcass	1070,8	45,2
Шкурка Skin	282,6	11,9
Голова Tin	138,5	5,8
Лапки Feet	78,6	3,3
ЖКТ Gastrointestinal tract	698,6	29,6
Печень Liver	64,9	2,7
Лёгкие Lungs	17,6	0,7
Сердце Heart	5,5	0,2
Почки Kidneys	14,1	0,6

Полученные результаты свидетельствуют о высоком массовом выходе желудочно-кишечного тракта, который после мясной тушки находится на втором месте, а так же обращает внимание большой массовый выход голов, лапок, печени и лёгких

Суммарно побочные продукты убоя кроликов составляют 54,8%. Практика кролиководства свидетельствует о том, что большая их часть не используется для производства пищевой продукции, а подлежит утилизации. В ходе реализации экспериментальных исследований нами установлен общий химический состав мяса и побочных продуктов убоя и разделки кроликов (рисунок 4)

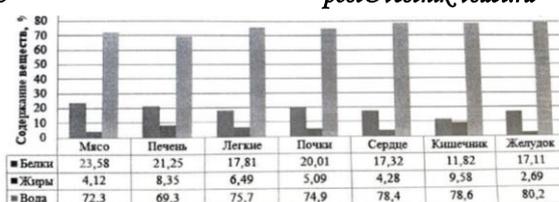


Рисунок 4. Сравнительная характеристика химического состава продуктов убоя кролика

Figure 4. Comparative characterization of chemical composition of rabbit slaughter products

На рисунке видно, что объекты исследования весьма приближены по содержанию белка, в том числе в печени – 21,25% и почках – 17,32%, лёгких и сердце – 17,81% и 17,32% соответственно.

Учитывая выход химический состав кишечного сырья можно сделать выводы о том, что рациональное использования желудка и отделов тонкого и толстого кишечника в технологии мясных продуктов позволит не только снизить себестоимость готовой продукции, но и повысить пищевую ценность за счёт высокого массового содержания белка (17,11 и 17,82% соответственно), значительную долю которого представляют соединительнотканые, характерные технологической и биологической функциональностью в пищевых системах [16–20].

Результаты исследования аминокислотного состава белков кишечного сырья показали наличие всех незаменимых аминокислот (%): валин – 0,66; лейцин – 0,97; гуолейцин – 0,52; треонин – 0,60; метионин – 0,29; триптофан – 0,05; лизин – 0,94; фенилаланин – 0,50. Аминокислотный состав голов, лапок, хвостов показал содержание незаменимых аминокислот в составе белков этого мясного сырья. Совокупность свойств продуктов убоя кроликов позволила обосновать подходы и разработать технологию оригинальных мясных продуктов различных ассортиментов линеек.

Результаты и обсуждение

Учитывая современные запросы потребителей, составлены и реализованы в лабораторных условиях рецептуры мясных продуктов, характерные новизной технологических решений. В ходе экспериментальных исследований использовались действующие в отрасли технологии обработки сырья и предложены усовершенствованные технологические процессы. Перечень оригинальных мясных продуктов, разработанных с использованием основного и побочного сырья убоя и разделки тушек кроликов: закуска хрустящая, зельц, колбаса из субпродуктов с пшеном; желудок фаршированный. Внешний вид продуктов и вид на разрезе показаны на рисунке 5.

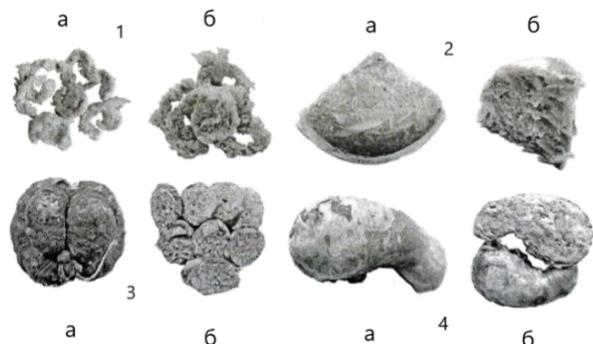


Рисунок 5. Мясные изделия из продуктов убоя и разделки тушек кролика: 1 – закуска хрустящая (а – без вкус-ароматических добавок; б – обсыпка паприкой и чесноком); 2 – зельц (а – внешний вид; б – вид на разрезе); 3 – колбаса из субпродуктов с пшеном (а – внешний вид; б – вид на разрезе); 4 – желудок фаршированный (а – внешний вид; б – вид на разрезе)

Figure 5. Meat products from products of slaughter and cutting of rabbit carcasses: 1 – crispy appetizer (a – without flavor-aromatic additives; b – sprinkling with paprika and garlic); 2 – zelts (a – external view; b – cut view); 3 – sausage from offal with millet (a – external view; b – cut view); 4 – stuffed stomach (a – external view; b – cut view)

Закуска хрустящая представляет собой отваренный и обжаренный в кляре тонкий отдел кишечника кролика. В рецептуру продукта дополнительно входят яйца куриные, мука, поваренная соль. Продукт может производиться в двух видах: с обсыпкой вкус-ароматическими добавками и без них (а и б, рисунок 5). Технологический процесс изготовления включает этапы: подготовка кишечного сырья, варка и панировка в льезоне и муке, обжарка во фритюре. При использовании добавок на заключительной стадии продукт дополнительно обсыпается сухой смесью паприки и чеснока. Подготовку кишечного сырья проводили путём разборки комплекта, освобождения от содержимого, обезжиривания, выворачивания, удаления балластных слоёв, промывки в подсоленной воде. Варку производили в горячей воде ($93 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$) в течение 1,5–2 ч.

Сваренные кишки раскладывали тонким слоем и охлаждали, нарезали длиной 10 см. и мариновали в смеси соли и душистого перца. Замаринованные кишки панировали в муке, льезоне и снова в муке, а затем обжаривали во фритюре, полностью погружая в разогретое до $180\text{--}190 \text{ }^\circ\text{C}$ масло. Готовый продукт упаковывали. Рекомендуем использовать трёхшовный пакет типа флору-пак.

Для приготовления зельца использовались в качестве основного сырья: мясо, лапки, головы, уши и хвост кроликов. В рецептуру зельца также входит шейно-грудная и пояснично-

крестцовая часть тушки и предварительно обработанные жерстные субпродукты, а также свежие овощи. Этапы технологического процесса показаны на рисунке 6, а внешний вид и вид на разрезе на рисунке 5.

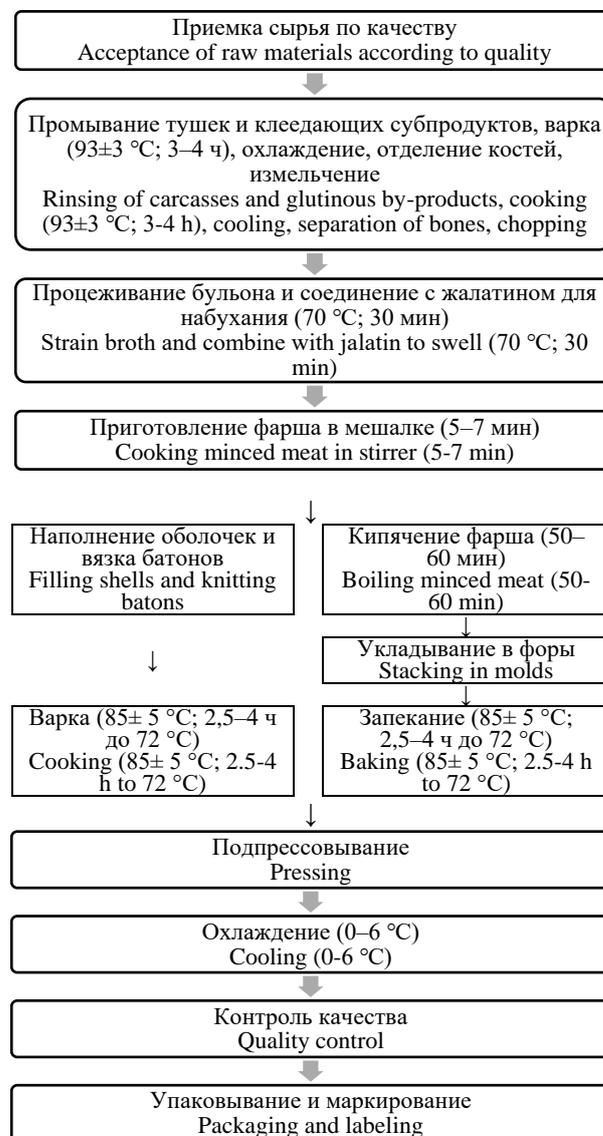


Рисунок 6. Технологическая схема производства зельца
Figure 6. Technological scheme of zeltsa production

В качестве формовочного материала использовали искусственную колбасную оболочку. При изготовлении зельца с использованием запекания мясную массу заливали в формы.

Разработана и предложена рецептура мясорастительной колбасы, которая включает субпродукты кролика и крупы (печень, почки, лёгкие, сердце, внутренний жир, пшено шлифованное и специи).

Этапы технологического процесса представлены на рисунке 7. В качестве формовочного материала использовали толстый отдел кишечника.

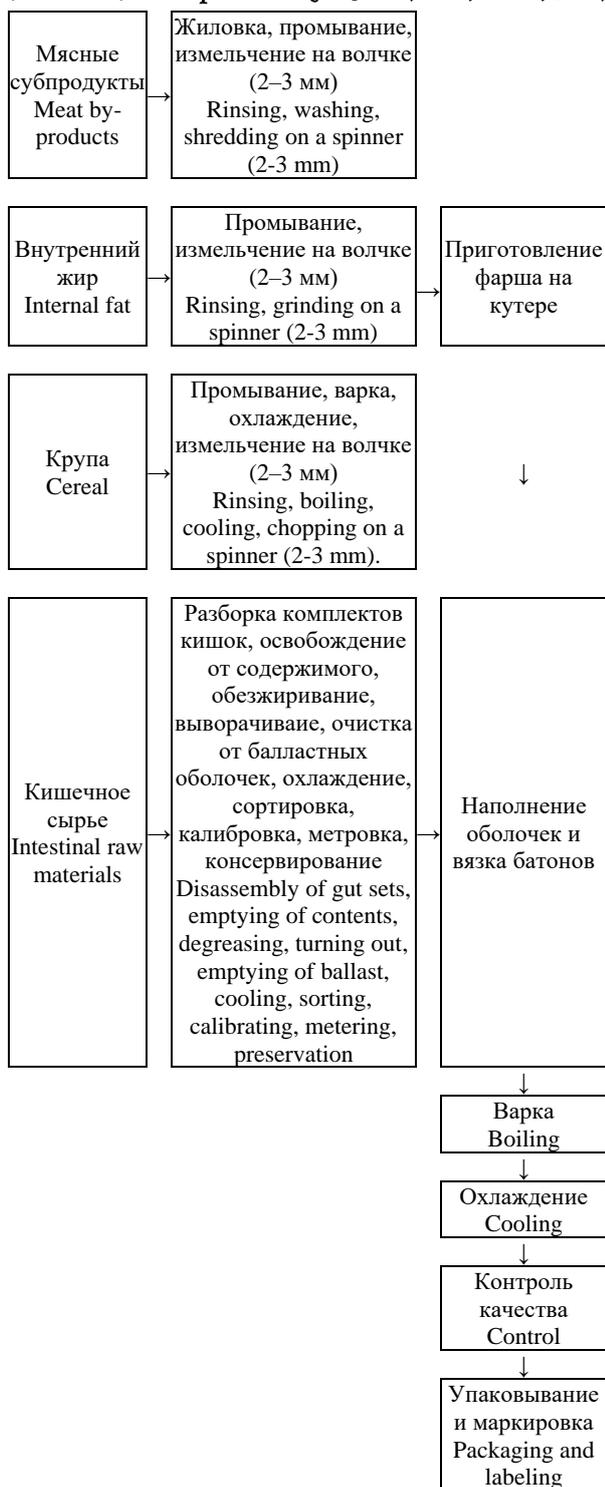


Рисунок 7. Технологическая схема производства мясо-растительной колбасы с пшеном

Figure 7. Technological scheme of meat and vegetable sausage production with millet

Из крольчатины и внутреннего жира разработана рецептура деликатесного продукта – фаршированного желудка, в состав которой входит: мясо тазобедренной части, мясо спины, внутренний жир и специи. Внешний вид и вид на разрезе показаны на рисунке 8.

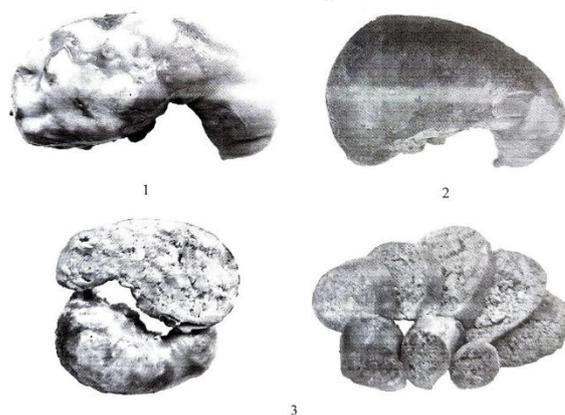


Рисунок 8. Желудок фаршированный: 1 – в сыром виде; 2 – в готовом виде; 3 – вид на разрезе

Figure 8. Stuffed stomach: 1 - raw; 2 - cooked; 3 - cut view

Технологическая схема получения нового деликатесного продукта представлена схеме (рисунок 9)

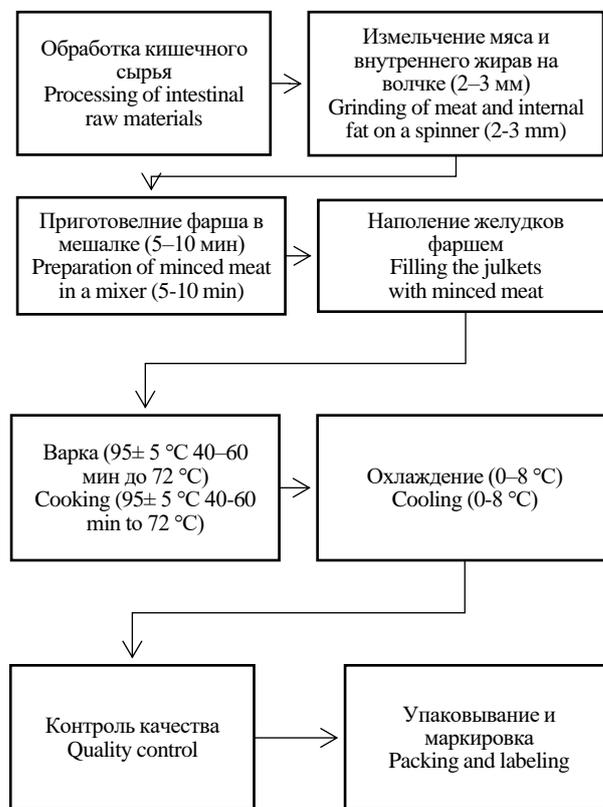


Рисунок 9. Технологическая схема производства фаршированного желудка фаршированного

Figure 9. Technological scheme of production of stuffed stomach stuffed stomach

Полученные продукты подвергнуты дегустационной оценке, которая подтверждала хорошее качество, социальное значение благодаря предварительному расчёту себестоимости и высокого уровня биологической ценности.

Заключение

Побочные продукты убоя кроликов представляют научно-практический интерес из-за высокого содержания белков и наличия в их составе незаменимых аминокислот. Желудочно-кишечный тракт, включая желудок, тонкий и толстый отделы кишечника, мочевой пузырь могут использоваться как самостоятельное сырьё при производстве мясных и мясорастительных продуктов в качестве основного сырья или компонентов рецептуры. Максимальное включение

в состав рецептуры неиспользуемого побочного сырья убоя и разделки тушек кроликов позволяет увеличить объёмы белоксодержащих продуктов питания, уменьшить их себестоимость, обеспечить широкий потребительский спрос. Предложенные технические решения по производству хрустящей закуски, зельца, колбас из субпродуктов с пшеном и желудка фаршированного характерны новизной, готовые продукты имеют высокую дегустационную оценку и привлекательны по цене, отвечающей требованиям к продуктам, эконом-класса.

Литература

- 1 Bohrer B.M. Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein // *Trends in Food Science & Technology*. 2017. V. 65. P. 103-112.
- 2 Бекетов С., Дубинина М. Состояние и перспективы мирового кролиководства // *Комбикорма*. 2020. № 5. С. 48.
- 3 Беленикина А.Ю., Бачинская В.М. Пищевая ценность и польза мяса кроликов // *Инновационная наука*. 2020. № 12. С. 167–168.
- 4 Chodkowska K.A., Wódz K., Wojciechowski J. Sustainable future protein foods: the challenges and the future of cultivated meat // *Foods*. 2022. V. 11. №. 24. P. 4008.
- 5 Василенко О.В., Соколов А.В. Рациональное использование кишечного сырья кроликов в мясной промышленности // *Лесная индустрия*. 2010. № 6. С. 29–32.
- 6 Волкова О.В., Есенбаева К.С. Изучение качества отрубов тушки кроликов // *Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья*. 2016. № 3 (34). С. 50–55.
- 7 Демина Д.А., Соколов А.В. Перспективы использования кроличьего жира для получения белково-жировых эмульсий // *Успехи современного естествознания*. 2012. № 6. С. 132.
- 8 Попова Я.А., Молоканова Л.В. Белковая ценность мяса кроликов как сырья для получения копченых колбас // *Перспективные научные исследования и разработки в кооперативном секторе экономики. Материалы Международной научно-практической конференции в рамках ежегодных Чайновских чтений*. Москва: Издательство «Канцлер», 2015. С. 180–183.
- 9 Попова Я.А., Антипова Л.В. Значение и особенности рациональной разделки кроликов // *Производственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: материалы Междунар. научн.-практ. конф. Воронеж: ВГУИТ*, 2016. С. 38–42.
- 10 Добролюбова О.А., Соколов А.В. Изучение возможности использования конечного сырья кроликов в технологии мясных продуктов // *Современные наукоемкие технологии*. 2010. № 3. С. 32.
- 11 Ключникова О.В., Кожевникова Н.П., Слободяник В.С. и др. Функциональные продукты на основе мяса кролика // *Успехи современного естествознания*. 2012. № 6. С. 134–135.
- 12 Petracci M., Cavani C. Rabbit meat processing: historical perspective to future direction // *World Rabbit Sci*. 2013. № 21. С. 217–226.
- 13 Maertens L., Coudent P. Recent advances in Rabbit sciences. *Cost*, 2006. 300с.
- 14 Dalle Zotte A. Dietary advantages: rabbit must tame consumers // *Viandes et produits Carnes*. 2004. V. 23. №. 6. P. 161-167.
- 15 Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А. Методы исследования мяса и мясopодуKтов. М.: Колос, 2001. 376 с.
- 16 Malav O.P., Talukder S., Gokulakrishnan P., Chand S. Meat analog: A review // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2015. V. 55. №. 9. P. 1241-1245.
- 17 Ismail I., Hwang Y.H., Joo S.T. Meat analog as future food: A review // *Journal of animal science and technology*. 2020. V. 62. №. 2. P. 111. doi: 10.5187/jast.2020.62.2.111
- 18 Leistner L. Shelf-stable products and intermediate moisture foods based on meat // *Water Activity*. Routledge, 2017. P. 295-327.
- 19 Godfray H.C.J., Aveyard P., Garnett T., Hall J.W. et al. Meat consumption, health, and the environment // *Science*. 2018. V. 361. №. 6399. P. eaam5324. doi: 10.1126/наука.aam5324
- 20 De Smet S., Vossen E. Meat: The balance between nutrition and health. A review // *Meat Science*. 2016. V. 120. P. 145-156.

References

- 1 Bohrer B.M. Nutrient density and nutritional value of meat products and non-meat foods high in protein. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. vol. 65. pp. 103-112.
- 2 Beketov S., Dubinina M. The state and prospects of world rabbit breeding. *Combace*. 2020. no. 5. pp. 48. (in Russian).
- 3 Belenikina A.Yu., Bachinskaya V.M. The nutritional value and benefits of meat of rabbits. *Innovative science*. 2020. no. 12. pp. 167–168. (in Russian).
- 4 Chodkowska K.A., Wódz K., Wojciechowski J. Sustainable future protein foods: the challenges and the future of cultivated meat. *Foods*. 2022. vol. 11. no. 24. pp. 4008.
- 5 Vasilenko O.V., Sokolov A.V. The rational use of the intestinal raw materials in the meat industry. *Forest Industry*. 2010. no. 6. pp. 29–32. (in Russian).

6 Volkova O.V., Esenbaeva K.S. Studying the quality of the cuts of the carcass of rabbits. Bulletin of the State Agrarian University of the Northern Trans -Urals. 2016. no. 3 (34). pp. 50–55. (in Russian).

7 Demina D.A., Sokolov A.V. Prospects for the use of rabbit fat to obtain protein-fat emulsions. Success of modern natural science. 2012. nno. 6. pp. 132. (in Russian).

8 Popova Ya.A., Molokanova L.V. The protein value of the meat of rabbits as raw materials for obtaining smoked sausages. Promising scientific research and development in the cooperative sector of the economy. Materials of the International Scientific and Practical Conference in the framework of annual Chayanov readings. Moscow, Chancellor Publishing House, 2015. pp. 180–183. (in Russian).

9 Popova Ya.A., Antipova L.V. The value and features of rational cutting of rabbits. Production security: scientific, personnel and information support: Materials of the Inter. Scientific and practical. Conf. Voronezh: Vegit, 2016. pp. 38–42. (in Russian).

10 Dobrolyubova O.A., Sokolov A.V. Studying the possibility of using the final raw materials in the technology of meat products. Modern high -tech technologies. 2010. no. 3. pp. 32. (in Russian).

11 Klyuchnikova O.V., Kozhevnikova N.P., Slobodyanik V.S. et al. Functional products based on rabbit meat. Successes of modern natural science. 2012. no. 6. pp. 134–135. (in Russian).

12 Petracci M., Cavani C. Rabbit meat processing: historical perspective to future direction. World Rabbit Sci. 2013. no. 21. pp. 217–226.

13 Maertens L., Coudent P. Recent advances in Rabbit sciences. Cost, 2006. 300 p.

14 Dalle Zotte A. Dietary advantages: rabbit must tame consumers. Viandes et produits Carnes. 2004. vol. 23. no. 6. pp. 161-167.

15 Antipova L.V., Glotova I.A., Rogov I.A. Methods of research of meat and meat products. M., Kolos, 2001. 376 p. (in Russian).

16 Malav O.P., Talukder S., Gokulakrishnan P., Chand S. Meat analog: A review. Critical reviews in food science and nutrition. 2015. vol. 55. no. 9. pp. 1241-1245.

17 Ismail I., Hwang Y.H., Joo S.T. Meat analog as future food: A review. Journal of animal science and technology. 2020. vol. 62. no. 2. pp. 111. doi: 10.5187/jast.2020.62.2.111

18 Leistner L. Shelf-stable products and intermediate moisture foods based on meat. Water Activity. Routledge, 2017. pp. 295-327.

19 Godfray H.C.J., Aveyard P., Garnett T., Hall J.W. et al. Meat consumption, health, and the environment. Science. 2018. vol. 361. no. 6399. pp. eaam5324. doi: 10.1126/наука.aam5324

20 De Smet S., Vossen E. Meat: The balance between nutrition and health. A review. Meat Science. 2016. vol. 120. pp. 145-156.

Сведения об авторах

Information about authors

Людмила В. Антипова д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, e-mail@m.ru

Ludmila V. Antipova Dr. Sci. (Engin.), professor, animal products technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, e-mail@m.ru

 <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>

 <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>

Марина С. Болдырева старший преподаватель, кафедра товароведения и экспертизы товаров, Луганский государственный университет имени Владимира Даля, кв. Молодежный, 20А, г. Луганск, 291034, Россия, bms88@ya.com

Marina S. Boldyreva senior lecturer, commodity science and examination of goods department, Volodymyr Dahl Lugansk State University, Molodezhny square, 20A, Lugansk, 291034, Russia, bms88@ya.com

 <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>

 <https://orcid.org/XXXX-XXXX-XXXX-XXXX>

Вклад авторов

Contribution

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/04/2024	После редакции 30/04/2024	Принята в печать 20/05/2024
Received 15/04/2024	Accepted in revised 30/04/2024	Accepted 20/05/2024

Использования масла льняного холодного отжима в комплексе с белым люпином, прошедшим барогидротермическую обработку, в составе комбикормов для Радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*)

Юрий А. Кучихин	1	KuchihinYA@melkom.ru	 0000-0002-8698-1828
Евгений А. Размочаев	2	razmochaeva@melkom.ru	
Никита И. Кочетков	1	samatrixs@gmail.com	 0000-0002-2196-5421
Дмитрий Л. Никифоров-Никишин	1	niknikdl@rambler.ru	 0000-0002-1715-057X
Евгений В. Евсеев	2	evseev@melkom.ru	

1 МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, д.73, г. Москва, 109004, Россия

2 ООО «АгроАльянсРазвития», ул. Вокзальная, д. 9, ком. 11, г Тверь, 170100, Россия

Аннотация. Производственные затраты на выращивание форели, связанные с кормлением при интенсивном коммерческом росте, составляет 50–60% всех производственных затрат, поэтому необходимо, чтобы кормление рыб дало высокий экономический эффект. В настоящее время, в связи с высокой интенсификацией товарной аквакультуры увеличиваются издержки на производство товарной рыбы, и, как следствие увеличивают ее стоимость для потребителя. Комбикормовые предприятия вынуждены осуществлять поиск новых высокоэффективных компонентов для производства комбикормов, обеспечивающих организм рыбы необходимыми питательными и биологически-активными веществами, а также белками и жирами высокого качества. Для этого в состав комбикормов вводят растительные компоненты, среди которых основное место занимают растительные концентраты – зерно после различной обработки, растительные масла и др. В данной работе исследовалось эффективность применения льняного масла холодного отжима в комплексе с белым люпином прошедшего барогидротермическую обработку (БГТО), в составе комбикорма для радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), где льняное масло заменяло 65% рыбьего жира. Сравнение производилось с рецептурами: без включения белого люпина с 50% заменой рыбьего жира рапсовым маслом и на чистом рыбьем жире. Применение льняного масла в комплексе с БГТО белого люпина привело к улучшению рыбоводно-биологических показателей, а также позволило снизить себестоимость комбикорма. Проведенные гематологические исследования позволяют утверждать об отсутствии негативного влияния льняного масла и БГТО белого люпина на физиологическое состояние радужной форели. Строение ткани кишечника во всех образцах не имело значимых морфологических изменений. Проведенное исследование позволяет заключить о возможности замены рыбьего жира в составе продукционных кормов для радужной форели до 65%.

Ключевые слова: аквакультура, корма, льняное масло, жирные кислоты, радужная форель, рапсовое масло, барогидротермическая обработка, гематология, гистология.

The use of cold-pressed linseed oil in combination with white lupine, which has undergone barohydrothermal treatment, as part of compound feeds for Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)

Yuri A. Kuchikhin	1	KuchihinYA@melkom.ru	 0000-0002-8698-1828
Evgeniy A. Razmochaev	2	razmochaeva@melkom.ru	
Nikita I. Kochetkov	1	samatrixs@gmail.com	 0000-0002-2196-5421
Dmitry L. Nikiforov-Nikishin	1	niknikdl@rambler.ru	 0000-0002-1715-057X
Evgeniy V. Evseev	2	evseev@melkom.ru	

1 MSUTU im. K.G. Razumovsky (PKU), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

2 AgroAllianceRazvitiya LLC, st. Vokzalnaya, 9, room. 11, Tver, 170100, Russia

Abstract. The production costs of growing trout associated with feeding with intensive commercial growth is 50-60% of all production costs, therefore, it is necessary that fish feeding give a high economic effect. Currently, due to the high intensification of commodity aquaculture, the costs of the production of commodity fish are increasing, and, as a result, they increase its cost for the consumer. Combageum enterprises are forced to search for new highly effective components for the production of compound feeds that provide the body with the necessary nutritional and biologically active substances, as well as high-quality proteins and fats. To do this, plant components are introduced into the composition of compound feeds, among which plant concentrates occupy the main place - grain after various processing, vegetable oils, etc. In this work, the effectiveness of the use of cold-pressed linseed oil in combination with white lupine that has undergone barohydrothermal treatment (BGTO), as part of a compound feed for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), where linseed oil replaced 65% of fish oil, was investigated. The comparison was made with the formulations: without the inclusion of white lupine with 50% replacement of fish oil with rapeseed oil and with pure fish oil. The use of linseed oil in combination with white lupine after barohydrothermal treatment has led to an improvement in fish-breeding and biological indicators, and has also reduced the cost of compound feed. The conducted hematological studies allow us to assert that there is no negative effect of linseed oil and white lupin barohydrothermal treatment on the physiological state of rainbow trout. The structure of the intestinal tissue in all samples had no significant morphological changes. The conducted research allows us to conclude that it is possible to replace fish oil in the composition of production feeds for rainbow trout by up to 65%.

Keywords: aquaculture, feed, linseed oil, fatty acids, rainbow trout, rapeseed oil, barohydrothermal treatment, hematology, histology.

Для цитирования

Кучихин Ю.А., Размочаев Е.А., Кочетков Н.И., Никифоров-Никишин Д.Л., Евсеев Е.В. Использование масла льняного холодного отжима в комплексе с белым люпином, прошедшим барогидротермическую обработку, в составе комбикормов для Радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 174–181. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-174-181

For citation

Kuchikhin Yu.A., Razmochaev E.A., Kochetkov N.I., Nikiforov-Nikishin D.L., Evseev E.V. The use of cold-pressed linseed oil in combination with white lupine, which has undergone barohydrothermal treatment, as part of compound feeds for Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Vestnik VGUET [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 174–181. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-174-181

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В разных странах производственные затраты на выращивание форели, связанные с кормлением при интенсивном коммерческом росте, составляет 50–60 % всех производственных затрат, поэтому необходимо, чтобы кормление рыб дало высокий экономический эффект [7]. В настоящее время, в связи с высокой интенсификацией товарной аквакультуры увеличиваются издержки на производство товарной рыбы, и, как следствие увеличивают ее стоимость для потребителя. Комбикормовые предприятия вынуждены осуществлять поиск новых высокоэффективных компонентов для производства комбикормов, обеспечивающих организм рыбы необходимыми питательными и биологически-активными веществами, а также белками и жирами высокого качества. Для этого в состав комбикормов вводят растительные компоненты, среди которых основное место занимают растительные концентраты – зерно после различной обработки, растительные масла и др. [9, 18]. Белый люпин (*Lupinus albus*) – зернобобовая сельскохозяйственная культура, широко культивируемая в России. Также как и соя, бобы белого люпина имеют высокое содержание сырого протеина, что определяет его активное использование в следующих областях: кормопроизводство для сельскохозяйственных, домашних животных и рыб, производство продуктов питания для человека и других сферах [4, 11].

Барогидротермическая обработка (БГТО) – метод обработки зерна, при котором сырье загружается в камеру, камера герметизируется, в нее подается под давлением пар. После истечения заданного времени камеру мгновенно разгерметизируют и сырье перемещается с избыточным давлением в приемный бункер и при этом вспучивается. Время обработки сырья составляет от 3 до 300 сек., давление пара от 0,3 до 3 МПа, а температура от 50 до 400 °С. Такая обработка приводит к деструкции природных полимеров, входящих в состав зерна под действием термических, механических и химических процессов [11]. Так как бобы белого люпина содержат большое количество алкалоидов [5], использовать их в чистом виде без потери качества комбикорма невозможно. Так как основное количество алкалоидов содержится в оболочке, данная технология позволяет сделать бобы доступными и безопасными к применению в комбикормах для объектов аквакультуры.

Метод холодного отжима льняного масла из льняного семени происходит путем однократного прессования [13]. Льняное масло по своим показателям жирных кислот в наибольшей степени способно заменить рыбий жир в составе комплексных рецептур

для объектов аквакультуры [1, 11, 12]. Наряду с активно используемым рапсовым маслом в рецептах импортных комбикормов используется льняное масло, которое по показателям жирнокислотного состава превосходит рапсовое. Однако объемы его производства в Европе не могут обеспечить потребность комбикормовой промышленности. Так как рыбий жир в значительной степени приводит удорожание комбикорма [7], наличие растительной жировой составляющей будет способствовать уменьшению себестоимости затрат на выращивание единицы товарной продукции аквакультуры.

Цель работы – оценка эффективности комплексного использования льняного масла холодного отжима с БГТО белого люпина в составе комбикормов на годовиках радужной форели в условиях садкового выращивания в акватории Ладожского озера.

Материалы и методы

Исследования выполнялись в условиях рыбоводного предприятия ООО «Ладожская форель» (Республика Карелия). В качестве объекта в исследованиях использовали годовиков радужной форели породы Дональдсона средней массой 250 г., выведенных из икры Aquasearch Fresh (Дания). Выращивание рыбы проводили в садках диаметром 12,7 м, установленных в акватории Ладожского озера.

Для эксперимента отобрано 45 000 особей радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*), которые были разделены на 3 группы: 2 опыта и контроль. Кормление рыб осуществляли вручную дважды в день, при этом рацион в равных долях делился на вечернее и утреннее кормление. Суточный рацион рассчитывали в зависимости от биомассы и температуры воды по специальным кормовым таблицам. Измерения гидрохимических параметров проводились с использованием оксиметра Milwaukee MW605 MAX и электронного термометра ТП700 с погрешностью измерений в 1 °С.

Средний вес определялся на платформенных весах ВСП-5КС с погрешностью измерений +/-10 г. Средний вес определяли по завешиванию 100 особей в 5 повторов. В качестве погрешности на воду и слизь брали 2%. Срок эксперимента составлял 90 суток.

По завершении опытного кормления производился расчет экономической эффективности выращивания радужной согласно методике, предложенной МСХ СССР и ВАСХНИЛ (1983) [20].

Кормление рыб осуществляли с применением комбикорма торговой марки «Aquatex» изготовленного по описанным ниже рецептурам на производственных мощностях ОАО «Мелькомбинат», г. Тверь.

Перед началом эксперимента все экспериментальные группы рыб получали контрольные корма. Комбикорма группы опыта произведены

на основе кормов группы контроля для максимальной достоверности полученных данных. Показатели корма для групп опыта и контроля приведены в таблице 1.

Таблица 1.
Нутриентный и аминокислотный состав корма для контрольных и опытных групп

Nutrient and amino acid composition of feed for control and experimental groups

Table 1.

Показатель Index	Образец Sample		
	Контроль Control	1	2
Влажность Humidity	6,44	6,2	6,3
Сырой протеин Raw protein	44,00	44	44
Сырой жир Raw fat	23,00	23	23
Сырая клетчатка Raw fiber	1,29	1,34	1,3
Сырая зола Raw ash	5,34	5,8	5,9
Лизин Lysine	3,23	3,29	3,32
Метионин Methionine	0,82	0,8	0,81
Треонин Threonine	1,80	1,8	1,83
Аргинин Arginine	2,2	2,15	2,16
Изолейцин Isoleucine	1,50	1,42	1,44
Валин Valin	2,29	2,28	2,28
Гистидин Histidine	1,27	1,29	1,29
Ca	1,3	1,28	1,28
P	1,1	1,2	1,2
БГТО Люпина white lupine	0%	0%	5%
Жир рыбий, % напыления Fish oil, % of spraying	50	100	35
Масло рапсовое, % напыления Rapeseed oil, % of spraying	50	0	0
Масло льняное, % напыления Linseed oil, % of spraying	0	0	65

Процент напыления означает напыления жидкой части вакуумным напылителем при производстве комбикорма. За 100% напыление брался состав жидкой части комбикорма. Показатели используемого БГТО белого люпина сорта Дега (Определен по: С65 Сортовые признаки сельскохозяйственных культур) приведен в таблице 2.

Показатели качества льняного масла, рапсового масла и рыбьего жира приведены в таблице 3.

Таблица 2.
Показатели качества белого люпина после обработки БГТ, в %

Table 2.
Quality indicators of white lupin after BHT treatment, in %

Показатель Index	Значение Value
Влажность Humidity	6,7
Сырой протеин Raw protein	39,8
Сырая клетчатка Raw fiber	3,9
Сырой жир Raw fat	9,5
Сырая зола Raw ash	3,7

Таблица 3.
Показатели качества льняного масла, рапсового масла и рыбьего жира, в %

Quality indicators of linseed oil, rapeseed oil and fish oil, in %

Table 3.

Показатель, % от суммы ЖК Indicator, % of the amount of the LCD	Рыбий жир Fish fat	Рапсовое масло Rapeseed oil	Льняное масло Linseed oil
Миристиновая Myristic acid	7,34	0	0,4
Миристолеиновая Myristoleic acid	0,17	0	0
Пентадекановая Pentadecane acid	0,36	0	0
Пальмитиновая Palmitic acid	16,37	5,46	6,27
Пальмитолеиновая Palmitoleic acid	11,45	0,45	0,97
Стеариновая Stearic acid	3,01	2,2	4,23
Элаидиновая Elaidine acid	3,94	0	0
Олеиновая Oleic acid	15,06	57,48	16,24
Линолевая Linoleum	1,12	19,49	0,62
Альфа-Линоленовая Alpha-Linolenic acid	0,94	9,88	57,14
Гондоиновая Gondoic acid	5,75	0	0,24
Эруковая Erucic acid	1,99	0,19	0
Экозапентаеновая Eicosapentaenoic acid	20,1	0	0
Нервоновая Nervonic acid	0,63	0	0
Докозагексаеновая Docosahexaenoic acid	10,71	0	0
Кислотное число, мг КОН/2 Acid number, mg CON/2	12,7	4,7	0,2
Перекисное число, I2 Peroxide number, I2	0,076	0,027	0,001

Перед отбором биологического материала рыба анестезировалась в растворе MS-222 в дозировке 10 мг/л [15]. Отбор крови производился из задней полой вены у десяти особей из каждой экспериментальной группы. Изготовление и окрашивание мазков по Романовскому-Гимзе производилось согласно стандартным методикам [14]. На полученных препаратах производился подсчет относительного числа лимфоцитов, моноцитов, нейтрофилов, базофилов и тромбоцитов.

Гистологическое исследование. Ткань среднего отдела кишечника и печени для гистологических исследования отбиралась сразу после вскрытия рыб и оценки ихтиопатологического состояния. Образцы ткани фиксировались в 4% нейтральном формалине в течении 24 часов. Ткани дегидратировались в ряду градуированных спиртов и заливались в парафин согласно стандартной методике [16]. Срезы (4 мкм) окрашивались гематоксилин и эозином и исследовались на световом микроскопе Olympus BX53 («Olympus Corporation», Япония) с окулярной приставкой Carl Zeiss ERc 5s («Zeiss», Германия) и программного обеспечения ZEN lite («Zeiss», Германия).

Статистическая обработка. Данные сравнения анализируемых переменных представлены в виде средних ± SD. Статистическая достоверность определялась с использованием непараметрических тестов (Kruskal–Wallis test, U-тест Манна-Уитни). Значение $p < 0.05$ было принято, как статистически достоверное.

Результаты и обсуждение

На протяжении всего эксперимента рыбы в группе контроля и опыта демонстрировали нормальную реакцию на внешние раздражители и адекватное кормовое поведение. По завершении опытного кормления клинический осмотр и ихтиопатологические исследования не выявило признаков заболеваний и паразитов. У рыб контрольной и опытных групп экстерьерные качества не нарушены. Плавники и кожные покровы без нарушений. Жабры алого цвета без следов гиперплазии и других нарушений. Печень наполнена кровью, нарушений функционирования желчного пузыря и желчных протоков не выявлено, цветность печени в норме. Желудочно-кишечный тракт спустя 2 дня перерыва кормления без остатков корма. Образцы почки и селезенки во всех образцах не имели посторонних вкраплений, плотность структуры не нарушена.

Оценка рыбоводно-биологических показателей радужной форели после 90 суток кормления показала, что опытная группа 1, незначительно превосходила контроль по показателю абсолютного прироста (на 1,8%; таблица 4). При этом в опытной группе 2 абсолютный прирост значимое превосходил показатели контроля и составил 362 г. В данной опытной группе также отмечался самый низкий кормовой коэффициент – 1,14.

По итогам контрольного взвешивания на финал эксперимента средний вес в опытной группе 2 был на 9,3% больше, чем в группе опыта 1, и на 12,71% больше, чем в группе контроля. Выживаемость во всех группах находилась на уровне 98%.

Таблица 4. Рыбоводно-биологические показатели радужной форели в контроле и опытных группах

Table 4. Fish-breeding and biological indicators of rainbow trout in the control and experimental groups

Показатель Index	Образец Sample		
	Контроль Control	1	2
Масса начальная, г. Initial weight, g	250 ± 19,6	250 ± 19,6	250 ± 19,6
Масса конечная, г. Final weight, g	566 ± 34,1	582 ± 37,4	612 ± 41,6
Абсолютный прирост, г. Absolute increase, g	316	332	362
Среднесуточный прирост, г. Average daily increase, g	3,51	3,68	4,02
Кормовой коэффициент, ед. Feed ratio, units	1,24	1,21	1,14
Выживаемость, %. Survival rate, %	98,66	98,68	98,71

Подсчет форменных элементов крови показал, что опытные и контрольная группы не имеют значимых отличий. Стоит отметить, что в опытной группе 1 выявлено незначительное снижение относительного числа моноцитов и базофилов, и увеличение количества нейтрофилов. Все оцениваемые гематологические показатели крови находились в пределах биологических норм [17].

Таблица 5. Гематологические показатели радужной форели в контроле и опытных группах

Table 5. Hematological parameters of rainbow trout in the control and experimental groups

Показатель Index	Образец Sample		
	Контроль Control	1	2
Лимфоциты, % Lymphocytes, %/	83.54 ± 4.11	84.68 ± 4.22	83.91 ± 2.61
Моноцит, % Monocyte, %	5.55 ± 2.47	4.7 ± 0.96	5.59 ± 1.28
Нейтрофил, % Neutrophil, %/	5.64 ± 1.29	6.91 ± 2.18	5.19 ± 1.05
Базофил, % Basophilus, %	5.27 ± 1.66	4.72 ± 1.93	5.31 ± 1.65
Тромбоциты, % Platelets, %/	0.55 ± 0.21	0.44 ± 0.14	0.43 ± 0.24

Гистологическое исследование среднего отдела кишечника и печени показало отсутствие существенных нарушений в структуре ткани. На гистологических препаратах среднего отдела кишечника хорошо видны следующие структуры: просвет кишечника, слизистая кишечника, формирующая ворсинки, собственная оболочка слизистой, подслизистый слой, мускульная оболочка и серозная оболочка. На гистологических срезах кишечника было выявлено увеличение числа бокаловидных клеток (группа опыта 2), обнаруживаемое на некоторых участках слизистой,

а также несущественное повышение количества интраэпителиальных лимфоцитов. В ворсинках, в области вблизи просвета кишечника в контроле, было выявлено увеличение числа интраэпителиальных лимфоцитов. На некоторых образцах группы контроля обнаруживалось увеличение числа бокаловидных клеток. В целом секреторная активность кишечника по всем исследуемым группам в норме [18].

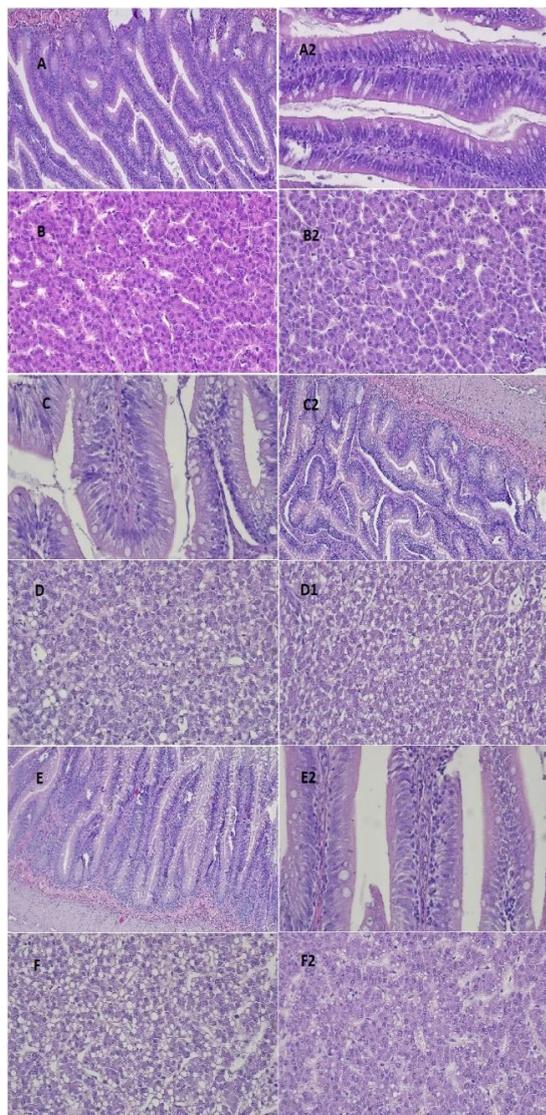


Рисунок 1. Ткань среднего отдела кишечника и печени радужной форели контроля и опытных групп. А и А2 – ЖКТ особей группы контроля, В и В2 – печень группы контроля, С и С2 – ЖКТ группы опыта 1, D и D2 – печень группы опыта 1, E и E2 – ЖКТ группы опыта 2, F и F2 – печень группы опыта 2

Figure 1. The tissue of the middle intestine and liver of rainbow trout of the control and experimental groups. A and A2 – gastrointestinal tract of individuals of the control group, B and B2 – liver of the control group, C and C2 – gastrointestinal tract of the experience group 1, D and D2 – liver of the experience group 1, E and E2 – gastrointestinal tract of the experience group 2, F and F2 – liver of the experience group 2

Ткань печени радужной форели имеет следующие структурные элементы: гепатоциты, синусоидные капилляры, печеночные сосуды, желчные протоки. Общая гистоархитектоника ткани соответствовала норме для данного вида рыб. В паренхиме органа некоторых исследуемых образцов обнаруживалось небольшое количество вакуолей (опыт 2, опыт 1). На еденных срезах печени группы опыт 1 наблюдалась вакуолизация, выраженная в присутствии хромофобных вакуолей по всей площади среза. Небольшое их число и повсеместное распространение не позволяет отнести данные изменения к патологическим. В одном образце группы контроля в строме органа была выявлено расширение синусоидных капилляров. Данное изменение обнаруживалось практически по всей площади среза. Общая структура органа не имела существенных отклонений. Также, на отдельных участках органа обнаруживались участки с расширением синусоидных капилляров. В целом морфология синусоидных капилляров соответствовала норме, некротических изменений гепатоцитов не отмечалось, что позволяет сказать, что общая гистологическая структура печени соответствовала норме.

Для определения экономической эффективности применения льняного масла в комплексе с БГТО использовался коэффициент оплаты корма, который ниже кормового коэффициента на 3–5%. Следует отметить, что такие параметры как вымывание корма течением и технические потери во время ручного кормления в данном эксперименте отдельно не учитывались, так как используемый коэффициент включает данные потери. Коэффициент оплаты (КО) корма вычисляется по формуле:

$$КО = \frac{\text{Масса использованного корма, кг}}{\text{Прирост биомассы, кг}}$$

Исходя из темпов массонакопления и количеству использованного корма кормовой коэффициент составил: для группы контроля -1,21, для группы опыта 1 – 1,21, для группы опыта 2 – 1,14. Сравнение темпов роста показало значительное увеличение прироста опытной группы 2 по сравнению с контрольной и опытной 1.

Стоимость экспериментальных кормов составляет: контроль – 151 000 р. за тонну, опыт 1 – 188 000 р. за тонну, опыт 2 – 146 000 р. за тонну. Исходя из этого можно вычислить стоимость прироста одного килограмма биомассы для каждой группы. В группе контроля стоимость набора одного килограмма биомассы составляет 187,4 руб./кг, в группе опыта 1 стоимость составляет 227,48 руб./кг., в группе опыта 2 стоимость составляет 166,44 руб./кг.

Стоимость корма с внедрением льняного масла холодного отжима и БГТО белого люпина выходит на 3,32% ниже стоимости корма с содержанием рапсового масла и добавлением 50% рыбьего жира. Это связано с тем, что значительно более высокую стоимость льняного масла компенсирует более дешевый БГТО белого люпина. Также опытный корм 2 на 22,35% дешевле корма на чистом рыбьем жире.

Исходи из этого ввод льняного масла в корма более эффективен, чем рапсового, позволяя заменить рыбий жир. Итоговый прирост биомассы с кормом опыта 2 выше групп контроля и опыта 1 соответственно, что показывает эффективность внедрения льняного масла холодного отжима и БГТО белого люпина в рецептуру кормов для радужной форели.

Заключение

Проведенное исследование позволило подтвердить эффективность применения льняного масла холодного отжима в комплексе с БГТО белого люпина в составе комбикормов для радужной форели.

Опытная группа, получавшая корма с включением льняного масла холодного отжима и БГТО белого люпина показала улучшение относительного прироста и кормового коэффициента в сравнении с контролем. Существенных отличий по гематологическим и гистологическим показателям выявлено не было. Незначительная вакуолизация гепатоцитов печени может указывать на ускорении липидного обмена.

Опытная группа, получавшая корма с включением рапсового масла, в качестве замены рыбьего жира рыбовидно-биологические показатели не отличались от контроля. Значимых отклонений гематологических и гистологических показателей выявлено не было.

Применение льняного масла в комплексе с БГТО белого люпина позволяет снизить стоимость комбикорма на отметки ниже, чем замена рапсовым маслом за счет более низкой стоимости растительного сырья.

Результаты исследования указывают на возможность замены рыбьего жира на льняное масло в составе продукционных кормов для радужной форели до 65%.

Литература

- 1 Баканева Ю.М., Садлер Д.-А.А., Пономарев С.В. Эффективность использования комбинированных кормов различной жирности и состава жирных кислот при выращивании осетровых рыб // V Ежегодная научная конференция студентов и аспирантов базовых кафедр Южного научного центра РАН: тез. докл. Ростов-на-Дону, 2009. С. 7–8.
- 2 Гусева Д.А., Широкин А.В., Санжаков М.А., Прозоровская Н.Н. Сравнительный анализ льняного масла трех вариантов холодного отжима // Масложировая промышленность. 2011. № 6. С. 30–32.
- 3 Жиенбаева С.Т., Ермуканова А.М. Использование нетрадиционного сырья в комбикормах для прудовых рыб // Современные научные исследования и разработки: материалы Международной научно-технической конференции. Нефтекамск, 2019. С. 30–37.
- 4 Зверев С.В., Ставцев А.Э., Цыгуткин А.С. Белый люпин: обрушение и термообработка зерна. Москва: Сам Полиграфист, 2019. 128 с.
- 5 Зверев С., Никитина М. Оценка качества белка бобовых культур // Комбикорма. 2017. № 4. С. 37–41.
- 6 Кононова С.В. и др. Биотехнологические подходы при использовании белков рапса и сои в кормах аквакультуры лососевых рыб // Биотехнология. 2016. Т. 32. № 5. С. 57–68.
- 7 Козлова Т.В., Дмитриевич Н.П. Влияние новых растительных компонентов комбикормов на биохимические показатели крови ленского осетра (*Acipenser baeri* (Brandt)) // Вестник Полесского государственного университета. Серия природоведческих наук. 2023. № 1. С. 54–60.
- 8 Кучихин Ю.А., Размочаев Е.А. Исследование использования рапсового жмыха в составе комбикормов для Радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания. 2023. № 4. С. 199–204.
- 9 Панкина И.А., Борисова Л.М. Исследование алкалоидности семян люпина // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. № 4. С. 80–87.
- 10 Пономарев С.В., Баканева Ю.М., Сариев Б.Т. Современные сухие комбинированные корма для осетровых рыб: преимущества и недостатки // Международная научно-практическая конференция в рамках выставки «Интерфиш 2010». Москва, 2010. С. 55.
- 11 Кучихин Ю.А. и др. Исследование эффективности экструдированных кормов, содержащих бобы люпина (*Lupinus albus*), прошедшие барогидротермическую обработку, на примере садкового выращивания радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) в акватории ладожского озера // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК–продукты здорового питания. 2022. № 4. С. 231–247.
- 12 Lord H.L. et al. In vivo solid-phase microextraction for monitoring intravenous concentrations of drugs and metabolites // Nature protocols. 2011. V. 6. № 6. P. 896–924.
- 13 Ponomarev S.V., Bakaneva Y.M., Fedorovykh Y.V., Bolonina N.V. et al. The estimation of the diets with various fat contentions for sturgeons // The Caspian Sea. Natural resources. International journal. Baku: Baku state university, 2010. № 4. P. 64–70.
- 14 Иванова Н.Т. Атлас клеток крови рыб. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 110 с.
- 15 Nikiforov-Nikishin A. et al. The influence of probiotics of different microbiological composition on histology of the gastrointestinal tract of juvenile *Oncorhynchus mykiss* // Microscopy Research and Technique. 2022. V. 85. № 2. P. 538–547.

16 Suvama K.S., Layton C., Bancroft J.D. Bancroft's theory and practice of histological techniques E-Book. Elsevier health sciences, 2018.

17 Nabi N., Ahmed I., Wani G.B. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells // Saudi journal of biological sciences. 2022. V. 29. №. 4. P. 2942–2957.

18 Гаврилин К.В., Никифоров-Никишин Д.Л., Кочетков Н.И., Смородинская С.В. Гистопатология костистых рыб: учебно-практическое пособие по направлению подготовки «Водные биоресурсы и аквакультура». Курск: Деловая полиграфия, 2023. 199 с.

19 Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I., Bakhareva A.A. et al. A rainbow trout feeding behavior assessment (*Oncorhynchus mykiss*) when introducing a Complex feed additive increasing digestibility // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2023. №. 3. P. 36–46. doi: 10.24143/2073–5529–2023–3–36–46

20 Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М., 1983.

References

1 Bakaneva Yu.M., Sadler D.A.A., Ponomarev S.V. The effectiveness of the use of combined feeds of various fat content and composition of fatty acids in the cultivation of sturgeon fish. V the annual scientific conference of students and graduate students of the basic departments of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences: Thesis. DOKL. Rostov-on-Don, 2009. pp. 7–8. (in Russian).

2 Guseva D.A., Shironin A.V., Sanzhakov M.A., Prozorovskaya N.N. A comparative analysis of linseed oil of three cold pressing options. Oil -fat industry. 2011. no. 6. pp. 30–32. (in Russian).

3 Zhenbaeva S.T., Ermukanova A.M. The use of non-traditional raw materials in compound feeds for pond fish. Modern Scientific Research and Development: Materials of the International Scientific and Technical Conference. Neftekamsk, 2019. pp. 30–37. (in Russian).

4 Zverev S.V., Stavtsev A.E., Tsygutkin A.S. White Lupine: collapse and heat treatment of grain. Moscow, The printing player itself, 2019. 128 p. (in Russian).

5 Zverev S., Nikitina M. Assessment of the quality of the protein of legumes. Combom. 2017. no. 4. pp. 37–41. (in Russian).

6 Kononova S.V. et al. Biotechnological approaches when using raps and soy proteins in the feed of the Aquaculture of salmon fish. Biotechnology. 2016. vol. 32. no. 5. pp. 57–68. (in Russian).

7 Kozlova T.V., Dmitrovich N.P. The influence of the new plant components of compound feed on the biochemical indicators of the Blood of the Lensky sturge (*Acipenser Baeri* (Brandt)). Bulletin of the Polesie State University. A series of natural sciences. 2023. no. 1. pp. 54–60. (in Russian).

8 Kuchikhin Yu.A., Promochaev E.A. A study of the use of rapeseed cake in the composition of compound feeds for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). EPC -products of a healthy nutrition, food and processing industries. 2023. no. 4. pp. 199–204. (in Russian).

9 Pankina I.A., Borisova L.M. Research of alkaloidity of Lupine seeds. Scientific Journal of NRU ITMO. Series "Processes and Food Products". 2015. no. 4. pp. 80–87. (in Russian).

10 Ponomarev S.V., Bakaneva Yu.M., Sariyev B.T. Modern dry combined feed for sturgeon fish: advantages and disadvantages. International Scientific and Practical Conference in the framework of the Interfish 2010 exhibition. Moscow, 2010. pp. 55. (in Russian).

11 Kuchikhin Yu.A. et al. Study of the effectiveness of extruded feed containing Lupine beans (*lupinus albus*), which have undergone barohydrothermic treatment, on the example of garden growing rainbow trout (*oncorhynchus mykiss*) in the water area of Lake Ladoga. EPC -products of healthy foods. 2022. no. 4. pp. 231–247. (in Russian).

12 Lord H.L. et al. In vivo solid-phase microextraction for monitoring intravenous concentrations of drugs and metabolites. Nature protocols. 2011. vol. 6. no. 6. pp. 896–924.

13 Ponomarev S.V., Bakaneva Y.M., Fedorovykh Y.V., Bolonina N.V. et al. The estimation of the diets with various fat contentions for sturgeons. The Caspian Sea. Natural resources. International journal. Baku: Baku state university, 2010. no. 4. pp. 64–70.

14 Ivanova N.T. Atlas of blood cells of fish. M, Light and food industry, 1983. 110 p. (in Russian).

15 Nikiforov-Nikishin A. et al. The influence of probiotics of different microbiological composition on histology of the gastrointestinal tract of juvenile *Oncorhynchus mykiss*. Microscopy Research and Technique. 2022. vol. 85. no. 2. pp. 538–547.

16 Suvama K.S., Layton C., Bancroft J.D. Bancroft's theory and practice of histological techniques E-Book. Elsevier health sciences, 2018.

17 Nabi N., Ahmed I., Wani G.B. Hematological and serum biochemical reference intervals of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* cultured in Himalayan aquaculture: Morphology, morphometrics and quantification of peripheral blood cells. Saudi journal of biological sciences. 2022. vol. 29. no. 4. pp. 2942–2957.

18 Гаврилин К.В., Никифоров-Никишин Д.Л., Кочетков Н.И., Смородинская С.В. Гистопатология костистых рыб: учебно-практическое пособие по направлению подготовки «Водные биоресурсы и аквакультура». Курск, Бизнес полиграфия, 2023. 199 с. (in Russian).

19 Nikiforov-Nikishin D.L., Kochetkov N.I., Bakhareva A.A. et al. A rainbow trout feeding behavior assessment (*Oncorhynchus mykiss*) when introducing a Complex feed additive increasing digestibility. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2023. no. 3. pp. 36–46. doi: 10.24143/2073–5529–2023–3–36–46

20 Methods for determining the economic efficiency of the use of research and development results in agriculture, new equipment, inventions and rationalization proposals. М., 1983. (in Russian).

Сведения об авторах

Юрий А. Кучихин аспирант, факультет биотехнологий и рыбного хозяйства, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной вал, д.73, г. Москва, 109004, Россия, KuchihinYA@melkom.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8698-1828>

Евгений А. Размочаев директор, НТЦ разработки и внедрения новых технологий кормления, ООО «АгроАльянсРазвития», ул. Вокзальная, д. 9, ком. 11, г Тверь, 170100, Россия, razmochaeva@melkom.ru

Никита И. Кочетков м.н.с, центр Аквакультуры факультета биотехнологий и рыбного хозяйства, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной вал, д.73, г. Москва, 109004, Россия, samatrixs@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2196-5421>

Дмитрий Л. Никифоров-Никишин к.б.н, в.н.с, центр Аквакультуры факультета биотехнологий и рыбного хозяйства, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной вал, д.73, г. Москва, 109004, Россия, niknikdl@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1715-057X>

Евгений В. Евсеев главный технолог, ООО «АгроАльянс Развития», ул. Вокзальная, д. 9, ком. 11, г Тверь, 170100, Россия, evseev@melkom.ru

Вклад авторов

написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Yuri A. Kuchikhin graduate student, biotechnology and fisheries faculty, Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (First Cossack University), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, KuchihinYA@melkom.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8698-1828>

Evgeniy A. Razmochaev director, scientific and technical center for the development and implementation of new feeding technologies, AgroAllianceRazvitiya LLC, st. Vokzalnaya, 9, room. 11, Tver, 170100, Russia, razmochaeva@melkom.ru

Nikita I. Kochetkov junior researcher, aquaculture center of the faculty of biotechnology and fisheries, Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (First Cossack University), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, samatrixs@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2196-5421>

Dmitry L. Nikiforov-Nikishin Cand. Sci. (Biol.), leading researcher, aquaculture center of the faculty of biotechnology and fisheries, Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky (First Cossack University), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, niknikdl@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1715-057X>

Evgeniy V. Evseev chief technologist, AgroAllianceRazvitiya LLC, st. Vokzalnaya, 9, room. 11, Tver, 170100, Russia, evseev@melkom.ru

Contribution

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/04/2024	После редакции 25/04/2024	Принята в печать 20/05/2024
Received 04/04/2024	Accepted in revised 25/04/2024	Accepted 20/05/2024

Оценка антиоксидантной и антимикробной активности экстрактов мяты перечной, имбиря и розмарина

Собхи А.А. Аль-Сухайми ¹	alsukhaimisa@susu.ru	 0000-0002-1657-5162
Зилолахон А. Оленева ¹	olenevaza@susu.ru	 0000-0001-8517-2888
Абдували Д. Тошев ¹	toshevad@susu.ru	 0000-0001-8620-2065

¹ Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), проспект Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия

Аннотация. Химическая порча продуктов питания может привести к отказу потребителя от продукта. Поэтому использование натуральных антиоксидантов имеет широкое значение и потенциально используется для исключения окисления питательных веществ, в продуктах питания и впоследствии сохраняет качество продуктов и продляет срок хранения. Настоящая работа посвящена оценке антиоксидантной силы мяты перечной, имбиря и розмарина. Экстракт перечной мяты показал самое высокое содержание фенолов (264,74±12,35 мг ГАЭ/г), за ним следовали имбирь (101,31±0,89 мг ГАЭ/г) и розмарин (126,58±0,67 мг ГАЭ/г), тогда как экстракт розмарина имеет самое высокое содержание флавоноидов (169 ±0,11 мг/г), а наименьшее содержание отмечено в мяте перечной (56,35±0,31 мг/г). Наибольшую антиоксидантную активность имеет экстракт розмарина с IC₅₀ = 24,5 мкг/мл, за ним следуют экстракт мяты перечной (IC₅₀: 109,7 мкг/мл) и экстракт имбиря с IC₅₀ = 536 мкг/мл. Профиль ВЭЖХ показал 13 различных фенольных соединений с высокой концентрацией эллаговой кислоты, рутина, п-гидроксibenзойной кислоты в экстракте розмарина. В то время как эллаговая кислота показала самую высокую концентрацию как в экстракте имбиря, так и в экстракте перечной мяты. Все протестированные экстракты показали хорошую антимикробную активность против различных патогенов с разной степенью ингибирования. Экстракты перечной мяты, имбиря и розмарина имеют высокую возможность применения в производстве продуктов питания в качестве натуральных консервантов.

Ключевые слова: перечная мята, имбирь, розмарин, фенольные соединения, антимикробная активность.

Evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of peppermint, ginger and rosemary extracts

Sobhy A.A. El-Suhaimy ¹	alsukhaimisa@susu.ru	 0000-0002-1657-5162
Zilolakhon A. Oleneva ¹	olenevaza@susu.ru	 0000-0001-8517-2888
Abduvali D. Toshev ¹	toshevad@susu.ru	 0000-0001-8620-2065

¹ South Ural State University (National Research University), 76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russia

Abstract. Chemical spoilage of food products can lead to consumer rejection of the product. Therefore, the use of natural antioxidants is of wide importance and potential use to prevent oxidation of nutrients in food products and subsequently maintain the quality of the products and extend shelf life. The present work focuses on the evaluation of the antioxidant power of peppermint, ginger and rosemary. Peppermint extract showed a highest phenolic content (264.74±12.35 mg GAE/g) followed by ginger (101.31±0.89 mg GAE/g) and rosemary (126.58±0.67 GAE/g) while, while rosemary extract has a highest flavonoids content (169±0.11 mg/g) and the peppermint showed the least content (56.35±0.31 mg/g). The highest antioxidant activity presented by rosemary extract with IC₅₀ = 24.5 µg/ml followed by peppermint extract with IC₅₀:109.7 µg/ml and ginger extract with IC₅₀ = 536 µg/ml. HPLC profile showed 13 different phenolic compounds with high concentration of ellagic acid, rutin, p-hydroxybenzoic acid in rosemary extract. while ellagic acid showed the highest concentration in both ginger and peppermint extract. All tested extracts showed good antimicrobial activities against different pathogens with varying inhibition diameters. Peppermint, ginger and rosemary extracts have high potential for use in food production as natural preservatives.

Keywords: peppermint, ginger, rosemary, phenolic compounds, antimicrobial activity.

Введение

В последнее время растет интерес к полезному воздействию фенольных соединений выделяемого из растительного происхождения и их влиянию на поддержание здоровья и профилактику от заболеваний [1]. Антиоксидантная активность трав и специй, широко используемых в Коре, связана с удалением радикалов. Специи также являются богатыми источниками фенольные соединения [2]. Однако на содержание биологически активных соединений может влиять несколько факторов, включая условия выращивания, климат, время сбора урожая и факторы после сбора урожая (например, условия хранения и обработки),

Для цитирования

Аль-Сухайми С.А., Оленева З.А., Тошев А.Д. Оценка антиоксидантной и антимикробной активности экстрактов мяты перечной, имбиря и розмарина // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 182–188. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-182-188

For citation

El-Suhaimi S.A.A., Oleneva Z.A., Toshev A.D. Evaluation of antioxidant and antimicrobial activity of peppermint, ginger and rosemary extracts. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 182–188. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-182-188

и оно варьируется не только в разных частях растения, но и от страны к стране [3]. Лекарственные растения в лечении женских расстройств: аналитические стратегии для обеспечения качества, безопасности и эффективности. Важным фактором в сухих растениях является процесс обезвоживания. Наиболее распространенными используемыми методами, являются, сушка в тени (естественная сушка) и сушка горячим воздухом из-за их более низкой стоимости по сравнению с другими процессами обезвоживания. Тем не менее, естественная сушка не подходит для обработки большого количества материала и может привести к нарушению стандартов качества. Химическая порча продуктов питания может привести к отказу потребителя от продукта. Могут произойти изменения цвета и появление неприятных запахов и привкусов в результате разложения липидов, то есть автоокисления или прогорклости. В некоторых случаях микробиологическая и химическая порча развиваются вместе в мясных продуктах. Окисление липидов, происходящее в пищевых продуктах, является одной из основных проблем в пищевой технологии. Он ответственен за прогорклый запах и вкус продуктов с последующим снижением питательных свойств и безопасности, вызванным образованием вторичных, потенциально токсичных соединений. Проблема обеспечения высокого качества липидов и липид содержащих продуктов и продления срока их хранения напрямую связана с их оптимальной стабилизацией путем добавления подходящих антиоксидантов.

В связи с распространением рынка природных антиоксидантов в растениях растет интерес к натуральным добавкам в продуктах, косметике и продуктах. Травы, специи – одна из важнейших целей поиска природного антиоксиданта в плане безопасности [4]. Антиоксидантная и противовоспалительная активность нескольких широко используемых специй. Окисление белка считается непрерывным процессом ухудшения качества при хранении свежего и обработанного мяса, и это связано с повышенной жесткостью мяса и снижением влагоудерживающей способности. Окисление белка приводит к образованию различных продуктов окисления, таких как ароматическое гидроксильное окисление, окисление тиолов и образование карбонильных групп в боковых цепях аминокислот, причем последние широко используются в качестве общего маркера окисления белка в различных продуктах для мышц. Существуют передовые методы количественной оценки окисления белка, основанные либо на спектрофлуорометрическом анализе, либо на измерении специфических маркеров окисления в виде карбонильных продуктов

а-аминоадипиновых и с-глутаминовых альдегидов [5]. Анализ карбонильных белков в мясных продуктах с использованием DNPH-метода, флуоресцентной спектроскопии и жидкостной хроматографии-масс-спектрометрии с ионизацией электрораспылением (LC-ESI-MS). Модификация мышечных белков происходит в результате денатурации и протеолиза, что приводит к изменению качества мяса, включая особенности текстуры, цвет, аромат, вкус, влагоудерживающую способность и биологическую функциональность. Окисление белка вызывает многочисленные физико-химические изменения и пищевую ценность мясных белков, включая снижение биодоступности аминокислотного белка, изменение аминокислотного состава, снижение растворимости белка из-за полимеризации белка, потерю протеолитической активности и нарушение усвояемости белка [6]. Окисление белка в продуктах для мышц: обзор. Окисление липидов и белков тесно связано с процессами ухудшения качества, которые могут повлиять на все качественные характеристики мяса и мясных продуктов. Пропорциональное повышение уровней окислительных показателей для липидов (TBARS) и белка (карбонильные группы) в скелетном мясе и мясных продуктах (печеночные паштеты) показало значительную корреляционную связь между реакцией мышц на окислительное прогорклость и денатурацией белка [7]. Влияние натуральных и синтетических антиоксидантов на окисление белка, изменение цвета и текстуры паштета из свиной печени, хранящегося в холодильнике. Биологический антиоксидант определяется как соединения, которые защищают биологические системы от потенциально вредных воздействий или реакций, которые могут вызвать чрезмерное разрушение перекисления липидов при влиянии свободных радикалов, антиоксиданты защищают от разрушения, и защищает липид [8]. Процесс влияния биологических антиоксидантов. Антиоксиданты практичны, потому что, антиоксидант отдавая свой собственный электрон свободным радикалам, то свободный радикал получает электрон от антиоксиданта. За счет этого прекращается процесс разрушения. Антиоксидант не является вредным для организма, так как имеет способность приспосабливаться к изменению электронов, не становясь реактивным.

Натуральные консерванты должны быть более эффективным и экономичным, при низком содержании консервантов. А также высокостабильными и иметь способность выдерживать тепловую обработку. Не имеет собственного запаха, вкуса или цвета; легко включаться и иметь хорошую растворимость в продукте.

Цель работы – актуальность исследования содержания фенолов и флавоноидов, а также антиоксидантной активности некоторых растительных экстрактов.

Материалы и методы

Объектами исследования являются 3-вида растений (перечная мята, имбирь, розмарин).

Подготовка экстрактов. Водный экстракт проводили в соответствии с [10]. Образцы обрабатывали с помощью с дистиллированной воды процессом стерилизации (1:10 мас/об) при 100 °С в течение 10 мин., далее центрифугировали при 3000 об/мин., 10 мин при 20 °С и фильтровали через фильтровальную бумагу. Экстракт высушили.

Определение общего содержания фенола. При помощи метода Фолина–Чокалтеу можно определить общий содержание фенольных соединений. 1 мг экстракта смешали с 1 мл метанола и взяли 500 мкл растворенного раствора и добавили к 0,5 мл дистилляции и 0,125 мл реагентов Фолина–Чокалтеу. Добавку смешивали, и дали настояться 6 минут, прежде чем добавить 1,25 мл 7% раствора Na₂CO₃. Раствор довели с дистиллированной водой до конечного объема 3 мл и внимательно перемешали. После оставляем в темное место за 30 мин измерили оптическую мощность при 650 Нм, относящуюся к готовому бланку. Стандартная кривая была построена с использованием разных концентраций глюкозы стандартной, от 0–1000 мкг/мл. Общее количество фенола (TPC) выражено в эквивалентной галловой кислоте GAE в мг сухих весов и было рассчитано с помощью следующей линейной кривой на основе кривой калибровки:

$$y = 0,001x - 0,141 \quad R_2 = 0,998$$

где y – коэффициент поглощения; x – концентрация, мг г/г экстракта; R_2 – коэффициент корреляции

Определение общего содержания флавоноидов. Общая концентрация флавоноидов веществ в растительных экстрактах определена модифицированной колориметрической методикой, применяя стандартный катехол в концентрации 20–200 мг/мл. Экстракты или стандартные растворы 250 мкл смешивали с дистиллированной водой 1,25 мл, 75 мл 5% растворов нитрита натрия NaNO₂, затем добавляли 150 мкл 10 растворов хлорида алюминия AlCl₃. Через шесть минут добавлено 0,5 мл 1% гидроксида NaOH и 0,6 мл. дистиллированной воды. Тогда смесь перемешивали и измерена оптическая плотность в 510 Нм. Общее количество флавоноидов, выражено в катехолагенном эквиваленте CE и было рассчитано с помощью следующей линейной кривой на основе кривой калибровки, описанной [14]:

$$y = 0,004x - 0,012 \quad R_2 = 0,999$$

ВЭЖХ-анализ фенольных соединений.

Методика анализа фенольных соединений образцов растений: розмарин, имбирь и мята перечная; с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) Для анализа фенольных соединений использовали ВЭЖХ Agilent серии 1260 infinity (Agilent, США), она оснащена четвертичной насосной колонкой Zorbax Eclipse Plus C18 100 мм x 4,6 мм внутренней технологии Agilent Technologies, США, работающая при температуре 25 °С.

Определенный объем составлял 20 мкм: детектор VWD был настроен на 284 нм. Деление осуществляется при использовании тройной линейной градиентных выделений с использованием А ВЭЖХ 0,2% H₃PO₄ В/В, метанол и ацетонтрил. Количественные определения соединений фенольного происхождения основаны на стандартах фенольных кислот; галловой кислоты, катехола, п-Гидроксibenзойной кислоты, кофеина, вальнилиновой кислоты, кофейной кислоты, сирингиновой кислоты, ванилина, п-Кумаровой кислоты, феруловой кислоты, рутина, эллаговой кислоты, бензойной кислоты, кумаровой кислоты, согласно стандартам фенольной кислоты; галловой кислоты, катехола, п-Гидроксibenзойной кислоты, кофеина, сирингиновой кислоты, ванилина, п-Кумаровой кислоты, феруловой кислоты, рутина, эллаговой кислоты, бензойной кислоты, α-кумаровой кислоты [16].

Использование ВЭЖХ 0,2% H₃PO₄ В/В в делениях с использованием трехлинейного элюирования линейной градиента

Определение антиоксидантной активности.

Антиоксидантная активность по удалению свободных радикалов определена методом DPPH. Получили раствор 0,2 мм DPPH в метаноле 0,0078 г./100 мл и добавили 1 мл радикальной смеси к 1 мл продукта или стандартной смеси в разных концентрациях 1:1 по объему. Смесь инкубировали 30 минут в темноте комнатной температуры, а потом измеряла оптическую плотность 517нм спектрометром [15].

Процентную активность по удалению радикалов DPPH рассчитывали с использованием следующего уравнения:

$$= \frac{(Abs_{control} - Abs_{sample})}{Abs_{control}} \times 100$$

Активность по удалению радикалов DPPH (% ингибирования). Для мониторинга добавляли все вещества, кроме экстракта растительного происхождения, а все расчеты проводились в три экземпляра.

Антимикробная активность растительных экстрактов. Антимикробная активность была оценена анализом диффузии лейкоцитов в лунках с агаром. Известно, что восемь видов патогенны

для человека, таких как штаммы микроорганизмов, включая кишечную палочку BA 12296, эпидермальный стафилококк, золотистый стафилококк NCTC 10788, пиогенный стафилококк, *Candida albicans* ATCCMYA-2876, клебсейллу пневмонию ATCC12296, *Bacillus subtilis* и *Streptococcus. spp.*, были использованы 100 мкл инокулятов ($1 \cdot 10^8$ кое/мл) смешивали с агаровой средой и выливали в чашку Петри, (в планшетах с помощью пробкорезного станка была подготовлена лунка (0,85 см), в лунку было введено 100 мкл тестируемого соединения. Все тестированные штаммы были инкубированы при температуре 37 °C 24 часа, а рост микроорганизма определялся измерением диаметра ингибированной зоны мм. В качестве контроля для каждого штамма бактерий использовали чистый растворитель, не экстракт [17]. Эксперимент был проведен трижды, и были представлены средние значения.

Результаты и обсуждение

Общее содержание фенольных соединений и флавоноидов. Полученные результаты подтвердилось, что перечная мята, имбирь и розмарин содержит значительное количество фенольных соединений. Мята перечная показывает $264,74 \pm 12,35$ мг гк/г, имбирь $101,31 \pm 0,89$ мг гк/г, и розмарин $126,58 \pm 0,67$ мг гк/г (рисунок 1). Перечная мята имеет высокое содержание фенолов чем розмарин, и имбирь. Эти результаты свидетельствуют о том, что природа этих полифенолов имеет высокую полярность и соответствует к применению в качестве натурального консерванта [18].

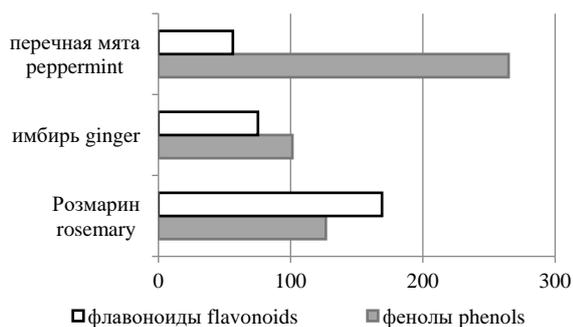


Рисунок 1. Общее содержание фенола (мг / г)

Figure 1. Total phenol content (mg/g)

Как указано, на рис. 2 Экстракт розмарина ($169 \pm 0,11$) имеет высокое содержание флавоноидов чем имбирь ($75,21 \pm 0,41$) и перечная мята ($56,35 \pm 0,31$). Флавоноиды являются одной из самых разнообразных и распространенных групп природных соединения. Флавоны, изофлавоны, флавоноиды, антоцианы и катехины считаются наиболее важными природными фенолами.

Определение антиоксидантной активности методом DPPH. На рисунке 2 показаны значения экстрактов (IC_{50}), следовательно, IC_{50} значение представляет собой более низкую концентрацию растительного экстракта, необходимую для удаления радикала DPPH, до 50%. Чем меньше значение IC_{50} , тем выше активность антиоксидантов. Экстракт розмарин, показывает самую высокую антиоксидант активность ($IC_{50} = 24,5$ мкг/мл). А с другой стороны, экстракт имбиря показывает самую низкую антиоксидант активность ($IC_{50} = 536$ мкг/мл), среднее значение показывает мята ($IC_{50} = 109,7$ мкг/мл).

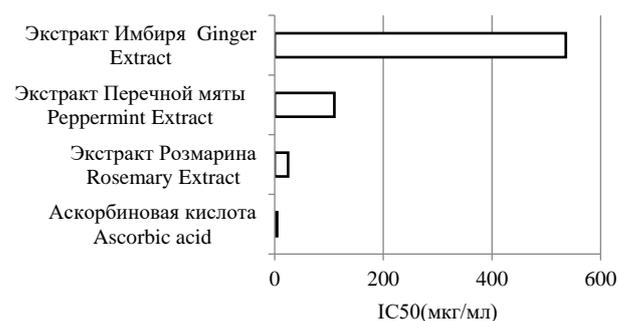


Рисунок 2. Антиоксидант активность (IC_{50}) экстракты перечной мяты, имбиря и розмарина

Figure 2. Antioxidant activity (IC_{50}) extracts of peppermint, ginger and rosemary

ВЭЖХ-профиль фенольных соединений. Вследствие полученных результатов, которые были показаны на рисунке 3. Для определения фенольных соединений, с использованием экстрактов по методу ВЭЖХ. В водном экстракте розмарина содержит, как указано в результате: эллаговая кислота (2376,81), рутин (1691,55) и п-гидроксibenзойная кислота (638,21) были преобладающими фенольными соединениями, пока в экстракте имбиря и перечной мяты эллаговая кислота (217,45) и (4117,71) была самой преобладающей. Эти отличия концентрации фенолов могут свидетельствовать о различиях антиоксидантой активности между трёх экстракты [18].

Антимикробная активность экстрактов перечной мяты, имбиря и розмарина, была изучена против различных штаммов патогенов (*Escherichia coli* BA 12296, *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus* NCTC 10788, *Staphylococcus pyogenes*, *Candida albicans* ATCCMYA-2876, *Klebsiella pneumoniae* ATCC12296, *Bacillus subtilis* и *Streptococcus. spp.*). Все протестированные растительные экстракты проявляли антимикробное воздействие на протестированные микроорганизмы, но с различными значениями. В результате исследования показано, что экстракт розмарина достиг значительную антимикробную активность против *Escherichia coli* BA 12296,

Staphylococcus epidermidis, *Staphylococcus aureus* NCTC 10788, *Staphylococcus pyogenes*, *Bacillus subtilis* и *Streptococcus. spp.* С другой стороны, экстракт имбиря показывает высокую активность *Candida albicans* ATCCMYA-2876 и *Staphylococcus pyogenes*. И в тоже время имеет высокое значение

в перечной мяте *Escherichia coli* BA 12296 и *Staphylococcus aureus* NCTC 10788. Антибактериальную активность растительных экстрактов можно объяснить, способностью фенольных соединений связывать, клеточные стенки бактерий, а также предотвратить деление клетки [10].

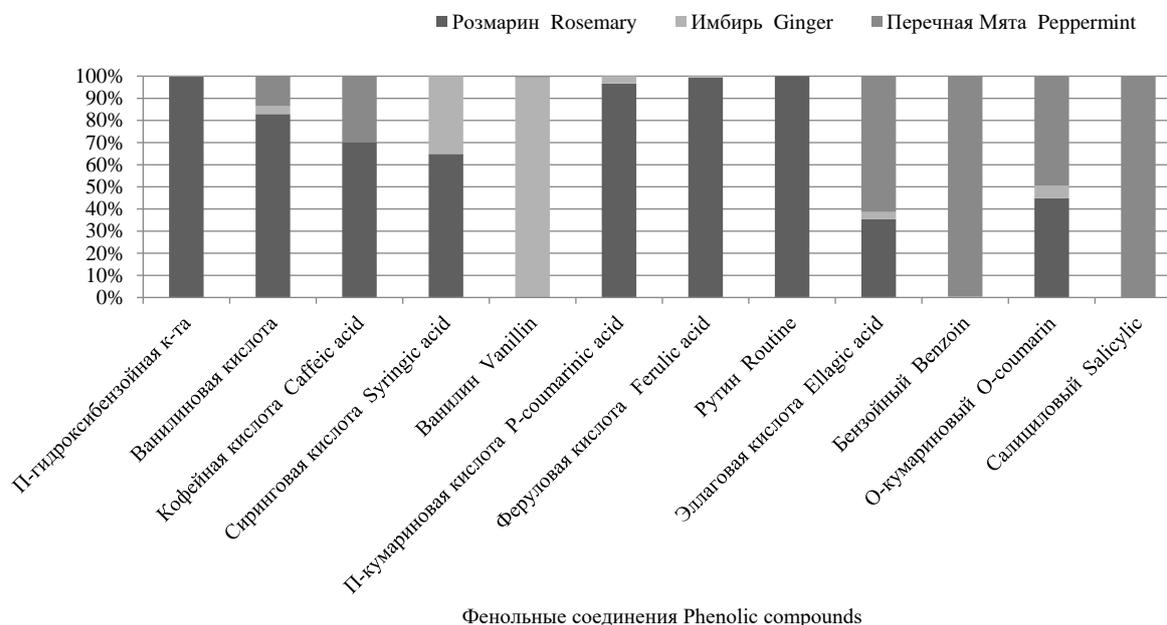


Рисунок 3. ВЭЖХ-анализ фенольных соединений в экстракты розмарина, имбиря и мяты (мг/100 г)
Figure 3. HPLC analysis of phenolic compounds in rosemary, ginger and mint extracts (mg/100 g)

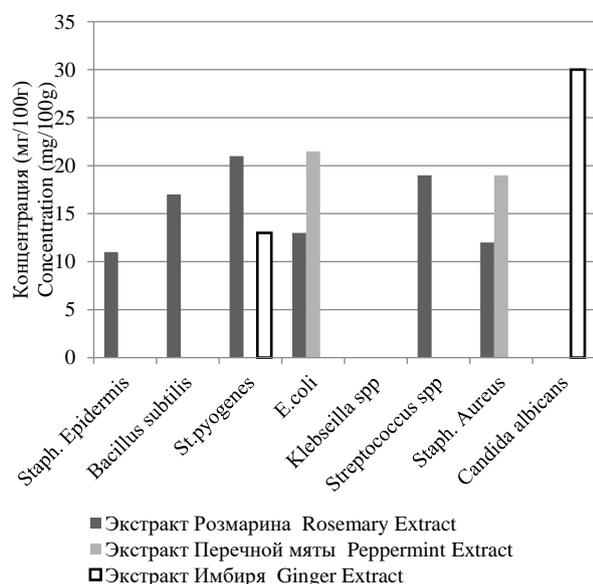


Рисунок 4. Антимикробная активность экстрактов с взаимодействием различных патогенов, измеряемая по диаметру зоны ингибирования (мм)
Figure 4. Antimicrobial activity of extracts with the interaction of various pathogens, measured by the diameter of the inhibition zone (mm)

Заключение

Химическая порча продуктов питания может привести к отказу потребителя от продукта. Поэтому использование натуральных антиоксидантов имеет широкого значения и потенциально использование для исключения окисления питательных веществ, в продуктах питания и впоследствии сохраняет качество продуктов и продляет срок хранения. Данные настоящего исследования были показаны, что экстракт перечной мяты, имбиря и розмарина являются хорошим источником биологически активным соединением.

Экстракты перечной мяты, имбиря и розмарина показывают, значительное количество фенольных соединений и впоследствии антиоксидантную и антимикробную активность. Таким образом, имеет высокую возможность применения в производстве продуктов питания в качестве натуральных консервантов. Мы продолжаем наше исследования с применением этих экстрактов в качестве натуральных консервантов для подтверждения, продления сроков хранения продуктов питания.

Литература

- 1 Kim I.L., Yang M., Goo T.H., Jo C. et al. Radical scavenging-linked antioxidant activities of commonly used herbs andspices in Korea // *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2012. № 63. P. 603–609.
- 2 Das L., Bhaumik E., Raychaudhuri U., Chakraborty R. Role of nutraceuticalsin human health // *J. Food Sci. Technol.* 2012. № 49. P. 173–183.
- 3 Masullo M., Montoro P., Mari A., Pizza C et al. Medicinal plants inthe treatment of women’s disorders: analytical strategies to assure quality, safety and efficacy // *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2015. № 113. P. 189–211.
- 4 Tsai T.–H., Tsai P.–J., Su S.–C. Antioxidant and anti-inflammatory activities of several commonly used spices // *J. Food Sci.* 2005. № 70. P. 93–97.
- 5 Armenteros M., Heinonen M., Ollilainen V., Toldrà F. et al. Analysis of protein carbonyls in meat products by using the DNPH-method, fluorescence spectroscopy and liquid chromatography-electrospray ionizationmass spectrometry (LC-ESI-MS) // *Meat Science.* 2009. № 83. P. 104–112.
- 6 Lund M.N., Heinonen M., Baron C.P., Estevez M. Protein oxidation in muscle foods: A review // *Molecular. Nutrition and Food Research.* 2011. № 55. P. 83–95.
- 7 Estevez M., Ventanasa S., Cava R. Effect of natural and synthetic antioxidants on protein oxidation and colour and texture changes in refrigerated stored porcine liver pate // *Meat Science.* 2006. № 74. P. 369–403.
- 8 Krinsky N.I. Mechanism of action of biological antioxidants // *Proc. Soc. Exp. Med.* 1992. P. 200–260.
- 9 Kiokias S., Varzakas T., Oreopoulou V. In vitro activity of vitamins, flavanoids and natural phenolic antioxidants against the oxidative deterioration of oil-based systems // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2008. № 48. P. 78–93.
- 10 Vongsak B., Sithisarn P., Mangmool S., Thongpraditchote S. Maximizing total phenolics, total flavonoids contents and antioxidant activity of moringa oleifera leaf extract by the appropriate extraction method // *Industrial Crops and Products.* 2013. № 44. P. 566–571.
- 11 Dewanto V., Wu X., Adom K.K., Liu R.H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity // *J. Agric. Food Chem.* 2002. № 50 (10). P. 3010–3014.
- 12 Sakanaka S., Tachibana Y., Okada Y. Preparation and antioxidant proper-ties of extracts of Japanese persimmon leaf tea (kakinoha-cha) // *Food Chem.* 2005. № 9. P. 569–575.
- 13 Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity // *LWT.* 1995. № 28. P. 25–30.
- 14 Croci A.N., Cioroui B., Lazar D., Corciova A. et al. HPLC evaluation of phenolic and polyphenolic acids from propolis // *Farmacia.* 2009. № 57(1). P 52–57.
- 15 Perez J.M., Lebas F., Gidenne T., Maertens L. et al. European reference method for in vivo determination of diet digestibility in rabbits // *World Rabbit Sci.* 1995. № 3. P. 127–149.
- 16 El-Naggar M.N., Abdulla G., El-Shourbagy G.A., El-Badawi A.A. et al. Antimicrobial and antioxidant activities of some plant extracts // *Zagazig Journal of Agricultural Research.* 2017. V. 44. №. 3. P. 1061-1071.
- 17 Parham S. et al. Antioxidant, antimicrobial and antiviral properties of herbal materials // *Antioxidants.* 2020. V. 9. №. 12. P. 1309. doi: 10.3390/antiox9121309
- 18 Chan E., Kong L.Q., Yee K.Y., Chua W.Y. et al. Rosemary and sage outperformed six other culinary herbs in antioxidant and antibacterial properties // *Int. J. Biotechnol.* 2012. V. 1. P. 143.
- 19 Yanishlieva N.V., Marinova E., Pokorný J. Natural antioxidants from herbs and spices // *European Journal of lipid science and Technology.* 2006. V. 108. №. 9. P. 776-793.
- 20 Erkan İ.E., Aşçı Ö.A. Studies on antimicrobial, antifungal and antioxidant properties of rosemary: a review // *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology.* 2020. V. 8. №. 12. P. 2708-2715.

References

- 1 Kim I.L., Yang M., Goo T.H., Jo C. et al. Radical scavenging-linked antioxidant activities of commonly used herbs andspices in Korea. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2012. no. 63. pp. 603–609.
- 2 Das L., Bhaumik E., Raychaudhuri U., Chakraborty R. Role of nutraceuticalsin human health. *J. Food Sci. Technol.* 2012. no. 49. pp. 173–183.
- 3 Masullo M., Montoro P., Mari A., Pizza C et al. Medicinal plants inthe treatment of women’s disorders: analytical strategies to assure quality, safety and efficacy. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2015. no. 113. pp. 189–211.
- 4 Tsai T.–H., Tsai P.–J., Su S.–C. Antioxidant and anti-inflammatory activities of several commonly used spices. *J. Food Sci.* 2005. no. 70. pp. 93–97.
- 5 Armenteros M., Heinonen M., Ollilainen V., Toldrà F. et al. Analysis of protein carbonyls in meat products by using the DNPH-method, fluorescence spectroscopy and liquid chromatography-electrospray ionizationmass spectrometry (LC-ESI-MS). *Meat Science.* 2009. no. 83. pp. 104–112.
- 6 Lund M.N., Heinonen M., Baron C.P., Estevez M. Protein oxidation in muscle foods: A review. *Molecular. Nutrition and Food Research.* 2011. no. 55. pp. 83–95.
- 7 Estevez M., Ventanasa S., Cava R. Effect of natural and synthetic antioxidants on protein oxidation and colour and texture changes in refrigerated stored porcine liver pate. *Meat Science.* 2006. no. 74. pp. 369–403.
- 8 Krinsky N.I. Mechanism of action of biological antioxidants. *Proc. Soc. Exp. Med.* 1992. pp. 200–260.
- 9 Kiokias S., Varzakas T., Oreopoulou V. In vitro activity of vitamins, flavanoids and natural phenolic antioxidants against the oxidative deterioration of oil-based systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.* 2008. no. 48. pp. 78–93.
- 10 Vongsak B., Sithisarn P., Mangmool S., Thongpraditchote S. Maximizing total phenolics, total flavonoids contents and antioxidant activity of moringa oleifera leaf extract by the appropriate extraction method. *Industrial Crops and Products.* 2013. no. 44. pp. 566–571.

- 11 Dewanto V., Wu X., Adom K.K., Liu R.H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* 2002. no. 50 (10). pp. 3010–3014.
- 12 Sakanaka S., Tachibana Y., Okada Y. Preparation and antioxidant proper-ties of extracts of Japanese persimmon leaf tea (kakinoha-cha). *Food Chem.* 2005. no. 9. pp. 569–575.
- 13 Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT.* 1995. no. 28. pp. 25–30.
- 14 Croci A.N., Cioroui B., Lazar D., Corciova A. et al. HPLC evaluation of phenolic and polyphenolic acids from propolis. *Farmacia.* 2009. no. 57(1). pp. 52–57.
- 15 Perez J.M., Lebas F., Gidenne T., Maertens L. et al. European reference method for in vivo determination of diet digestibility in rabbits. *World Rabbit Sci.* 1995. no. 3. pp. 127–149.
- 16 El-Naggar M.N., Abdulla G., El-Shourbagy G.A., El-Badawi A.A. et al. Antimicrobial and antioxidant activities of some plant extracts. *Zagazig Journal of Agricultural Research.* 2017. vol. 44. no. 3. pp. 1061-1071.
- 17 Parham S. et al. Antioxidant, antimicrobial and antiviral properties of herbal materials. *Antioxidants.* 2020. vol. 9. no. 12. pp. 1309. doi: 10.3390/antiox9121309
- 18 Chan E., Kong L.Q., Yee K.Y., Chua W.Y. et al. Rosemary and sage outperformed six other culinary herbs in antioxidant and antibacterial properties. *Int. J. Biotechnol.* 2012. vol. 1. pp. 143.
- 19 Yanishlieva N.V., Marinova E., Pokorný J. Natural antioxidants from herbs and spices. *European Journal of lipid science and Technology.* 2006. vol. 108. no. 9. pp. 776-793.
- 20 Erkan İ.E., Aşçı Ö.A. Studies on antimicrobial, antifungal and antioxidant properties of rosemary: a review. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology.* 2020. vol. 8. no. 12. pp. 2708-2715.

Сведения об авторах

Собхи А.А. Аль-Сухайми к.б.н., профессор, кафедра технологии продуктов общественного питания, Южно-уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, alsukhaimisa@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1657-5162>

Зилолахон А. Оленева ст. преподаватель, кафедра технологии продуктов общественного питания, Южно-уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, olenevaza@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8517-2888>

Абдували Д. Тошев д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов общественного питания, Южно-уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, toshevad@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8620-2065>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sobhy A.A. El-Suhaimy Cand. Sci. (Biol.), professor, catering technology department, Ural State University, 76 Lenin Avenue, Chelyabinsk 454080, Russia, alsukhaimisa@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-1657-5162>

Zilolakhon A. Oleneva senior lecturer, catering technology department, Ural State University, 76 Lenin Avenue, Chelyabinsk 454080, Russia, olenevaza@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8517-2888>

Abduvali D. Toshev Dr. Sci. (Engin.), professor, catering technology department, Ural State University, 76 Lenin Avenue, Chelyabinsk 454080, Russia, toshevad@susu.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8620-2065>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 02/04/2024	После редакции 18/04/2024	Принята в печать 13/05/2024
Received 02/04/2024	Accepted in revised 18/04/2024	Accepted 13/05/2024

Влияние экстракта перечной мяты на процесс хранения мясных полуфабрикатов

Собхи А.А. Аль-Сухайми ¹	alsukhaimisa@susu.ru	 0000-0002-1657-5162
Зилолахон А. Оленева ¹	olenevaza@susu.ru	 0000-0001-8517-2888
Абдували Д. Тошев ¹	toshevad@susu.ru	 0000-0001-8620-2065
Диана Тазеддинова ¹	tazeddinovad@susu.ru	 0000-0002-8052-0692

¹ Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), проспект Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия

Аннотация. Цель исследования является изучение эффективности экстракта перечной мяты в качестве натурального консерванта для срока годности полуфабриката. Экстракт перечной мяты показал высокое содержание влагоудерживающих свойств, где добавление экстракта перечной мяты 0,05% и 0,1% имели самый высокий WHC. Не было обнаружено существенной разницы между образцом, обработанной перечной мятой (ВМ>0,05), которая достигла конечных уровней pH $5,98 \pm 0,04$ и $5,52 \pm 0,06$. Уровень TBARS демонстрировал незначительные изменения в диапазоне от исходных, перечной мятой составлял 0,36 и 0,38 - 0,84 и 0,81 мг МДА на кг полуфабриката. Растительный экстракт перечной мяты, при добавлении 0,05% или 0,1% (по массе) был более эффективным и значимо ($p > 0,05$) замедлял окисление липидов, значение TBARS в группе положительного контроля с ВНТ было намного ниже, чем у контрольных аналогов, и оставалось почти неизменным в течение периода хранения. Оценка окисления белков показал значимые различия ($p < 0,05$) в перечной мяте в концентрации 0,5 частей на миллион (ВМ 0,5) и концентрате 1,0 частей на миллион (ВМ 1,0) были значения содержания карбонила $12,81 \pm 0,54$ и $12,11 \pm 0,08$. Таким образом, фенольные соединения, вероятно, защищали белок, замедляя основные иницирующие факторы окисления. В контроле роста микроорганизмов, начиная с экстракта перечной мяты, при обработке ВМ 1,0 сохранял количество микроорганизмов с незначительным увеличением до 12-го дня хранения. Кроме того, низкое начальное содержание мяты перечной способствовало поддержанию показателей в пределах допустимого диапазона до 24-го дня хранения в холодильнике (2×10^6 КОЕ/г). При различных концентрациях перечная мята имела высокую антимикробную активность, снижение количеств микробных и других представителей имел отрицательный контроль, особенно при обработке 0,2% и 0,5%. Полуфабрикаты с экстрактом перечной мяты получили значительно высокие результаты и итоговым оценкам в качестве консерванта. По органолептической оценке, можно сказать, что, было выявлено значительно (ВП>0,05) более высокие оценки за внешний вид, вкусовые качества по сравнению с рецептурами цвета и аромата после обработки.

Ключевые слова: перечная мята, натуральные консерванты, срок годности, окисление липидов, окисление белков, говяжий бургер.

The effect of peppermint extract on the storage of meat semi-finished products

Sobhy A.A. El-Suhaimy ¹	alsukhaimisa@susu.ru	 0000-0002-1657-5162
Zilolakhon A. Oleneva ¹	olenevaza@susu.ru	 0000-0001-8517-2888
Abduvali D. Toshev ¹	toshevad@susu.ru	 0000-0001-8620-2065
Diana Tazeddinova ¹	tazeddinovad@susu.ru	 0000-0002-8052-0692

¹ South Ural State University (National Research University), 76 Lenin Avenue, Chelyabinsk, 454080, Russia

Abstract. The purpose of the study is to study the effectiveness of peppermint extract as a natural preservative for the shelf life of a semi-finished product. Peppermint extract showed a high content of moisture-retaining properties, where the addition of peppermint extract 0.05% and 0.1% had the highest WHC. No significant difference was found between the sample treated with peppermint (PW>0.05), which reached the final pH levels of 5.98 ± 0.04 and 5.52 ± 0.06 . The TBARS level showed slight changes in the range from the initial ones, peppermint was 0.36 and 0.38 - 0.84 and 0.81 mg MDA per kg of semi-finished product. Vegetable extract of peppermint, with the addition of 0.05% or 0.1% (by weight) It was more effective and significantly ($p > 0.05$) slowed down lipid oxidation, the TBARS value in the positive control group with BHT was much lower than that of the control analogues and remained almost unchanged during the storage period. The assessment of protein oxidation showed significant differences ($p < 0.05$) in peppermint at a concentration of 0.5 ppm (PW 0.5) and a concentrate of 1.0 ppm (PW 1.0), the carbonyl content values were 12.81 ± 0.54 and 12.11 ± 0.08 . Thus, phenolic compounds probably protected the protein by slowing down the main initiating oxidation factors. In controlling the growth of microorganisms, starting with peppermint extract, during processing, PW 1.0 retained the number of microorganisms with a slight increase until the 12th day of storage. In addition, the low initial content of peppermint helped to maintain the indicators within the acceptable range until the 24th day of storage in the refrigerator (2×10^6 CFU/g). At various concentrations, peppermint had high antimicrobial activity, a decrease in the amounts of microbial and other representatives had negative control, especially when treated with 0.2% and 0.5%. Semi-finished products with peppermint extract have received significantly high results and final estimates as a preservative. According to the organoleptic assessment, it can be said that significantly (ВП>0.05) higher ratings for appearance and taste qualities were revealed compared to the formulations of color and aroma after processing.

Keywords: peppermint, natural preservatives, best before date, lipid oxidation, protein oxidation, beef burger.

Для цитирования

Аль-Сухайми С.А.А., Оленева З.А., Тошев А.Д., Тазеддинова Д. Влияние экстракта перечной мяты на процесс хранения мясных полуфабрикатов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 189–198. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-189-198

For citation

El-Suhaimy S.A.A., Oleneva Z.A., Toshev A.D., Tazeddinova D. The effect of peppermint extract on the storage of meat semi-finished products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 189–198. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-189-198

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Перечная мята является очень популярным лекарственным растением, известным как спазмолитическое, успокоительное, желчегонное, противорвотное и местное оздоровительное действие [1]. Консервант представляет собой особую группу добавок, которые позволяют значительно увеличить сроки хранения продукции [2]. Даже обыкновенный чай из него, заваренный в воде, имеет весьма ярко выраженный целебной эффект на состояние желудочно-кишечного тракта, желчных пузырей [3]. В производстве применяется растительное сырье перечной мяты фармацевтические препараты, пищевые продукты и биологические добавки, поскольку его вторичный метаболит имеет широкий спектр биологической активности [4]. Основной ценный компонент перечной мяты – ментол.

Мята способствует уничтожению или значительно подавлению активности бактерий Хеликобактер, кишечника, золотисто-стафилококка, а также ряду других потенциально опасных патогенных бактерий. И еще мятный чай очень хорошо помогает при кишечнике [5]. Наиболее часто используемые методы – естественные сушки тени и сушки горячего воздуха, поскольку они являются более низкими ценами, чем другие обезвоживание. Однако естественная штукатурка не подходит к обработке больших объемов материала, что может спровоцировать нарушение стандартов качество в соответствии [6]. Содержание которой зависит от многочисленных факторов, например, различия в хемотипах и т. д. Климатическое положение растений, этапы вегетации, а также сроки уборки растений, климатические условия произрастания, стадии и сроки уборки растений, Длительность и условия хранения сырья

растительного происхождения. Важный фактор сухих растений – процесс обезвреживания [7]. Обеспечивая защиту продукции от преждевременных порч, которые позволяют значительно увеличить сроки хранения продукции [8].

Растительный консервант исключает возникновение на продуктах питания плесени, изменения вкуса и приобретение постороннего запаха [9]. Способ применения консерванта – предотвратить размножение микроорганизмов, грибов и др. [10].

На сегодняшний день натуральные консерванты используются почти по всему миру. Они способствуют увеличению срока службы продукта, делая ее пригодным для использования даже спустя значительное время. В пищевой отрасли существует несколько типов натурального консерванта. Их до сих пор широко применяют на различных предприятиях [11].

Хотя в большинстве случаев, в современных магазинах предлагаются продукты, которые содержат вредные химикаты и синтетические консерванты, которые пагубно воздействуют на организм.

В работе выбрали альтернативу, где воспользоваться может каждый. Добавление натурального консерванта в говяжью котлету сделает полноценный и питательный продукт

Цель работы – изучение эффективности экстракта перечной мяты в качестве натурального консерванта для срока годности полуфабриката.

Материалы и методы

Приготовление бургера из говядины с экстрактом мяты в качестве натурального консерванта. Рецепт разработанного бургера с натуральным консервантом представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Рецепт готовых бургеров с говядиной (100г)

Table 1.

Recipe for ready-made burgers with beef (100g)

Ингредиент	Растительный экстракт				
	Контроль	ВНТ	Перечная мята 0,2%	Перечная мята 0,5%	Перечная мята 1,0%
Нежирное мясо (г)	65	65	65	65	65
Жир (г)	20	20	20	20	20
Соль (г)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Смесь специй (г)	1	1	1	1	1
Вода со льдом (г)	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Свежий лук (г)	5	5	5	5	5
ВНТ%	–	0,2	–	–	–
Перечная мята%	–	–	0,2	0,5	1,0

Примечание: смесь специй была приготовлена из черного перца (25%), кардамона (25%), китайского кубеба (20%), корицы (10%), красного перца (10%), и лаврового листа (10%). Перед замешиванием специи каждого типа измельчали в порошок. (ВМ) водный экстракт мяты перечной.

Note: The spice mixture was made from black pepper (25%), cardamom (25%), Chinese kubeb (20%), cinnamon (10%), red pepper (10%), and bay leaf (10%). Before mixing, spices of each type were ground into powder. (PW) aqueous extract of peppermint

Первая порция оставалась без каких-либо добавок, отрицательный контроль (ОК); вторая порция была приготовлена с использованием 0,02% ВНТ ПК – положительный контроль. И другие смеси трех уровней 0,2; 0,5 и 0,1% с экстрактом перечной мяты. Смеси для каждой обработки придавали форму бургера (диаметр 12 см, толщина 0,5 см при среднем весе 70 г). Каждые 6 бургеров укладывали в пенопластовые тарелки, заворачивали в полиэтиленовые листы и хранили при температуре 4 ± 1 °С в течение 28 дней и анализировали на pH, влагоудерживающую способность (WHC), количество микробов, вещества, реагирующие с тиобарбитуровой кислотой (TBARS), окисление белка и сенсорную оценку. Описанный эксперимент был проведен в трех повторениях.

Определение окисления липидов (TBARS). Образец полуфабриката анализировали на содержание веществ, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (TBARS), согласно [1] способ 5 г полуфабриката гомогенизировали с 15 мл деионизированной дистиллированной воды. 1 мл гомогената полуфабриката переносили в пробирку и добавляли 50 мкл бутилатдигидроксилтолуола (7,2%) и 2 мл тиобарбитуровой кислоты (ТБК) – трихлоруксусной кислоты (ТХА) (15 мМ ТБК-15% ТХА). Смесь взбалтывали, а затем выдерживали на кипящей водяной бане в течение 15 мин до появления цвета. Затем образцы подвергали охлаждению в течение 10 мин, снова перемешивали и центрифугировали в течение 15 мин при $2500 \times g$. Оптическую плотность полученного надосадочного раствора определяли при 531 нм на пробирке, содержащей 1 мл деионизированной воды и 2 мл раствора ТВА-ТСА. Количество TBARS выражали в миллиграммах малонового альдегида на килограмм мяса [20].

Определение окисление белков (DNPH). Применяемый метод основан на традиционном спектрофотометрическом анализе DNPH, описанном [2]. Новый метод заключался в следующем с некоторыми модификациями: 1 г (в трех экземплярах) образца, полуфабрикат гомогенизировали в 10 мл ледяного 0,15 М раствора KCl. Три аликвоты по 100 мкл гомогената смешивали с 1 мл 10% ТСА и центрифугировали при 1000 об/мин в течение 5 мин (Центрифуга Eppendorf 5424). После удаления надосадочной жидкости к гранулам добавляли 400 мкл 5% SDS, которые впоследствии нагревали при 100°С в течение 10 мин. Образцы (3 повторения) затем обрабатывали 0,8 мл 0,3% (мас./об.) DNPH в 3 М HCl, в то время как к заготовке добавляли 0,8 мл 3 М HCl (2 повторения). После 30-минутной инкубации добавляли 400 мкл 40% ТСА для осаждения белков и надосадочную жидкость отделяли центрифугированием при 10000 об/мин

в течение 5 мин. После удаления надосадочной жидкости гранулу трижды промывали 1 мл раствора этанол–этилацетат (1:1, об: об) путем центрифугирования при 15000 об/мин в течение 5 мин. Эти этапы промывки были направлены на удаление любого свободного DNPH, который мог помешать спектрофотометрическим измерениям, приводящим к завышению содержания карбонила. После окончательной промывки полученные гранулы хранили в – 80 в течение 2 ч и впоследствии растворили в 1,5 мл 6 М гидрохлорида гуанидина в 20 м моль $\text{NaN}_2 \text{PO}_4$ (pH 6,5). После инкубации в течение ночи при 4 °С оптическую плотность при 280 и 370 нм измеряли с помощью спектрофотометра UV-VIS 1800 (Shimadzu Corporation, Япония) при 25 °С, чтобы количественно определить концентрацию белка и содержание карбонила соответственно. Содержание карбонила, выраженное в нмоль/мг белка, рассчитывали согласно следующему уравнению [3] с небольшими изменениями, направленными на учет потенциального влияния гидразона при 280 нм:

$$\begin{aligned} & \text{Содержание карбонила [нмоль/мг белка]} \\ & \text{Содержание карбонила} = \\ & \frac{\text{Абс } 370 - \text{Абс } 370}{22000[\text{Абс } 280 - (\text{Абс } 370 - \text{Абс } 370) \times 0,43]} \times 10^6 \end{aligned}$$

Водоудерживающую способность (WHC) образцов полуфабрикат измеряли методом центрифугирования [6]. Образцы нарезают кубиками, затем центрифугировали при $1000 \times g$ при 4 °С в течение 15 мин и рассчитывали WHC по следующей формуле:

$$\text{WHC (\%)} = \frac{\text{масса до центрифугирования}}{\text{масса после центрифугирования}} \times 100$$

Уровни pH определяли в соответствии с [7]. В частности, 10-граммовую пробу образца полуфабриката гомогенизировали в 100 мл дистиллированной воды и смесь отфильтровали. Значение pH фильтрата измеряли с помощью pH-метра (Adwa, измеритель pH/mv. температуры AD1030).

Микробиологический анализ. Продукты подвергали микробиологическому анализу на сутки; 0, 4, 8, 12, 16, 20 и 24 холодного хранения при температуре 4 °С. Один грамм говяжьей котлеты гомогенизировали в 9 мл стерилизованной пептоновой воды и готовили серийные разведения. Общее количество жизнеспособных бактерий (TVC) определяли с использованием планшетного графитового агара (PCA) (Conda, Испания), инкубированного при 30 °С в течение 72 ч. Психрофильные бактерии (PB) подсчитывали с использованием PCA после инкубации при 4 °С в течение 7 дней. Бактерии группы кишечной палочки (CB) определяли с использованием агара Macconkey (Conda, Испания), инкубация

при 30 °C в течение 48 ч. При этом дрожжи подсчитывали с использованием дрожжевой пептоновой (YP) среды (Conda, Испания), инкубировали при 30 °C в течение 48 ч. Микробиологические показатели выражали в виде \log_{10} КОЕ/г.

Органолептические показатели. Органолептические показатели бургерных котлет из говяжьего мяса проводился после обработки. Для органолептической оценки были отобраны 20 экспертов (обоих полов в возрасте от 30 до 45 лет) из числа сотрудников кафедры пищевых наук. Участники были отобраны с учетом их опыта в методах органолептической оценки и тестируемых продуктов питания (опытные едоки бургеров). Кроме того, перед тестированием они прошли подготовительную сессию, связанную с описанием органолептических атрибутов (внешний вид, аромат, вкус, цвет, нежность и общая приемлемость), чтобы каждый участник мог тщательно обсудить и прояснить каждый атрибут, подлежащий оценке. Все испытания проводились в контролируемых условиях (в специальном помещении с контролируемой температурой, без шума и запахов, с достаточным освещением). Между пробами подавалась водопроводная вода для очищения вкуса. Пять говяжьих котлет из каждой рецептуры готовились при 180 °C в печи с принудительной тягой (Heraeus D – 63,450 Napau, Германия) до температуры ядра 75 °C и поддерживались теплыми в печи до тестирования в течение 3–8 минут [5]. Температура приготовления контролировалась с помощью игольчатого термодатчика, присоединенного к предварительно откалиброванному ручному термометру (Hanna HI 985091-1; Пасадена, Техас, США). Из центра каждой котлеты вырезали прямоугольные кусочки размером примерно 1,5 см² и подавали при комнатной температуре. Каждый участник оценивал три экземпляра всех рецептов в случайном порядке и просил присвоить числовое значение от 1 до 10 для следующих признаков: (внешний вид, аромат, вкус, цвет, нежность и общая приемлемость), где 10 означает чрезвычайно приемлемый, а 1 – чрезвычайно неприемлемый. В конце оценки данного образца каждого участника просили поставить оценку общей приемлемости от 1 (очень не нравится) до 10 (очень нравится).

Органолептическую оценку проводили в отдельных кабинках в контролируемых условиях. Для очистки неба между пробами использовалась вода. Баллы по шкале были следующими: отлично – 9; очень хорошо – 8; хорошо – 7; приемлемо – 6; плохо (первый неприятный запах, появление неприятного вкуса) – 6; оценка в 6 баллов считалась нижним пределом приемлемости. Продукт был определен как неприемлемый после появления первого неприятного запаха или вкуса.

Результаты и обсуждения

Оценка окисления липидов при хранении котлет (TBARS). Антиоксидантное действие водного экстракта перечной мяты на содержание TBARS в продуктах для бургеров при хранении (4 °C) в течение 28 дней. Анализ TBARS определяет образование вторичных продуктов окисления липидов, в основном малонового альдегида, который может способствовать появлению неприятных запахов окисленного жира. На рисунке 3 показано антиоксидантное действие водного экстракта перечной мяты на содержание TBARS в продуктах для бургеров при хранении (4 °C) в течение 28 дней. TBARS образуются на второй стадии автоматического окисления, во время которой пероксиды окисляются до альдегидов и кетонов (например, MDA). На этот день было обнаружено, что значения TBARS ($p < 0,05$) одинаковы для всех образцов полуфабрикатов которые варьировались от (0,36 до 0,39). Значения TBARS значительно возросли с увеличением срока хранения. Значения TBARS обработанного образца, была значительно ниже при концентрации 0,05% и 0,1% ($p < 0,05$), чем у отрицательного (ОК) и положительного контролей (ПК) для образца во время хранения, показывая, что водный растительный экстракт перечной мяты, оказывала сильное защитное действие против окисления липидов в продукте для бургеров. Значимые ($p > 0,05$) изменения в TBARS произошли за 21-дневный период отбора проб. Соответствующие методы лечения достоверно ($p > 0,05$) влияли на значения TBARS, а также влияли на изменение с течением времени, о чем свидетельствует статистически значимая взаимосвязь ($p > 0,05$) между методами лечения и временем. Как и ожидалось, значения TBARS значительно увеличились в мясных полуфабрикатах из отрицательного контроля в начале реакций окисления липидов (наклон от 0,39 до 0,96). Среди полуфабрикатов образцы без антиоксидантов имели самые высокие значения TBARS к концу хранения (28-й день). Результаты показывают, что значения TBARS с добавлением экстракта перечной мяты в концентрате (0,02%), и положительных контролей увеличились исходные 0,36 до 0,86. При обработке экстрактом мяты перечной в дозе 0,02% TBARS увеличились с 0,39 до 0,93, при концентрации для обработки (0,05% и 0,1%) соответственно у перечной мяты уровень TBARS демонстрировал незначительные изменения в диапазоне от исходных, перечной мятой составлял 0,36 и 0,38 – 0,84 и 0,81 мг MDA на кг полуфабриката. Растительный экстракт перечной мяты, при добавлении 0,05% или 0,1% (по массе) был более эффективным и значимо ($p > 0,05$) замедлял окисление липидов, значение TBARS в группе положительного контроля с ВНТ было намного ниже, чем у контрольных аналогов,

и оставалось почти неизменным в течение периода хранения. Результаты настоящего исследования показывают, что добавление экстракта перечной мяты, богатых фенолом, защищает мясные полуфабрикаты для бургеров с говядиной от окисления липидов. Известно, что фенольные соединения ингибируют образование свободных радикалов и распространение свободного радикальных реакций посредством хелатирования ионов переходных металлов, таких как железо. Таким образом, сильная антиоксидантная активность, проявляемая растительным экстрактом – перечной мяты, сыграла защитную роль в настоящих мясных продуктах. Антиоксидантная активность фенольных соединений связана с гидроксильной группой, связанной с ароматическим кольцом, которое способно отдавать атомам водорода электроны и нейтрализовать свободные радикалы. Этот механизм блокирует дальнейшее разложение до более активных окисляющих форм, таких как MDA. Эффект ингибирования был сильнее ($p < 0,05$) в образцах BM 0,5 и 0,1 чем в образце BM 0,2 при всех сроках хранения. Дисперсионный анализ показал, что на значения TBARS существенно повлияли ($p < 0,05$) как хранение, так и обработка. Эти результаты свидетельствуют о том, что эти антиоксиданты замедляли окисление липидов во время хранения. Считается, что природные антиоксиданты прерывают цепи свободных радикалов, выделяя водород из фенольных групп, что приводит к образованию стабильного конечного продукта.

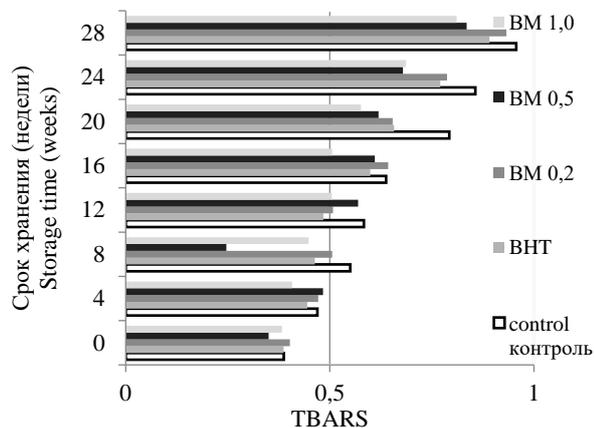


Рисунок 1. Антиоксидантное действие водного экстракта мяты перечной на показатели TBARS продукта для бургеров при хранении (4°C) в течение 28 дней

Figure 1. Antioxidant effect of aqueous peppermint extract on the TBARS of the burger product when stored (4°C) for 28 days

Оценка окисления белков при хранении котлет из говядины. Кривые окисления белка в течение 4 недель окисления в присутствии экстракта перечной мяты, показаны на рисунок 4.

Добавлением растительного экстракта из перечной мяты, каждый в трех концентрациях 0,2; 0,5 и 1,0 мг) или ВНТ (0,2 мг) оказывает значительное воздействие на белковые окисления, как изменяется количество карбонильных соединений в фарш для бургеров во время хранения раз в 4° С в течение 4 недель, после же поведения TBARS значения. Влияние экстракта перечной мяты на окисление в виде значений ингибирования на первой, второй, третьей и четвертой неделях окисления, хотя между 1-м и 16-м днем не было изменений в ингибировании окисления липидов. Начальный уровень окисления белка составлял приблизительно 1,74 карбонильное соединение/мг белка. Содержание карбониллов белка увеличивалось в течение первых 7 дней окисления до достижения максимального уровня, который составлял $16,43 \pm 1,61$ в контрольном образце. Содержание карбонила увеличивалось более резко при обработке СО ($p < 0,001$) с течением времени, чем в экстракте котлеты и ВНТ. Достоверные различия ($p < 0,05$) между обработками наблюдались со второй недели до последнего срока хранения, когда ВНТ и растительный экстракт перечной мяты проявляла сходную антиоксидантную активность при концентрации 0,2 частей на миллион ($p < 0,05$), при этом карбонильные значения составляли $14,76 \pm 1,48$, $15,20 \pm 0,91$, $14,62 \pm 0,40$ и $15,33 \pm 1,41$ нмоль/мг соответственно; также значимыми различиями ($p < 0,05$) в перечной мяте в концентрации 0,5 частей на миллион (BM 0,5) и концентрации 1,0 частей на миллион (BM 1,0) были значения содержания карбонила $12,81 \pm 0,54$ и $12,11 \pm 0,08$. Таким образом, фенольные соединения, вероятно, защищали белок, замедляя основные иницирующие факторы окисления (факторы окружающей среды, переходные металлы, миоглобин и окисляющие липиды), проявляя активность за счет удаления свободных радикалов.

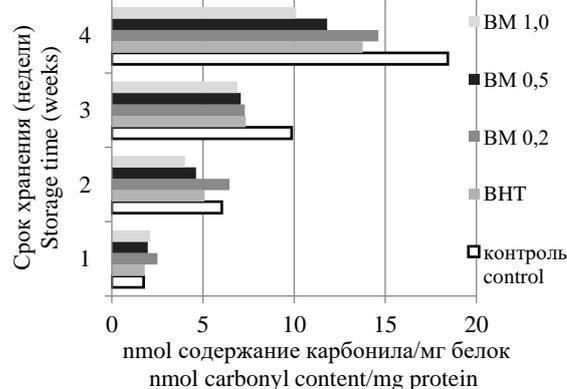


Рисунок 2. Кривые окисления белка в течение 4 недель окисления в присутствии водного растворителя на экстракт перечной мяты

Figure 2. Protein oxidation curves during 4 weeks of oxidation in the presence of an aqueous solvent on peppermint extract

Водоудерживающая способность (WHC).

При любых концентрациях водоудерживающая способность (WHC) котлет из говядины повышалась незначительно на рисунке 1. Было обнаружено, что эти различия зависят от концентрации экстракта перечной мяты, котлеты из говядины, содержащие 0,05% и 0,1% экстракта перечной мяты, имели самый высокий WHC, в то время как котлеты без экстракта; ОК, ПК и котлеты, содержащие 0,02% экстракта перечной мяты, не показали существенных различий. WHC – это способность полуфабриката удерживать собственную воду или добавленную воду во время обработки.

Такая высокая влагоудерживающая способность помогает удерживать воду, выделяющуюся из полуфабриката [8]. Результаты текущего исследования соответствует предыдущей работе, поскольку сообщалось что, экстракт черной смородины, добавляемый в свиные котлеты при охлажденном хранении которые оценивали полное или частичное ингибирование окисления белка может предотвратить нежелательное воздействие на мясо и его производные, связанное с нежностью, влагоудерживающей способностью и питательными качествами [9].

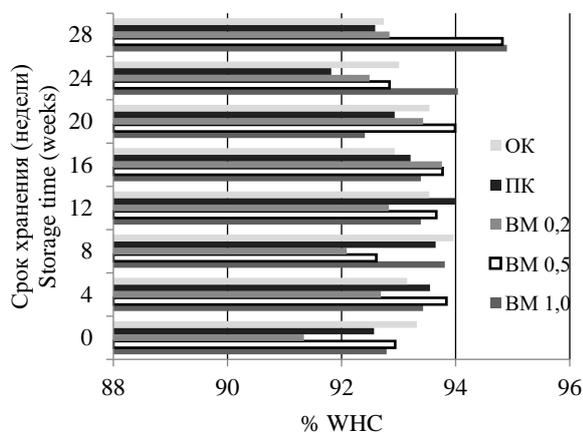


Рисунок 3. Влияние мяты перечной на влагоудерживающую способность (WHC) образцов полуфабриката для бургеров при хранении в холодильнике при температуре 4 °С в течение 28 дней
Figure 3. The effect of peppermint on the moisture retention capacity (WHC) of samples of semi-finished burger products when stored in the refrigerator at a temperature of 4 °C for 28 days

pH. На рисунке 4, показано влияние растительного экстракта перечной мяты на pH образцов полуфабриката для бургеров при хранении в холодильнике при температуре 4 °С в течение 28 дней. Было обнаружено, что начальный pH образца полуфабриката для бургеров составляет $6,11 \pm 0,07$. Было обнаружено, что значение pH ($p > 0,05$) обоих контрольных

образцов (ОК и ПК) повышается выше по сравнению с обработками. Не было обнаружено существенной разницы между образцом, обработанной перечной мятой ($p > 0,05$), которая достигла конечных уровней pH $5,98 \pm 0,04$ и $5,52 \pm 0,06$ соответственно.

Повышение pH ($p > 0,05$) в контрольных образцах может быть связано с утилизацией бактериями аминокислот, высвобождающихся при распаде белка по мере истощения запасов глюкозы. Результаты показали ту же тенденцию, о которой сообщали [10]. Накопление аммиака и продуктов распада аминокислот приводит к повышению pH [11]. Значение pH было обнаружено ниже ($5,13 \pm 0,06$) в образцах по сравнению с другими образцами. Снижение pH во время хранения было связано с ростом микроорганизмов. Похоже, что кислотообразующие бактерии растут как в говяжьих бургерах без экстракта, ОК, ПК, так и в тех, которые содержат 0,02% экстракта перечной мяты. Производство кислоты было выше в бургерах без экстракта, что может быть связано с более высокой скоростью роста молочнокислых бактерий. Антимикробное действие экстракта перечной мяты может быть причиной более низкого производства кислоты и меньшего снижения pH при увеличении концентрации растительного экстракта перечной мяты. Антимикробный эффект экстракта перечной мяты был доказан во многих предыдущих исследованиях.

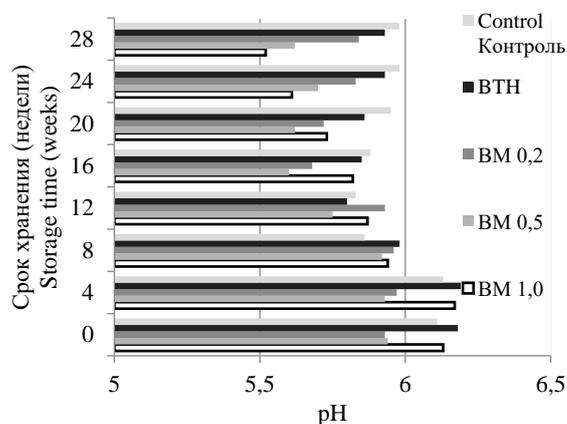


Рисунок 4. Антиоксидантное действие водного экстракта мяты перечной на показатели TBARS продукта для бургеров при хранении (4 °С) в течение 28 дней
Figure 4. Antioxidant effect of aqueous peppermint extract on the TBARS of the burger product when stored (4 °C) for 28 days

Figure 4. Antioxidant effect of aqueous peppermint extract on the TBARS of the burger product when stored (4 °C) for 28 days

Общее количество микроорганизмов. Таблица 2, иллюстрирующая общее количество микроорганизмов при трех обработках различными концентрациями в сравнении с отрицательным (без добавок) и положительным контролем (ВНТ) в течение месяца хранения

в холодильнике (4°С) с интервалами времени в: 0, 6, 12, 18, 24 и 28 дней. Первоначальные подсчеты продукта за нулевое время показала значительно, высокие показатели по сравнению с контролем ОК, которые были выражены в перечной мяте. Это может относиться к первоначальным подсчетам добавленного экстракта, прошедшего многократную обработку. Из-за этих различий в исходных показателях эти результаты разрушили общую теорию, согласно которой можно было ожидать, что чем выше используемая концентрация растительного экстракта перечной мяты, тем ниже количество микроорганизмов. В результате сравнения между интервалами времени, будет проводиться на основе значительного увеличения количества микроорганизмов по сравнению с исходными показателями того же экстракта перечной мяты, чтобы показать роль в контроле роста микроорганизмов. Начиная с экстракта перечной мяты, при обработке ВМ 1,0 сохранял количество микроорганизмов с незначительным увеличением до 12-го дня хранения. Кроме того, низкое начальное содержание мяты перечной способствовало поддержанию показателей в пределах допустимого диапазона до 24-го дня хранения в холодильнике (2×10^6 КОЕ/г). Эти результаты подтверждают идею об эффективности более высоких концентраций растительного экстракта перечной мяты, но для получения точных результатов следует уделять больше внимания предварительной обработке используемого экстракта. В конце срока хранения, несмотря на то, что при обработке растительного экстракта с различными концентрациями, удалось значительно снизить общее количество микроорганизмов по сравнению с отрицательным контролем, особенно ВМ 1,0 которые сопоставим с обработкой ВНТ; но, все показатели превысили рекомендуемые (5×10^6 КОЕ/г) в соответствии с [12]. Эти результаты согласуются с результатами, полученными несколькими исследователями, которые обнаружили, что первоначальное общее количество бактерий в бургере составляло более 10^6 КОЕ/г [13] сообщили, что количество аэробных колоний варьировало от $1,5 \times 10^3$ до $2,1 \times 10^8$ КОЕ/г свежего мясного продукта.

В то время образцы были забракованы из-за увеличения общего количества бактерий более чем до 1×10^7 КОЕ/г и / или сенсорных оценок. Аналогичные отчеты также были представлены по свежему говяжьему фаршу с использованием экстракта виноградных косточек и сосновой коры [14] также было обнаружено замедление роста микроорганизмов в котлетах из куриного фарша, содержащих метилгаллат [15], также сообщалось об ингибировании роста микроорганизмов в полосках мяса буйвола, смоченных в гвоздичном масле, которое содержало фенольные производные.

Ингибирование микроорганизмов фенольными соединениями может быть вызвано недостатком железа или водородными связями с жизненно важными белками, такими как микробные ферменты [16]. Фенольные соединения, в частности проантоцианидины (часто называемые конденсированными танинами), подвержены полимеризации на воздухе в результате реакций окисления. Следовательно, важным фактором, определяющим их токсичность, является размер их полимеризации. Окисленная конденсация фенолов может привести к токсификации микроорганизмов. С другой стороны, полимеризация может привести к детоксикации фенолов. Это подтверждает тот факт, что полифенолы могут быть ответственны за антимикробную активность экстракта перечной мяты.

Таблица 2.
Влияние добавления растительного экстракта перечной мяты на общее количество бактерий (КОЕ/г) в бургере при хранении (4 ± 1 °С)

Table 2.
The effect of adding peppermint plant extract on the total number of bacteria (CFU/g) in the burger during storage (4 ± 1 °C)

Обработка Treatment	Время хранения (дни) КОЕ/г Storage time (days)					
	0	6	12	18	24	28
Контроль Control	1×10^5 Aa	6×10^5 Bb	4×10^6 Cde	1×10^7 Dd	8×10^7 Ee	2×10^8 Fd
ВНТ	4×10^5 Ab	7×10^5 Ab	5×10^6 Bc	5×10^6 Bcd	9×10^6 Bc	9×10^7 Cc
ВМ 0,2	$1,2 \times 10^5$ Aa	2×10^5 Aa	$4,8 \times 10^5$ Bab	2×10^6 Cab	1×10^7 Dc	6×10^7 Ec
ВМ 0,5	4×10^5 Ab	7×10^5 Ab	2×10^6 Bcd	$2,4 \times 10^6$ Bbc	5×10^7 Cde	1×10^7 Cc
ВМ 1,0	$1,5 \times 10^5$ Aa	2×10^5 Aa	3×10^5 Aa	1×10^6 Ba	2×10^6 Ba	7×10^6 Ca

Примечание: каждое сообщаемое значение является средним \pm SD для трех повторений. Значения в одном столбце, за которыми следуют разные буквы, значительно отличаются ($p < 0,05$).
Note: Each reported value is the average \pm SD for three repetitions. The values in the same column, followed by different letters, differ significantly ($p < 0.05$)

Количество кишечной палочки (E. coli).
В таблице 3. Показано количество колиформных бактерий в обработке с различными концентрациями. Та же тенденция общего количества была отмечена и в отношении колиформных бактерий, где большинство исходных количеств, превышали исходное количество в контроле. Сравнивая начальное количество колиформ в каждой обработке, можно сделать вывод, что обработки ВМ 0,2; ВМ 0,5 и ВМ 1,0 могут поддерживать рост колиформ без значительного увеличения до 12-го дня холодильного хранения, как и положительный контроль (ВНТ). В любом случае, вид обработки растительным экстрактом с различными концентрациями и различными начальными количествами, достигли снижения количества колиформ по сравнению с отрицательным контролем в конце периода хранения (28 дней).

Таблица 3.
Влияние добавления ПК и экстракта перечной мяты на группу колиформных бактерий (КОЕ/г) в говяжьих бургерах во время хранения в холоде ($4 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$)

Table 3.
The effect of the addition of PC and peppermint extract on the group of coliform bacteria (CFU/g) in beef burgers during cold storage ($4 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$)

Обработка Treatment	Время хранения (дни) КОЕ/г Storage time (days)					
	0	6	12	18	24	28
Контроль Control	6×10^2 Ac	8×10^2 Ab	$1,1 \times 10^3$ Ab	8×10^3 Bcd	$4,1 \times 10^4$ Ce	8×10^5 Dh
ВНТ	2×10^3 Ade	$6,8 \times 10^3$ Bd	9×10^3 Bc	3×10^4 Cc	4×10^4 Cc	9×10^4 Dg
ВМ 0,2	$1,6 \times 10^3$ Ad	$8,1 \times 10^3$ Bd	9×10^3 Bc	1×10^4 Bcd	2×10^4 Cbc	9×10^4 Dg
ВМ 0,5	$1,2 \times 10^3$ Ad	$1,7 \times 10^3$ Abc	$3,6 \times 10^3$ Bc	4×10^3 Bc	7×10^3 Cbc	6×10^4 Dfg
ВМ 1,0	$1,3 \times 10^2$ Aa	2×10^2 Aa	$2,4 \times 10^2$ Aa	4×10^2 Bbc	$1,1 \times 10^3$ BC	$3,6 \times 10^4$ Def

Примечание: Каждое указанное значение представляет собой среднее значение \pm SD для трех повторов. Значения в одном столбце, за которыми следуют разные буквы, значительно отличаются ($p < 0,05$).

Note: Each specified value represents the average \pm SD value for three repetitions. The values in the same column, followed by different letters, differ significantly ($p < 0,05$).

В таблице 4 представлены данные о количестве дрожжей и плесневых грибов при обработке с различными концентрациями в сравнении с отрицательным и положительным контролем в течение месяца хранения в холодильнике ($4 \text{ }^\circ\text{C}$). Снижающие количество дрожжей и плесневых грибов по сравнению с отрицательным контролем, особенно при обработке ВМ 0,2 и ВМ 0,5, при которых конечное количество дрожжей и плесневых грибов было сопоставимо с обработкой ВНТ (1×10^5 , 8×10^5 и 9×10^4 соответственно), независимо от их первоначального количества.

Таблица 4.
Влияние добавления ВНТ и экстракта перечной мяты на общее количество дрожжей и плесени (КОЕ/г) в говяжьем бургере при хранении в холодильнике ($4 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$)

Table 4.
Effect of the addition of ВНТ and peppermint extract on the total amount of yeast and mold (CFU/g) in a beef burger when stored in the refrigerator ($4 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$)

Обработка Treatment	Время хранения (дни) КОЕ/г Storage time (days)					
	0	6	12	18	24	28
Контроль Control	2×10^3 Aab	1×10^4 Bc	$1,3 \times 10^4$ Bb	5×10^5 Ce	7×10^5 Cd	9×10^5 Ccd
ВНТ	1×10^3 Aa	5×10^3 Babc	1×10^4 Bb	5×10^4 Cd	10×10^4 Cc	1×10^5 Ca
ВМ 0,2	$5,2 \times 10^3$ Acd	$6,6 \times 10^3$ Abc	1×10^4 Ab	1×10^4 Ab	5×10^4 Bbc	1×10^5 Ba
ВМ 0,5	$2,3 \times 10^3$ Aab	3×10^3 Aa	3×10^3 Aa	4×10^3 Aa	5×10^4 Bbc	9×10^4 Ba
ВМ 1,0	$1,3 \times 10^3$ Aab	$9,4 \times 10^3$ Bc	1×10^4 Bb	2×10^4 Bc	3×10^4 Cab	8×10^4 Da

Примечание: каждое указанное значение представляет собой среднее значение \pm SD для трех повторов. Значения в одном столбце, за которыми следуют разные буквы, значительно отличаются ($p < 0,05$).

Note: each specified value represents the average \pm SD value for three repetitions. The values in the same column, followed by different letters, differ significantly

Сохранение органолептической стабильности до 15 дней совместимо с ВНТ, хотя срок годности обоих препаратов с микробиологической точки зрения ограничен 10 днями.

Результаты демонстрируют эффективность экстрактов гвоздики и розмарина в подавлении роста микроорганизмов, которые сообщили, [17].

Экстракты чамнамула и фатсии добавлялись к сырым говяжьим котлетам, концентрации двух экстрактов были одинаковыми. Добавка к мясным продуктам была определена в ходе предварительного тестирования. Природные антиоксиданты из чамнамула и фатсии, по-видимому, снижают конечную микробиологическую нагрузку, сообщили [18].

Экстракт плодов *N. retusa*, по-видимому, подавляет рост микробов в качестве натурального консерванта в говяжьих котлетах, хранящихся при температуре $4 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 9 дней в холодильнике, сообщили [19].

Органолептические показатели обработанных котлет для бургеров и контрольных образцов с говядиной, обработанные экстрактом перечной мяты или без экстракта (ОК и ПК), получили значительно ($p > 0,05$) более высокие оценки за внешний вид, вкусовые качества по сравнению с рецептурами цвета и аромата после обработки. Во время хранения показатели вкуса и цвета при всех видах обработки существенно не изменились, однако, более того, котлеты для бургеров из образца рецептур получили значительно ($p > 0,05$) более высокие оценки общей приемлемости после обработки. Показатели органолептической оценки нежности во всех обработанных образцах хорошо согласуются с полученными значениями усилия сдвига.

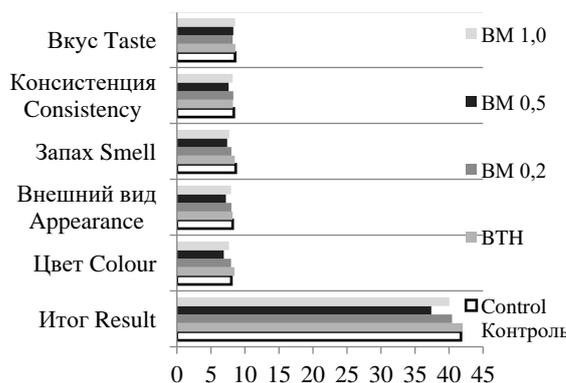


Рисунок 5. Органолептическая оценка бургерных котлет обработанных растительным экстрактом перечной мяты в разных концентрациях и контроля

Заключение

Водный экстракт перечной мяты было изучено его фенольные соединения, антиоксиданты, антимикробная в предыдущей публикации. В настоящей работе изучает применение экстракта перечной мяты в качестве натурального консерванта для продления срока годности полуфабриката.

Применение экстракта перечной мяты, показывает, защищает липиды и белки от окисления, впоследствии защищает питательные вещества полуфабриката. Кроме того, экстракт перечной мяты TBARS показывает, что защищает от окисления липидов по сравнению рН.

В концентрации 0,5 и 1,0% показывает высокую защиту окисления липидов лучше, чем ВНТ синтетический консервант, и продлевает срок годности при охлажденном хранении $4\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 1$, в концентрации 0,5% защищает от окисления липидов и белков. В концентрации 0,5% и 1,0% лучше, чем синтетические, так как прекращают рост, либо размножение *E. coli* бактерий. Добавление натурального консерванта, по оценкам потребителей не сильное влияние на органолептические показатели.

Перспективным источником в качестве антиоксиданта можно использовать экстракт перечной мяты в качестве натурального консерванта вместо синтетического.

Литература

- 1 Коваленко Н.А., Супиченко Г.Н., Ахрамович Т.И., Феськова Е.В. и др. Биологическая активность экстрактов мяты перечной. Минск, 2023.
- 2 Babuskin S., Babu P.A.S., Sasikala M., Sabina K. et al. Antimicrobial and antioxidant effects of spice extracts on the shelf life extension of raw chicken meat // International journal of food microbiology. 2014. V. 171. P. 32-40.
- 3 Augustyniak E., Adam A., Wojdyla K., Rogowska-Wrzesinska A. et al. Validation of protein carbonyl measurement: a multi-centre study // Redox biology. 2015. V. 4. P. 149-157.
- 4 Hawkins C.L., Davies M.J. Detection, identification, and quantification of oxidative protein modifications // Journal of Biological Chemistry. 2019. V. 294. №. 51. P. 19683-19708.
- 5 Rogowska-Wrzesinska A. et al. Analysis of protein carbonylation – pitfalls and promise in commonly used methods // Free radical research. 2014. V. 48. №. 10. P. 1145-1162.
- 6 Al-Baidhani A.M.S., Al-Mossawi A.E.B.H.J. Chemical indicators of ostrich *struthio camelus* linnaeus, 1758 meat burger prepared by adding different fat levels during frozen storage // Basrah Journal of Agricultural Sciences. 2019. V. 32. №. 2. P. 16-22.
- 7 Mehri M., Sabaghi V., Bagherzadeh-Kasmani F. Menthapiperita (peppermint) in growing Japanese quails diet: Serum biochemistry, meat quality, humoral immunity // Animal Feed Science and Technology. 2015. V. 206. P. 57–66.
- 8 Hoffman L.C., Pretorius K., Gouws P.A., Marais J. et al. Muscle yields and physical meat quality characteristics of hot-vs. cold-deboned ostrich (*Struthio camelus*) meat // Meat Science. 2022. V. 187. P. 108770.
- 9 Scala K.D., Vega-Gálvez A., Ah-Hen K., Nuñez-Mancilla Y. et al. Chemical and physical properties of aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel stored after high hydrostatic pressure processing // Ciência e Tecnologia de Alimentos. 2013. V. 33. №. 1. P. 52–59.
- 10 Jia N., Kong B., Liu Q., Diao X. et al. Antioxidant activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) extract and its inhibitory effect on lipid and protein oxidation of pork patties during storage // Meat Science. 2012. V. 91. P. 533–539.
- 11 Zhang H., Wu J., Guo X. Effects of antimicrobial and antioxidant activities of spice extracts on raw chicken meat quality // Food Science and Human Wellness. 2016. V. 5. P. 39–48
- 12 Cock I.E. Antimicrobial activity of *Aloe barbadensis* miller leaf gel components // Internet Journal of Microbiology. 2008. V. 4. №. 2.
- 13 Food and Agriculture Organization (FAO) (2011). Global food losses and food waste. URL: www.fao.org/docrep
- 14 Badr H.M., Karema A.M. Antioxidant activity of carrot juice in gamma irradiated beef sausage during refrigerated and frozen storage // Food Chem. 2011. V. 127. P. 1119–1130.
- 15 Ahn J., Grun I.U., Mustapha A. Effects of plant extracts on microbial growth, color change, and lipid oxidation in cooked beef // Food Microbiology. 2007. V. 24. P. 7–14.
- 16 Vaithyanathan S., Naveena B.M., Muthukumar M., Girish P.S. et al. Effect of methyl gallate on physicochemical qualities of spent hen meat patties // J. of Food Sci. and Technol. 2009. V. 46. P. 577–580.
- 17 Fernandes R.P.P., Trindade M.A., Lorenzo J.M., Munekata P.E.S. et al. Effects of oregano extract on oxidative, microbiological and sensory stability of sheep burgers packed in modified atmosphere // Food Control. 2016. V. 63. P. 65–75.
- 18 Zhang H., Wu J., Guo X. Effects of antimicrobial and antioxidant activities of spice extracts on raw chicken meat quality // Food Science and Human Wellness. 2016. V. 5. P. 39–48.
- 19 Kim S-J, Min S-C., Shin H-J, Lee Y-J. et al. Evaluation of the antioxidant activities and nutritional properties of ten edible plant extracts and their application to fresh ground beef // Meat Science. 2013. V. 93. P. 715–722.
- 20 Radha K., Babuskin S., Azhagu S.B.P., Sasikala M. et al. Antimicrobial and antioxidant effects of spice extracts on the shelf-life extension of raw chicken meat // International J. Food Microbiol. 2014. V. 171. P. 32–40.

References

- 1 Kovalenko N.A., Supichenko G.N., Akhramovich T.I., Feskova E.V. et al. Biological activity of peppermint extracts. Minsk, 2023. (in Russian).
- 2 Babuskin S., Babu P.A.S., Sasikala M., Sabina K. et al. Antimicrobial and antioxidant effects of spice extracts on the shelf life extension of raw chicken meat. International journal of food microbiology. 2014. vol. 171. pp. 32-40.
- 3 Augustyniak E., Adam A., Wojdyla K., Rogowska-Wrzesinska A. et al. Validation of protein carbonyl measurement: a multi-centre study. Redox biology. 2015. vol. 4. pp. 149-157.

- 4 Hawkins C.L., Davies M.J. Detection, identification, and quantification of oxidative protein modifications. *Journal of Biological Chemistry*. 2019. vol. 294. no. 51. pp. 19683-19708.
- 5 Rogowska-Wrzesinska A. et al. Analysis of protein carbonylation – pitfalls and promise in commonly used methods. *Free radical research*. 2014. vol. 48. no. 10. pp. 1145-1162.
- 6 Al-Baidhani A.M.S., Al-Mossawi A.E.B.H.J. Chemical indicators of ostrich struthio camelus linnaeus, 1758 meat burger prepared by adding different fat levels during frozen storage. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*. 2019. vol. 32. no. 2. pp. 16-22.
- 7 Mehri M., Sabaghi V., Bagherzadeh-Kasmani F. Menthapiperita (peppermint) in growing Japanese quails diet: Serum biochemistry, meat quality, humoral immunity. *Animal Feed Science and Technology*. 2015. vol. 206. pp. 57–66.
- 8 Hoffman L.C., Pretorius K., Gouws P.A., Marais J. et al. Muscle yields and physical meat quality characteristics of hot-vs. cold-deboned ostrich (*Struthio camelus*) meat. *Meat Science*. 2022. vol. 187. pp. 108770.
- 9 Scala K.D., Vega-Gálvez A., Ah-Hen K., Nuñez-Mancilla Y. et al. Chemical and physical properties of aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel stored after high hydrostatic pressure processing. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2013. vol. 33. no. 1. pp. 52–59.
- 10 Jia N., Kong B., Liu Q., Diao X. et al. Antioxidant activity of black currant (*Ribes nigrum* L.) extract and its inhibitory effect on lipid and protein oxidation of pork patties during storage. *Meat Science*. 2012. vol. 91. pp. 533–539.
- 11 Zhang H., Wu J., Guo X. Effects of antimicrobial and antioxidant activities of spice extracts on raw chicken meat quality. *Food Science and Human Wellness*. 2016. vol. 5. pp. 39–48
- 12 Cock I.E. Antimicrobial activity of *Aloe barbadensis* miller leaf gel components. *Internet Journal of Microbiology*. 2008. vol. 4. no. 2.
- 13 Food and Agriculture Organization (FAO) (2011). Global food losses and food waste. Available at: www.fao.org/docrep
- 14 Badr H.M., Karema A.M. Antioxidant activity of carrot juice in gamma irradiated beef sausage during refrigerated and frozen storage. *Food Chem*. 2011. vol. 127. pp. 1119–1130.
- 15 Ahn J., Grun I.U., Mustapha A. Effects of plant extracts on microbial growth, color change, and lipid oxidation in cooked beef. *Food Microbiology*. 2007. vol. 24. pp. 7–14.
- 16 Vaithyanathan S., Naveena B.M., Muthukumar M., Girish P.S. et al. Effect of methyl gallate on physicochemical qualities of spent hen meat patties. *J. of Food Sci. and Technol*. 2009. vol. 46. pp. 577–580.
- 17 Fernandes R.P.P., Trindade M.A., Lorenzo J.M., Muneke P.E.S. et al. Effects of oregano extract on oxidative, microbiological and sensory stability of sheep burgers packed in modified atmosphere. *Food Control*. 2016. vol. 63. pp. 65–75.
- 18 Zhang H., Wu J., Guo X. Effects of antimicrobial and antioxidant activities of spice extracts on raw chicken meat quality. *Food Science and Human Wellness*. 2016. vol. 5. pp. 39–48.
- 19 Kim S-J, Min S-C., Shin H-J, Lee Y-J. et al. Evaluation of the antioxidant activities and nutritional properties of ten edible plant extracts and their application to fresh ground beef. *Meat Science*. 2013. vol. 93. pp. 715–722.
- 20 Radha K., Babuskin S., Azhagu S.B.P., Sasikala M. et al. Antimicrobial and antioxidant effects of spice extracts on the shelf-life extension of raw chicken meat. *International J. Food Microbiol*. 2014. vol. 171. pp. 32–40.

Сведения об авторах

Собхи А.А. Аль-Сухайми к.б.н., профессор, кафедра технологии продуктов общественного питания, Южно-уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, alsukhaimisa@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1657-5162>

Зилолахон А. Оленева ст. преподаватель, кафедра технологии продуктов общественного питания, Южно-уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, olenevaza@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8517-2888>

Абдували Д. Тошев д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов общественного питания, Южно-уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, toshevad@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8620-2065>

Диана Тазеддинова научный сотрудник, кафедра технологии продуктов общественного питания, Южно-уральский государственный университет, пр-т Ленина, 76, г. Челябинск, 454080, Россия, tazeddinovad@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8052-0692>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Sobhy A.A. El-Suhaimy Cand. Sci. (Biol.), professor, food technology department, South Ural State University, 76 Lenin Avenue, Chelyabinsk 454080, Russia, alsukhaimisa@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1657-5162>

Zilolakhon A. Oleneva senior lecturer, food technology department, South Ural State University, 76 Lenin Avenue, Chelyabinsk 454080, Russia, olenevaza@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8517-2888>

Abduvali D. Toshev Dr. Sci. (Engin.), professor, food technology department, South Ural State University, 76 Lenin Avenue, Chelyabinsk 454080, Russia, toshevad@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8620-2065>

Diana Tazeddinova resercher, food technology department, South Ural State University, 76 Lenin Avenue, Chelyabinsk 454080, Russia, tazeddinovad@susu.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8052-0692>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 12/03/2024	После редакции 03/04/2024	Принята в печать 24/04/2024
Received 12/03/2024	Accepted in revised 03/04/2024	Accepted 24/04/2024

Сравнение технологических характеристик гибридного потомства *Clarias gariepinus* с родительскими особями

Анастасия А. Климук	1	klimukanastasia27@gmail.com	 0000-0002-1852-1045
Ольга Д. Сергазиева	1	ahiles-7575@mail.ru	 0000-0002-2122-1318
Андрей К. Пономарев	1	ponomarev77777777@gmail.com	 0009-0004-8944-4931
Сергей В. Бекетов	1	svbeketov@gmail.com	 0000-0001-7947-8688
Андрей Д. Ларкин	1	mr.somic.nax@ya.ru	 0009-0007-5464-517X
Ангелина П. Минаенко	1	lina111299@mail.ru	 0000-0001-7346-5376

¹ Московский государственный университет технологий и управления им К. Г. Разумовского (ПКУ), Земляной Вал, 73, Москва, 109004, Россия

Аннотация. Африканский сом популярен у отечественных рыбоводов за счет высокого выхода качественной товарной продукции и несъедобных частей рыбы, пригодных к переработке. В работе представлена сравнительная характеристика массового состава частей при разделке и морфометрических данных гибридного потомства африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* с родительскими линиями – породами михайловская и таманская, выращенных до товарной массы в условиях УЗВ. Также было проведено гистологическое сравнение мускулатурных тканей рыб опытных групп. Результаты гистологического анализа тканей позволили выявить существенное отличие площади мышечных волокон у самок (на 27,1%) по сравнению с самцами *Clarias gariepinus*. Показано, что гибридное потомство обладает повышенной скоростью роста (достижение товарной массы 1200 г за 10 мес. выращивания) по сравнению с родительскими линиями (масса 1100 г за 15 мес. выращивания). Выявлено, что гибридные самки значительно упитаннее по сравнению с михайловскими и таманскими особями. При сравнении технологических показателей рыб не было выявлено существенных отличий между группами на этапе переработки. Для дальнейшей интенсификации тепловодной аквакультуры России перспективным решением является межпородная гибридизация африканских сомов. Проведенные исследования показали, что гибридное потомство значительно превосходит родительские линии в скорости роста, при этом не уступая как в массе, длине, так и в выходе съедобной части рыбы (тушка, филе и др.). Поэтому, перспективным направлением в аквакультуре и переработке африканских сомов является межпородная гибридизация, показывающая успешные результаты.

Ключевые слова: африканский сом, выход филе, морфометрия, гибриды, технологические характеристики.

Comparison of technological characteristics of *Clarias gariepinus* hybrid progress with the parental individuals

Anastasia A. Klimuk	1	klimukanastasia27@gmail.com	 0000-0002-1852-1045
Olga D. Sergazieva	1	ahiles-7575@mail.ru	 0000-0002-2122-1318
Andrey K. Ponomarev	1	ponomarev77777777@gmail.com	 0009-0004-8944-4931
Sergey V. Beketov	1	svbeketov@gmail.com	 0000-0001-7947-8688
Andrey D. Larkin	1	mr.somic.nax@ya.ru	 0009-0007-5464-517X
Angelina P. Minaenko	1	lina111299@mail.ru	 0000-0001-7346-5376

¹ Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (PKU), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia

Abstract. African catfish is popular among domestic fish farmers due to the high yield of high-quality commercial products and inedible parts of the fish suitable for processing. The paper presents a comparative characteristic of the mass composition of parts during cutting and morphometric data of the hybrid offspring of the African clariid catfish *Clarias gariepinus* with parental lines - Mikhailovskaya and Tamanskaya breeds, grown to marketable weight in RAS conditions. A histological comparison of muscle tissues of fish in the experimental groups was also carried out. The results of the histological analysis of the tissues revealed a significant difference in the area of muscle fibers in females (by 27.1%) compared to males *Clarias gariepinus*. It is shown that the hybrid offspring have an increased growth rate (achieving a marketable weight of 1200 g in 10 months of cultivation) compared to the parental lines (weight 1100 g in 15 months of cultivation). It was found that hybrid females are significantly fatter compared to Mikhailovsky and Taman individuals. When comparing the technological indicators of fish, no significant differences were found between the groups at the processing stage. For further intensification of warm-water aquaculture in Russia, interbreeding hybridization of African catfish is a promising solution. The studies have shown that hybrid offspring significantly exceed parental lines in growth rate, while not inferior in weight, length, or in the yield of edible parts of the fish (carcass, fillet, etc.). Therefore, interbreeding hybridization, which shows successful results, is a promising direction in aquaculture and processing of African catfish.

Keywords: african catfish, fillet yield, morphometry, hybrids, technological characteristics.

Для цитирования

Климук А.А., Сергазиева О.Д., Пономарев А.К., Бекетов С.В., Ларкин А.Д., Минаенко А.П. Сравнение технологических характеристик гибридного потомства *Clarias gariepinus* с родительскими особями // Вестник ВГУИТ. 2023. Т. 86. № 2. С. 199–206. doi:10.20914/2310-1202-2023-2-199-206

For citation

Klimuk A.A., Sergazieva O.D., Ponomarev A.K., Beketov S.V., Larkin A.D., Minaenko A.P. Comparison of technological characteristics of *Clarias gariepinus* hybrid progress with the parental individuals. Vestnik VGUI [Proceedings of VSUET]. 2023. vol. 86. no. 2. pp. 199–206. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-2-199-206

Введение

Африканский клариевый сом (*Clarias gariepinus*) за последние годы набирает популярность в системе отечественной пресноводной аквакультуры за счет высокой рыбопродуктивности (25–40 ц/га) [1]. Немаловажным качеством клариевого сома также является его неприхотливость к условиям содержания, что позволяет культивировать сома при высокой плотности посадки (до 200–350 кг м⁻³) в системах установок замкнутого водоснабжения по всей территории России. Заинтересованность рыбоводов к новому объекту выращивания также продиктовано высокой питательной ценностью филейного мяса *C. gariepinus*, содержание белков и жиров в котором составляет 18 и 3,45% от сырого веса соответственно [2]. Основными жирными кислотами в мышцах клариевых сомов являются пальмитиновая (> 23%) и олеиновая (> 28%) [3]. Также мясо африканского сома богато макро- (N > Ca > P > K > S > Na > Mg) и микроэлементами (Fe > Zn > Mn > Cu > Cr > Se > Mo > Co) [4].

В аквакультуре успешно развивается направление гибридизации с целью выведения новых пород и гибридных форм с усовершенствованными показателями. Данное направление решает несколько задач. Во-первых, получают новый гибрид потомства, который сочетает в себе высокую жизнестойкость, хороший темп роста, а во-вторых, это возможность получить товарную продукцию с улучшенными размерно-массовыми характеристиками (выход филе, тушки, порки и пр.). Для обеспечения стабильного выхода товарной рыбной продукции необходимо получить гибриды, превосходящих родительскую линию по ряду технологических параметров [5].

В «Центре Аквакультуры» МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ) было получено межпородное гибридное потомство клариевого сома (*Clarias gariepinus*) от пород михайловская (пат. № 9064) и таманская (пат. № 10639) [6]. Породы, используемые в селекционно-племенной работе, соответствовали искомым критериям: михайловская характеризуется наибольшим выходом товарной продукции для переработки [7], таманская отличается высокой жизнестойкостью и устойчивостью к нехарактерным термальным режимам выращивания.

Анализ экстерьерных и технологических показателей рыб проводятся для подтверждения селекционных достижений, для регистрации новых видов, выявления полезных признаков на этапе гибридизации [8]. При оценке технологических характеристик рыбы на этапе переработки, основное внимание обычно уделяется

процентному соотношению выхода съедобных и несъедобных частей, при этом немаловажными параметрами для оценки является гистоморфологическая структура мышц, изучение которой позволит выявить количественные параметры белой мускулатуры, а именно величину плотности мышечных волокон и их диаметр, для определения степени качества рыбного мяса [9].

Цель работы – сравнение ряда технологических параметров гибрида африканского сома (михайловская ♀×♂ таманская) с родительскими линиями.

Материалы и методы

Получение гибридного потомства. Производители клариевого сома *Clarias gariepinus* породных групп михайловская (пат. № 9064) и таманская (пат. № 10639) массой от 900 до 3200 г. были отобраны из маточных стад в соответствующих рыбоводных хозяйствах. Методические подходы по подготовке родительских особей к нересту, а также выращивание личинок и молоди были описаны нами ранее и представлены в работе [6].

Содержание рыб в УЗВ. Исследования проводились на гибридном потомстве африканского клариевого сома (михайловская ♀×♂ таманская; возраст 10 мес. (группа «Гибриды») и родительских линий пород михайловская (возраст 1,5 года (группа «Михайловская») и таманская (возраст 1,5 года (группа «Таманская»). Соотношение самок и самцов в группах составляло 50:50%. Рыб содержали в изолированных рыбоводных бассейнах УЗВ 140×110×90 см (1 м³) в «Центре Аквакультуры» МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ). Гидрохимические параметры водной среды во время содержания контролировались ежедневно и составили в среднем: pH 7,0–7,5, t = 26–28 °C, L:D 12:12, растворенный кислород – 5,16 мг/л, нитриты – 13,6 мг/л, нитраты – 0,017 мг/л, фосфаты – 0,38 мг/л, железо общее – 0,03 мг/л. Плотность посадки в рыбоводных бассейнах каждой опытной группы составляла 0,05 кг/м³ (50 особей).

Кормление производилось в соответствии с нормативными таблицами с применением экструдированного комбикорма для сомов марки GROWER-13 EF (4,5 мм).

Измерение технологических параметров рыб. Сравнение технологических характеристик проводили на средней пробе (10% от общего количества рыб) из каждой опытной группы согласно ГОСТ 31339–2006 [10]. Проводили измерение массы и линейного роста особей и вычисляли рыбоводно-биологические показатели согласно общепринятым методам [11]. Выход съедобных и несъедобных частей определяли по ГОСТ 7631–2008.

Гистологическая структура мышечной ткани рыб. Для получения гистологических срезов из контрольной и опытной групп отбирали по 4 особи. Рыбу умерщвляли в растворе MS-222 (10 мг/л). производили отбор образцов мышечной ткани размером 5×5×10 мм из каждой особи. Ткань фиксировали в 4% растворе нейтрального формалина в течение 24 ч [13]. Затем образцы тканей обезвоживали в серии градуированных спиртов и заливали в парафин. Изготовление тотальных серийных срезов проводили на микротоме Minux S700A (4 мкм), которые затем окрашивали гематоксилином и эозином (H&E) в соответствии с методикой [14]. Гистологические препараты просматривали под световым микроскопом Olympus BX53 (Olympus Corporation, Япония) с цифровой камерой Carl Zeiss ERc 5s (Zeiss, Германия) и программным обеспечением ZEN lite (Zeiss, Германия). Для анализа полученных микрофотографий использовали программу ImageJ (National Institutes of Health, USA). Проводили измерение параметров мышечных волокон, а именно длину, ширину и площадь миомеров, и расстояние между ними (миосепты). Для каждого образца готовили и анализировали 3 предметных стекла (n = 24). На каждом предметном стекле измеряли не менее 150 мышечных волокон и 100 миосепт, руководствуясь методикой [5].

Статистическую обработку рыбоводно-биологических показателей и технологических параметров проводили с использованием двух непараметрических тестов: критерия Краскела–Уоллиса и post-hoc теста Данна. Обработку гистологических результатов осуществляли с использованием параметрического post-hoc теста Тьюки. Данные представлены в виде среднего значения ± стандартное отклонение. Все анализы были выполнены в программе

GraphPad Prism version 9.0 software (GraphPad, San Diego, CA, USA).

Результаты

По результатам измерения экстерьерных показателей сомов, абсолютная и промысловая длина рыб не имела существенных отличий между опытными группами. Пол рыб также не оказывал влияния на эти показатели. Средняя абсолютная длина клариевых сомов составила 63,7 см, промысловая – 55,5 см (таблица 1). После этапа разделки, длина тушки у самок михайловской породы составляла 43,5 см, сравнительно не отличаясь от длины тушек таманской породы, но достоверно выше показателей михайловских самцов 1,13 раз, и превосходила длину тушки гибридных самок и самцов в 1,18 и 1,14 раз соответственно (p < 0,05). Анализ морфометрических показателей рыб показал, что самки гибридного потомства отличаются упитанностью по отношению к гибридным самцам (согласно коэффициенту упитанности – на 6.5%) и значительно превосходит особей родительской линии: михайловских самок в 1,4, самцов в 1,6 раз, и таманских самок в 1,5, и самцов в 1,9 раз, соответственно. Толщина тела гибридных самок также незначительно отличается от толщины тела самцов этой группы на 15,2%. Аналогично результатам упитанности, самки гибридной группы значительно превосходят параметры толщины тела михайловской породы – в 1,08 и 1,2 раз и таманской – в 1,15 от самок и самцов соответственно (p < 0,05). Необходимо отметить, что гибридные самцы не имели достоверных отличий между группами по показателям толщины тела и коэффициента упитанности. Размерно-массовые параметры самок и самцов опытных групп представлены в таблице 2.

Таблица 1. Сравнение морфометрических показателей гибридной группы и родительских линий сомов

Table 1.

Comparison of morphometric parameters of the hybrid group and parental lines of catfish

Показатель Index	Гибриды Hybrids		Михайловская Mikhailovskaya		Таманская Tamanskaya	
	Самки Females	Самцы Male	Самки Females	Самцы Male	Самки Females	Самцы Male
Длина абсолютная, см Absolute length, cm	57,7±3,3	63,0±1,9	66,5±3,8	62,9±5,9	63,6±2,6	68,9±4,3
Длина промысловая, см Commercial length, cm	51,2±2,3	55,4±2,2	56,2±3,2	53,1±5,0	56,2±2,6	60,9±4,0
Длина тушки, см Carcass length, cm	36,8±1,5 ^b	38,0±5,3 ^b	43,5±2,5 ^a	38,4±5,2 ^b	37,0±2,1 ^{ab}	40,3±1,2 ^a
Высота тела, см Body height, cm	8,3±0,7	9,1±0,5	9,3±0,6	8,5±1,1	9,1±1,2	9,5±0,7
Толщина тела, см Body thickness, cm	28,8±0,4 ^a	25,0±2,3 ^{ab}	26,5±0,5 ^b	24,0±0,8 ^b	25,8±1,5 ^b	25,0±1,4 ^b
Коэффициент упитанности по Фултону Fulton's fatness factor	1,23±0,21 ^a	1,15±0,16 ^{ab}	0,89±0,12 ^b	0,77±0,17 ^b	0,84±0,17 ^b	0,63±0,08 ^b

Примечание. a, b – обозначение достоверного отличия между группами при p < 0,05 согласно post-hoc тесту Данна
Note: a, b – d designation of a reliable difference between groups at p < 0.05 according to Dunn's post-hoc test

Таблица 2. Результаты измерения технологических параметров самок и самцов опытных групп

Table 2. Results of measuring technological parameters of females and males of experimental groups

Опытная группа Experimental group	Масса рыбы, г Fish weight, g	Масса, г	Выход, %	Масса, г	Выход, %	Масса, г	Выход, %	Масса, г	Выход, %
		Weight, g	Yield, %	Weight, g	Yield, %	Weight, g	Yield, %	Weight, g	Yield, %
		Порка		Голова		Тушка		Филе	
Гибриды, самки Hybrids, females	1696,4 ±459,9	1043,6 ±211,6	63,0 ±12,7	376,7 ±82,9	23,0 ±4,2	700,0 ±212,0	41,0 ±8,5	448,0 ±95,0	27,0 ±6,3 ^a
Гибриды самцы Hybrids males	1945,2 ±260,7	1270,6 ±190,5	65,0 ±1,9	444,8 ±45,9	23,0 ±1,3	825,8 ±148,4	42,0 ±2,3	571,6 ±116,6	29,0 ±2,8 ^a
Михайловские самки Mikhailovskaya females	1914,2 ±395,9	1113,3 ±252,3	61,0 ±12,4	350,0 ±63,2	20,0 ±6,6	763,3 ±214,6	42,0 ±7,8	494,3 ±200,0	26,0 ±4,8 ^a
Михайловские самцы Mikhailovskie males	1440,0 ±71,2	750,0 ±57,7	52,0 ±1,6	300 ±70,7	21,0 ±4,1	450,0 ±40,8	31,0 ±3,1	230,0 ±48,9	16,0 ±3,2 ^b
Таманские самки Taman females	1492,0 ±319,3	1035,5 ±366,8	59,0 ±9,4	292,2 ±62,5	20,0 ±4,4	651,8 ±286,0	42,0 ±9,4	360,5 ±77,1	24,3 ±6,2 ^a
Таманские самцы Taman males	1454,6 ±333,7	1024,3 ±374,5	52,0 ±1,1	284,9 ±77,5	20,0 ±6,2	689,9 ±284,9	46,0 ±1,1	351,5 ±95,6	23,1 ±4,4 ^a

Примечание. a, b – обозначение достоверного отличия между группами при p < 0,05 согласно post-hoc тесту Данна
 Note: a, b – designation of a reliable difference between groups at p < 0.05 according to Dunn's post-hoc test

Согласно полученным технологическим данным, конечная масса самок и самцов в опытных группах за 10 мес. выращивания в УЗВ составила не менее 1100 г, но достоверных различий между опытными группами не наблюдалось. При этом стоит отметить, что возраст гибридного потомства был существенно меньше михайловской и таманской группы (на 5 мес.). Масса рыб после потрошения (порка) также не имела существенных отличий между опытными группами, но процентный выход у гибридных самцов был несколько выше, чем у михайловских и таманских самцов – на 13,0% при 65,0 и 52,0% соответственно. Полученная масса порки у гибридных, михайловских и таманских самок практически не имела отличий (выход% – 63; 61 и 59%, соответственно). Масса голов в группах гибридов и родительских линий не отличалась и состояла в среднем 370 г. Процентный выход тушки рыб у гибридного потомства был не менее 40% (от массы целой рыбы) у самок и самцов, что наблюдалось и в группе таманских особей и самок михайловской породы. При этом михайловские самцы имели заметно меньшую массу тушки (выход% – 31,0%). Конечный выход филе у самок гибридного потомства и михайловской породы не имел существенных различий (27,0 и 26,0% соответственно). То же наблюдалось и в конечном

выходе филе у таманской группы. При этом существенное различие наблюдалось в процентном выходе филе у гибридных самцов – в 1,8 раз выше (p < 0,05) по сравнению с самцами михайловской породы.

Качественный анализ филе показал, что структура мяса гибридных сомов и родительских линий обладают нормальной текстурой волокон, плотной консистенцией и цветом, характерным для данного вида. Полученное филе сомов без кожи представлено на рисунке 1.

Результаты гистоморфологических измерений мускулатурных тканей представлены в таблице 3. Мышечные волокна и миоцепты всех исследуемых групп характеризовались нормальной структурой без патологий (рисунок 2).

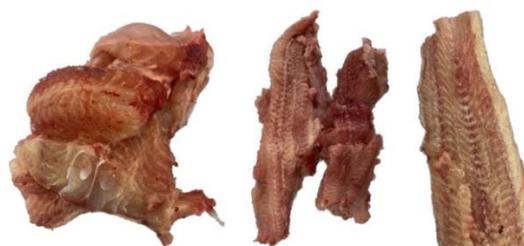


Рисунок 1. Внешний вид филе без кожи: (а) – гибриды; (б) – михайловская; (в) – таманская порода
 Figure 1. Appearance of skinless fillet: (a) – hybrids; (b) – Mikhailovskaya; (c) – Tamanskaya breed

Таблица 3. Результаты гистологического анализа мышц опытных групп африканского сома

Table 3. Results of histological analysis of muscles of experimental groups of African catfish

Опытные группы Experimental group	Параметры мышечной ткани, мкм Muscle tissue parameters, μm			
	Длина Length	Ширина Width	Площадь Area	Ширина миоцепты Width of myosepta
Гибриды, самки Hybrids, females	70,8 ± 19,7	42,7 ± 13,8	2469,7 ± 192,7 ^b	7,64 ± 3,12
Гибриды самцы Hybrids males	50,4 ± 22,6	30,4 ± 5,5	1528,5 ± 100,4 ^c	6,23 ± 3,2
Михайловские самки Mikhailovskaya females	75,2 ± 8,4	46,7 ± 6,4	2759,0 ± 361,9 ^b	9,83 ± 4,5
Михайловские самцы Mikhailovskie males	59,1 ± 20,1	34,9 ± 10,8	1446,0 ± 112,7 ^c	8,82 ± 4,75
Таманские самки Taman females	74,1 ± 23,8	54,3 ± 29,7	3866,2 ± 220,0 ^a	7,07 ± 4,8
Таманские самцы Taman males	51,1 ± 16,0	35,2 ± 13,7	2127,6 ± 151,0 ^c	8,64 ± 4,5

Примечание. a, b, c – обозначение достоверного отличия между группами при p < 0,05 согласно post-hoc тесту Тьюки
 Note: a, b, c – designation of significant difference between groups at p < 0.05 according to Tukey's post-hoc test

Волокна располагались равномерно, плотными параллельными пучками с поперечными прослойками соединительной ткани. Микрометрический анализ показал, что площадь мышечных волокон была достоверно больше у самок во всех опытных группах по сравнению с самцами. При этом площадь поперечного сечения миомеров гибридных и михайловских самок достоверных различий не имела, но у самок таманской группы отличалась от них в 1,5 раза. В целом, мышечные волокна самок сомов обладали на 27,1% большей площадью поперечного сечения. Достоверных отличий ширины соединительной ткани (миосепты) между группами выявлено не было.

Обсуждение

На этапах интенсификации производства рыбной продукции, а именно при постоянстве скрещивания ремонтных особей чистых линий, полезные характеристики в полученном потомстве могут утрачиваться, что проявляется в возникновении инбредной депрессии. Для предотвращения негативных последствий инбридинга,

необходимо получение помесных форм от разных стад-репродукторов и проведение межпомесных скрещиваний.

Хорошо известно, что африканский сом популярен у отечественных рыбоводов за счет высокого выхода качественной товарной продукции (в т. ч. филе с высоким содержанием белка и моно- и полинасыщенных жирных кислот) и несъедобных частей рыбы, пригодных к переработке. По результатам полученных морфометрических данных, гибридный клариевый сом за непродолжительный срок выращивания достиг массы родительских особей – михайловской и таманской. Неравномерный рост рыб прослеживался у самок михайловской и самцов таманской породы, что сопровождалось увеличением длины непропорционально их массе, что подтверждается и результатами коэффициента упитанности (0,89 и 0,63, соответственно). С другой стороны, равномерный рост наблюдался у самок гибридной группы, в которой было сохранено равенство размеров рыб, следовательно их длина и масса были пропорциональны – коэффициент упитанности 1,23 [15].

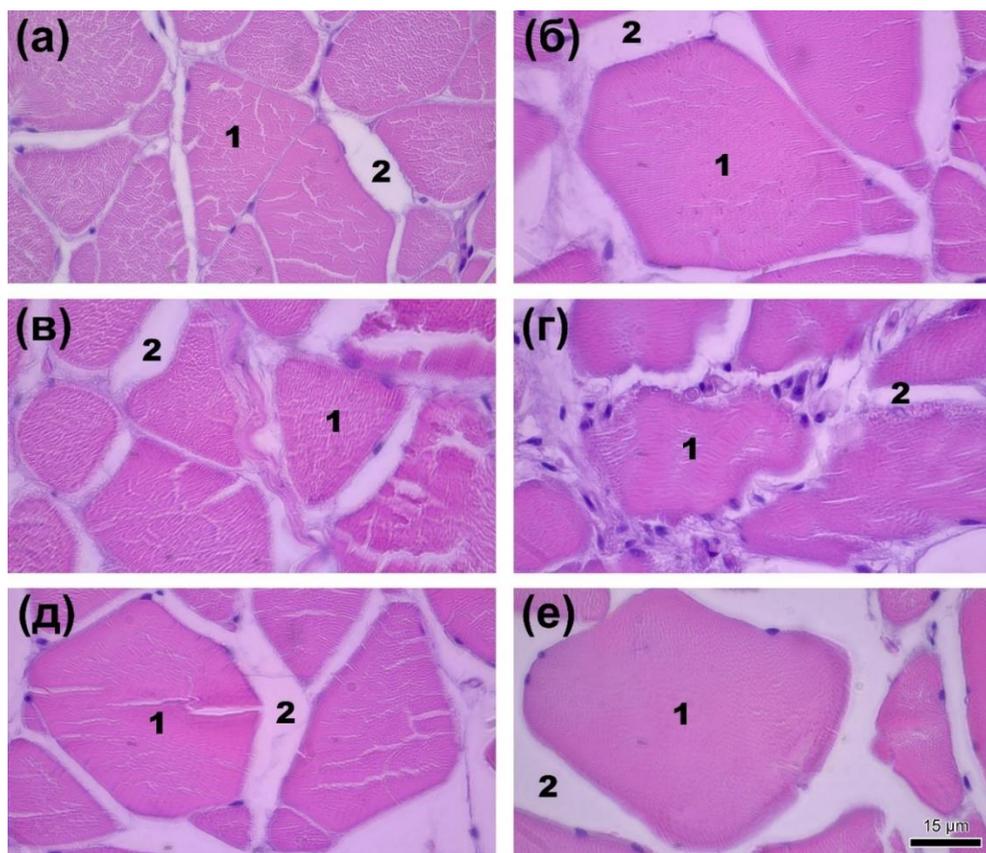


Рисунок 2. Гистологическая структура мышечной ткани сомов: 1 – миомеры, 2 – миосепты; а – самцы группы гибриды, б – самки группы гибриды; в-самцы михайловской породы, г – самки михайловской породы; д – самцы таманской породы, е – самки таманской породы. Масштаб 15 мкм., (ув.×100)

Figure 2. Histological structure of muscle tissue of catfish: 1 – myomeres, 2 – myosepta; a – males of the hybrid group, b – females of the hybrid group; c – males of the Mikhailovskaya breed, g – females of the Mikhailovskaya breed; d – males of the Taman breed, e – females of the Taman breed. Scale 15 μm , ($\times 100$ mag)

Соотношение длины и массы является показателем упитанности и общего благополучия рыб в различных экосистемах (Икаре, Solomon 2018; Okomoda et al. 2018). Хорошо известно, что соотношение длины и массы различается у рыб одного и того же вида, поскольку на него влияют пол, время года, фазы роста, содержимое желудка, развитие гонад, состояние здоровья и т. д. [15].

Исследование показало, что изучаемые группы рыб достоверно не различались по конечной массе тела, тушки и филе, за исключением михайловских самцов, у которых процентный выход филе был достоверно ниже. По данным работы [16], конечный выход филе у *C. gariepinus* имеет высокую положительную и корреляцию с биометрическими переменными (масса и длина рыб), что означает постоянство процентного выхода филе вне зависимости от их возраста. Исходя из этого, полученные нами гибриды сомов характеризовались идентичным выходом съедобных частей за сокращенный период выращивания в сравнении с родительскими линиями, что значительно снижает затраты на содержание сомов в условиях УЗВ.

Анализ гистологических параметров мышц позволил выявить некоторые различия между мускулатурными волокнами самок и самцов *C. gariepinus*. Так, увеличенной площадью поперечного сечения характеризуются все исследованные самки, вне зависимости от породы. Это подтверждается и результатами [5], где площадь мышечных волокон самок на 23% превосходили площадь поперечного сечения волокон у самцов *Clarias gariepinus*. Известно, что чем меньше размер мышечных волокон, тем тверже мышечная структура, следовательно, текстура мяса самцов обладает более твердой консистенцией, в отличие от самок. Поэтому, для получения нежного рыбного филе можно рекомендовать использовать для переработки самок африканских сомов. В целом, гистоморфометрическое исследование не выявило патологий в мышечных тканях как гибридов, так и у михайловской и таманской породы.

Заключение

Гибридное потомство (михайловская ♀×♂ таманская) обладает высокой скоростью роста – за 10 месяцев выращивания особи достигли массы не менее 1200 г, по сравнению с михайловской и таманской группами, в которых сомы достигли средней массы 1100 г за период 15 мес. Гибридные самки превосходят самок и самцов михайловской и таманской групп по морфометрическим показателям: по коэффициенту упитанности в 1,4–1,9 раз и по толщине тела в 1,08–1,2 раза. Конечный выход порки, головы, тушки и филе у таманских, михайловских самок и гибридных рыб не имели существенных отличий. Самцы михайловской породы характеризовались достоверно меньшим выходом филе. Результаты гистологического анализа тканей позволили выявить существенное отличие площади мышечных волокон у самок (на 27,1%) по сравнению с самцами *Clarias gariepinus*. Проведенные исследования показали, что гибридное потомство значительно превосходит родительские линии в скорости роста, при этом не уступая как в массе, длине, так и в выходе съедобной части рыбы (тушка, филе и др.). Поэтому, перспективным направлением в аквакультуре и переработке африканских сомов является межпородная гибридизация, показывающая успешные результаты.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение о предоставлении из федерального бюджета субсидии на развитие кооперации российской образовательной организации высшего образования и организации реального сектора экономики в целях реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства № 075-11-2022-004 от 6 апреля 2022 г.).

Литература

- 1 Власов В.А., Завьялов А.П., Есавкин Ю.И. Воспроизводство и выращивание клариевого сома (*Clarias gariepinus*) в установках с замкнутым водообеспечением (УЗВ) // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2012. № 7. С. 26.
- 2 Gebremichael A., Szabó A., Sándor Z.J., Nagy Z. et al. Chemical and physical properties of African Catfish (*Clarias gariepinus*) fillet following prolonged feeding with insect meal-based diets // Aquaculture Nutrition. 2023. V. 2023.
- 3 Hoffman L.C., Prinsloo J.F., Theron J., Casey N.H. A chemical comparison between the golden and normal coloured strains of the African sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) // Journal of Applied Ichthyology. 1995. № 11(1-2). P. 71–85.
- 4 Strauch S.M., Wenzel L.C., Bischoff A., Dellwig O. et al. Commercial African Catfish (*Clarias gariepinus*) Recirculating Aquaculture Systems: Assessment of Element and Energy Pathways with Special Focus on the Phosphorus Cycle // Sustainability. 2018. № 10. P. 1805.
- 5 Sobczak M., Panicz R., Sadowski J., Pólgešek M. et al. Does Production of *Clarias gariepinus* × *Heterobranchius longifilis* Hybrids Influence Quality Attributes of Fillets? // Foods. 2022. V. 11. № 14. P. 2074.
- 6 Климук А.А., Пономарев А.К., Калита Т.Л., Никифоров-Никишин А.Л. Опыт выращивания гибридов первого поколения африканского клариевого сома (*Clarias gariepinus*) при пониженных температурных режимах // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2024. № 1. С. 20–28.

- 7 Филенко В.А., Пономарев А.К., Горматин В.И., Овчинникова Т.М. Морфологические признаки африканского клариевого сома *Clarias gariepinus* (Burchell) породы «Михайловская» // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2022. №. 3. С. 53–72.
- 8 Катаонов В.Я., Черфас Н.Б. Селекция и племенное дело в рыбоводстве. М.: Агропромиздат, 1986. Т. 182.
- 9 Золотова А.В., Панов В.П., Есавкин Ю.И., Просекова Е.А. Рост и анатомо-гистологическая характеристика осевой мускулатуры африканского сома *Clarias gariepinus* (Burchell) // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. №. 5. С. 81–93.
- 10 ГОСТ 31339–2006. Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приёмки и методы отбора проб. М.: Стандартинформ, 2007. 16 с.
- 11 Купинский С.Б. Продуктивные возможности объектов аквакультуры. Астрахань: Изд-во ДФ ФГОУ ВПО "АГТУ", 2007.
- 12 ГОСТ 7631–2008. Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. М.: Стандартинформ, 2010. 24 с.
- 13 Gramm S.Y., Beketov S.V., Kochetkov N.I., Klimov V.A. Histological changes in the liver, intestines and kidneys of *Clarias gariepinus* when using feed with chelated compounds // International Journal of Pharmaceutical Research. 2020. V. 12. №. 3.
- 14 Suvarna K.S., Layton C., Bancroft J.D. Bancroft's theory and practice of histological techniques // Elsevier health sciences. 2018.
- 15 Olufeagba S.O., Okomoda V.T., Shuibu G. Embryogenesis and early growth of pure strains and hybrids of Sharptooth Catfish *Clarias gariepinus* and Sampa *Heterobranchus longifilis* // North American journal of aquaculture. 2016. V. 78. №. 4. P. 346–355.
- 16 Tosin O.V., Gabriel S.S., Wukatda S.S., Simon I. et al. Fillet Yield and Length-Weight Relationship of Five Fish Species From Lower Benue River, Makurdi, Nigeria // Tropical Life Sciences Research. 2021. V. 32. №. 1. P. 163.
- 17 Marimuthu K. A short review on induced spawning and seed production of African Catfish *Clarias gariepinus* in Malaysia // IOP conference series: earth and environmental science. 2019. V. 348. №. 1. P. 012134. doi: 10.1088/1755-1315/348/1/012134
- 18 Tilahun G., Dube K., Chtruvedi C.S., Kumar B. Assessment of reproductive performance, growth and survival of hybrids of African catfish (*Clarias gariepinus*) and Indian catfish (*Clarias batrachus*) compared to their parental lines crosses // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2016. V. 16. №. 1. P. 123-133.
- 19 Romanova E.M., Romanov V.V., Lyubomirova V.N., Shadieva L.A. et al. Increase in nonspecific resistance of catfish (*Clarias gariepinus*) in industrial aquaculture // BIO Web of Conferences. 2020. V. 17. P. 00122.
- 20 Sarkar S., Bhattacharya D., Jain S.K., Nath P. et al. Biological properties of Indian walking catfish (*Clarias batrachus*)(L.) gonadotropins in female reproduction // Fish physiology and biochemistry. 2014. V. 40. P. 1849-1861.

References

- 1 Vlasov V.A., Zavyalov A.P., Esavkin Yu.I. Reproduction and cultivation of sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) in recirculating aquaculture systems (RAS). Fish farming and fish industry. 2012. no. 7. pp. 26. (in Russian).
- 2 Gebremichael A., Szabó A., Sándor Z.J., Nagy Z. et al. Chemical and physical properties of African Catfish (*Clarias gariepinus*) fillet following prolonged feeding with insect meal-based diets. Aquaculture Nutrition. 2023. vol. 2023.
- 3 Hoffman L.C., Prinsloo J.F., Theron J., Casey N.H. A chemical comparison between the golden and normal coloured strains of the African sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Journal of Applied Ichthyology. 1995. no. 11(1-2). pp. 71–85.
- 4 Strauch S.M., Wenzel L.C., Bischoff A., Dellwig O. et al. Commercial African Catfish (*Clarias gariepinus*) Recirculating Aquaculture Systems: Assessment of Element and Energy Pathways with Special Focus on the Phosphorus Cycle. Sustainability. 2018. no. 10. pp. 1805.
- 5 Sobczak M., Panicz R., Sadowski J., Pólğesek M. et al. Does Production of *Clarias gariepinus* × *Heterobranchus longifilis* Hybrids Influence Quality Attributes of Fillets? Foods. 2022. vol. 11. no. 14. pp. 2074.
- 6 Klimuk A.A., Ponomarev A.K., Kalita T.L., Nikiforov-Nikishin A.L. Experience of growing first-generation hybrids of African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) at low temperatures. Bulletin of the Kerch State Marine Technological University. 2024. no. 1. pp. 20–28. (in Russian).
- 7 Filenko V.A., Ponomarev A.K., Gormatin V.I., Ovchinnikova T.M. Morphological features of the African sharptooth catfish *Clarias gariepinus* (Burchell) of the Mikhailovskaya breed. Bulletin of the Kerch State Marine Technological University. 2022. no. 3. pp. 53–72. (in Russian).
- 8 Katasonov V.Ya., Cherfas N.B. Selection and breeding in fish farming. Moscow, Agropromizdat, 1986. vol. 182. (in Russian).
- 9 Zolotova A.V., Panov V.P., Esavkin Yu.I., Prosekova E.A. Growth and anatomical and histological characteristics of the axial muscles of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell). Bulletin of the Timiryazev Agricultural Academy. 2015. no. 5. pp. 81–93. (in Russian).
- 10 GOST 31339–2006. Fish, non-fish objects and products from them. Acceptance rules and sampling methods. Moscow, Standartinform, 2007. 16 p. (in Russian).
- 11 Kupinsky SB Productive capabilities of aquaculture objects. Astrakhan, Publishing House of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Astrakhan State Technical University", 2007. (in Russian).
- 12 GOST 7631–2008. Fish, non-fish objects and products made from them. Methods for determining organoleptic and physical indicators. Moscow, Standartinform, 2010. 24 p. (in Russian).
- 13 Gramm S.Y., Beketov S.V., Kochetkov N.I., Klimov V.A. Histological changes in the liver, intestines and kidneys of *Clarias gariepinus* when using feed with chelated compounds. International Journal of Pharmaceutical Research. 2020. vol. 12. no. 3.
- 14 Suvarna K.S., Layton C., Bancroft J.D. Bancroft's theory and practice of histological techniques. Elsevier health sciences. 2018.

- 15 Olufeagba S.O., Okomoda V.T., Shuibu G. Embryogenesis and early growth of pure strains and hybrids of Sharptooth Catfish *Clarias gariepinus* and Sampa Heterobranchus longifilis. North American journal of aquaculture. 2016. vol. 78. no. 4. pp. 346–355.
- 16 Tosin O.V., Gabriel S.S., Wukatda S.S., Simon I. et al. Fillet Yield and Length-Weight Relationship of Five Fish Species From Lower Benue River, Makurdi, Nigeria. Tropical Life Sciences Research. 2021. vol. 32. no. 1. pp. 163.
- 17 Marimuthu K. A short review on induced spawning and seed production of African Catfish *Clarias gariepinus* in Malaysia. IOP conference series: earth and environmental science. 2019. vol. 348. no. 1. pp. 012134. doi: 10.1088/1755-1315/348/1/012134
- 18 Tilahun G., Dube K., Chtruvedi C.S., Kumar B. Assessment of reproductive performance, growth and survival of hybrids of African catfish (*Clarias gariepinus*) and Indian catfish (*Clarias batrachus*) compared to their parental lines crosses. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2016. vol. 16. no. 1. pp. 123-133.
- 19 Romanova E.M., Romanov V.V., Lyubomirova V.N., Shadieva L.A. et al. Increase in nonspecific resistance of catfish (*Clarias gariepinus*) in industrial aquaculture. BIO Web of Conferences. 2020. vol. 17. pp. 00122.
- 20 Sarkar S., Bhattacharya D., Juin S.K., Nath P. et al. Biological properties of Indian walking catfish (*Clarias batrachus*)(L.) gonadotropins in female reproduction. Fish physiology and biochemistry. 2014. vol. 40. pp. 1849-1861.

Сведения об авторах

Анастасия А. Климук аспирант, факультет Биотехнологий и рыбного хозяйства, Московский государственный университет технологий и управления им К. Г. Разумовского (первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, klimukanastasia27@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1852-1045>

Ольга Д. Сергазиева к.с.-х.н., доцент, кафедра ихтиологии и рыбоводства, Московский государственный университет технологий и управления им К. Г. Разумовского (первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, ahiles-7575@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2122-1318>

Андрей К. Пономарев к.б.н., доцент, кафедра ихтиологии и рыбоводства, Московский государственный университет технологий и управления им К. Г. Разумовского (первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, ponomarev7777777@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0004-8944-4931>

Сергей В. Бекетов д.б.н., профессор, кафедра экологии и природопользования, Московский государственный университет технологий и управления им К. Г. Разумовского (первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, svbeketov@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7947-8688>

Андрей Д. Ларкин магистр, кафедра ихтиологии и рыбоводства, Московский государственный университет технологий и управления им К.Г. Разумовского (первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, mr.somic.nax@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0007-5464-517X>

Ангелина П. Минаенко м.н.с., центр аквакультуры, Московский государственный университет технологий и управления им К. Г. Разумовского (первый казачий университет), ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, lina111299@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7346-5376>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anastasia A. Klimuk graduate student, biotechnology and fisheries faculty, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (First cossack university), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, klimukanastasia27@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-1852-1045>

Olga D. Sergazieva Cand. Sci. (Agric.), associate professor, ichthyology and fishery department, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (First cossack university), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, ahiles-7575@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2122-1318>

Andrey K. Ponomarev Cand. Sci. (Biol.), associate professor, ichthyology and fishery department, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (First cossack university), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, ponomarev7777777@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0004-8944-4931>

Sergey V. Beketov Dr. Sci. (Biol.), professor, ecology and environmental management department, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (First cossack university), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, svbeketov@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-7947-8688>

Andrey D. Larkin master student, ichthyology and fishery department, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (First cossack university), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, mr.somic.nax@ya.ru

 <https://orcid.org/0009-0007-5464-517X>

Angelina P. Minaenko junior researcher, aquaculture center, Moscow State University of Technology and Management named after K. G. Razumovsky (First cossack university), st. Zemlyanoy Val, 73, Moscow, 109004, Russia, lina111299@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-7346-5376>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 30/04/2024	После редакции 17/05/2024	Принята в печать 03/06/2024
Received 30/04/2024	Accepted in revised 17/05/2024	Accepted 03/06/2024

Влияние спорта и физических нагрузок на кишечный микробиом человека

Ольга Н. Крюкова	¹	ol.cok.3@mail.ru	 0000-0002-3955-5287
Александр И. Бушуев	¹	irina59.bush@mail.ru	 0009-0002-2936-3940
Татьяна С. Ковалева	¹	tanyakova2501@gmail.com	 0000-0002-3531-3811
Светлана Ф. Яковлева	¹	svetlana.yakovleva.68@mail.ru	 0000-0003-3686-9966

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. У каждого человека есть триллионы бактерий, вирусов и грибов, живущих внутри и на нем в многочисленных микробных экосистемах, известных как микробиомы. Микробы кишечника несут ответственность за то, как наш организм расщепляет углеводы, клетчатку, белок и регулирует энергию тела. Эти микробы влияют на воспалительную реакцию организма, устойчивость к стрессу, неврологические функции и даже влияют на умственную силу. Регулярные физические упражнения рекомендованы Всемирной организацией здравоохранения для укрепления здоровья и снижения риска развития многих заболеваний, в том числе психических, а также для увеличения продолжительности жизни. Эти рекомендации основаны на данных множества исследований, демонстрирующих разнообразие патогенетических путей, посредством которых улучшается здоровье на фоне физической нагрузки. С появлением возможности изучения микробиома кишечника, влияние на его таксономический состав и метаболизм с помощью упражнений служат предметом научного интереса. Улучшение микробиома может помочь повысить спортивную производительность и физическую выносливость и улучшить здоровье в целом. Потребление пребиотиков и пробиотиков, соблюдение здорового и сбалансированного рациона, уменьшение потребления сахара и жирной пищи, увеличение потребления растительной пищи, уменьшение стресса и увеличение физической активности – все это может помочь улучшить микробиом и увеличить выносливость. Спорт, посредством изменения микробиома, оказывает благотворное влияние на эмоциональное состояние, пищеварительную функцию, иммунный ответ, сердечно-сосудистое здоровье и здоровье мозга. При снижении физической активности снижается и положительное влияние микробиома.

Ключевые слова: спорт, физические нагрузки, кишечный микробиом.

Effects of sport and physical activity on the human intestinal microbiome

Olga N. Kryukova	¹	ol.cok.3@mail.ru	 0000-0002-3955-5287
Alexander I. Bushuev	¹	irina59.bush@mail.ru	 0009-0002-2936-3940
Tatiana S. Kovaleva	¹	tanyakova2501@gmail.com	 0000-0002-3531-3811
Svetlana F. Yakovleva	¹	svetlana.yakovleva.68@mail.ru	 0000-0003-3686-9966

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Each person has trillions of bacteria, viruses and fungi living in and on them in numerous microbial ecosystems known as microbiomes. Gut microbes are responsible for how our bodies break down carbohydrates, fiber, protein and regulate body energy. These microbes influence the body's inflammatory response, stress resistance, neurological function, and even affect mental strength. Regular exercise is recommended by the World Health Organization to promote health and reduce the risk of many diseases, including mental illness, as well as increase longevity. These recommendations are based on evidence from multiple studies demonstrating the variety of pathogenetic pathways by which exercise improves health. With the advent of the ability to study the gut microbiome, influencing its taxonomic composition and metabolism through exercise serves as a subject of scientific interest. Improving the microbiome may help increase athletic performance and physical endurance and improve overall health. Consuming prebiotics and probiotics, eating a healthy and balanced diet, reducing sugar and fatty foods, increasing plant-based foods, reducing stress and increasing physical activity can all help improve the microbiome and increase endurance. Sport, through altering the microbiome, has beneficial effects on emotional well-being, digestive function, immune response, cardiovascular health and brain health. When physical activity decreases, the beneficial effects of the microbiome also decrease.

Keywords: sport, exercise, gut microbiome.

Для цитирования

Крюкова О.Н., Бушуев А.И., Ковалева Т.С., Яковлева С.Ф. Влияние спорта и физических нагрузок на кишечный микробиом человека // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 207–212. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-207-212

For citation

Kryukova O.N., Bushuev A.I., Kovaleva T.S., Yakovleva S.F. Effects of sport and physical activity on the human intestinal microbiome. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 207–212. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-207-212

Введение

Микробиом – это совокупность микроорганизмов, которые населяют организм человека и выполняют важные функции для нашего здоровья. Микроорганизмы в желудочно-кишечном тракте играют значительную роль в поглощении питательных веществ, синтезе витаминов, усвоении энергии, воспалительной модуляции и иммунном ответе хозяина, что в совокупности способствует здоровью человека.

Важные факторы, такие как возраст, способ рождения, использование антибиотиков и питание, были установлены в качестве формирующих факторов микробиоты кишечника [1].

В последние годы исследования показали, что и спортивная деятельность может оказывать значительное влияние на микробиом человека. В статье рассмотрим, как спорт влияет на микробиом и что можно сделать, чтобы улучшить свой микробиом и повысить спортивную производительность.

Спортивная деятельность имеет большое значение для нашего здоровья, в том числе и для формирования кишечного микробиома. Некоторые микроорганизмы, которые обитают в кишечнике, могут помочь улучшить пищеварение и усвоение питательных веществ, а также уменьшить воспаление и улучшить иммунную систему.

Кроме того, микробиом может влиять на нашу способность к физической активности. Исследования показали, что люди с различными типами микробиома имеют разные уровни физической активности и спортивной производительности. Физические упражнения, связанные с ними диетические факторы и спортивная классификация способствуют более «ассоциированной» микробиоте кишечника [1]. Физическая активность (независимо от специфических характеристик) вносит значительный вклад в состав микробиома кишечника и связанные с ним метаболиты: изменяются разнообразие и масса определенных видов [2].

Изменения состава микробиоты кишечника могут способствовать производительности и восстановлению после тренировки.

Виды бактерий, профилированные в кишечнике профессиональных спортсменов, являются производителями короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК), которые потенциально улучшают производство энергии и, следовательно, спортивные показатели [3].

Микробиом кишечника спортсменов показал более высокое изобилие противовоспалительных, способствующих здоровью бактерий.

Минуты активного спорта были связаны с уменьшением численности семейства *Clostridiaceae* [4].

Согласно обзору 2023 года, к изменениям микробиома кишечника привели физические упражнения средней и высокой интенсивности в течение 30–90 минут ≥ 3 раза в неделю (или от 150 до 270 минут в неделю) в течение ≥ 8 недель [5].

Одним из наиболее изученных микроорганизмов, которые могут влиять на спортивную производительность, являются бифидобактерии. Эти бактерии могут помочь улучшить пищеварение и усвоение питательных веществ, уменьшить воспаление и улучшить иммунную систему. Помимо этого, они могут повысить выносливость и уменьшить утомляемость.

У спортсменов рост физической активности заметно повлиял на относительное содержание короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК). Аэробная тренировка, которая длилась 60 минут, и физическая активность на уровне 60 % HRmax или более, также повлияли на показатели бета-разнообразия. Результаты показали, что спортсмены имеют более разнообразный тип микробиоты кишечника, но с относительно уменьшенным количеством бактерий, производящих КЦЖК и молочные кислоты, что свидетельствует о негативном влиянии интенсивных физических упражнений на популяцию микробиоты кишечника [6].

Это подтверждает теорию, что уровень физической активности модулирует микробиоту желудочно-кишечного тракта у человека.

А может ли спорт навредить микробиоте? На иммунную функцию сильно влияет реакция микробиоты кишечника на физические упражнения. В течение длительного периода увеличение интенсивности и объема физических упражнений может привести к дисбиозу кишечника.

Проходящая иммунная дисфункция возникает после длительных высокоинтенсивных упражнений, которые коррелируют с дисрегуляцией микробиоты. Тем не менее, долгосрочное воздействие физических упражнений усилит иммунный ответ и приведет к положительным изменениям в микробиоте кишечника [7].

Обсуждение

Текущие данные позволяют предположить, что физические упражнения могут опосредовать двунаправленную связь между кишечником и мозгом через изменения микробиома. Эта связь может объяснить, почему физические упражнения могут быть терапевтическим фактором для психологических расстройств, так и для расстройств желудочно-двигательного тракта. Основными идентифицированными типами, которые реагируют на физические упражнения, являются *Firmicutes* и *Actinobacteria*, которые содержат роды *Lactobacillus* и *Bifidobacterium* соответственно (рисунок 1) [8].

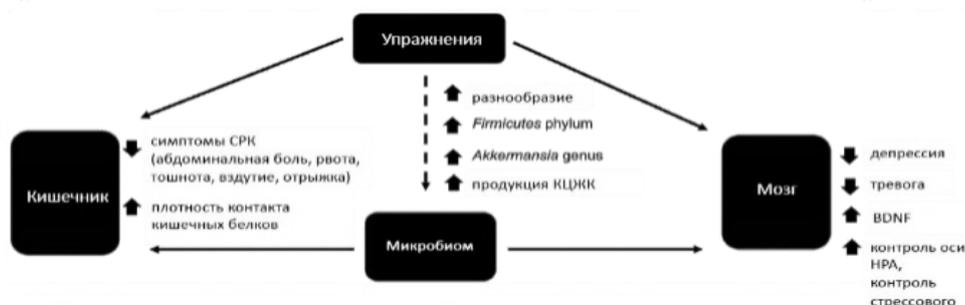


Рисунок 1. Роль физических упражнений в оси микробиом – кишечник – мозг

Figure 1. The role of exercise in the microbiome – gut – brain axis

В подростковом периоде состав микробиоты кишечника изменяется. Этот сдвиг связан с сигнализацией, связанной с аппетитом, так как уровни лептина в сыворотке крови положительно коррелируют с популяциями *Bifidobacterium* и *Lactobacillus* и отрицательно с уровнями *Bacteroides spp.* и *Prevotella*, в то время как уровни сыворотки грелина оказывают противоположное воздействие на эти бактериальные популяции [9].

Таким образом, упражнения могут влиять на состав микробиоты кишечника, стимулируя развитие бактерий, способных вызывать адаптивные изменения в метаболизме хозяина, и способствовать оптимизации развития функции мозга [10].

Наиболее вероятная гипотеза состоит в том, что между мышцами и бактериями кишечника существует коммуникация по оси «кишечник – мышцы». Полагают, что эта коммуникация идет в обоих направлениях: микробиота кишечника влияет на состояние мышц, а физические упражнения регулируют состав микробиоты. Но у людей, хоть и наблюдается связь между дисбиозом кишечника и различными метаболическими изменениями в мышцах (синтез белка, высвобождение молекул, способствующих развитию мышц и т. д.), эта гипотеза пока четко не сформулирована [11].

Как улучшить микробиом для повышения спортивной производительности? Существует несколько способов, которые могут помочь улучшить микробиом для повышения физической эффективности:

1. Увеличение потребления пребиотиков и пробиотиков.

Пребиотики – это пищевые волокна, которые не перевариваются в желудке и тонком кишечнике, но служат пищей для полезных бактерий в толстом кишечнике. Пробиотики – это живые бактерии, которые могут помочь улучшить состав микробиома. Рацион питания долгожителей в первую очередь включает в себя пробиотические продукты. Чем меньше микробное разнообразие желудочно-кишечного тракта, тем меньше количество комменсальных бактерий.

А именно они являются продуцентами короткоцепочечных жирных кислот (КЦЖК) – масляной, пропионовой, способствуют предотвращению инфекционных заболеваний, а также аутоиммунных и болезней цивилизации – сахарного диабета, сердечно-сосудистых и онкологических. Без разнообразия кишечной микрофлоры невозможно адекватное переваривание и всасывание минералов и витаминов.

Пробиотические продукты – это молочнокислые продукты: кефир, йогурт, сыры – помимо содержания штаммов лакто- и бифидобактерий, в их состав входят также КЦЖК, которые всасываются энтероцитами напрямую, без участия ферментов, что важно не только для здоровых, но и для лиц с расстройствами желудочно-кишечного тракта. При непереносимости молочных продуктов обязательно включать в рацион ферментированные овощи, – например, квашеную капусту, кимчи и др.

Несомненную ценность несут в себе овощи, ягоды, фрукты и грибы – источники редких фитонутриентов, каротиноидов, растворимой клетчатки, они способны снижать холестерин, связывать желчные кислоты, лучше выводить продукты метаболизма улучшая третью фазу детоксикации, и способствовать регулярному и правильному функционированию органов ЖКТ.

Для здоровья сердечно-сосудистой системы крайне важно поступление в пищу полиненасыщенных жирных кислот, холина – источниками являются субпродукты, мясо, рыба, яйца и морепродукты. Полиненасыщенные жирные кислоты участвуют в построении мембран клеток, способствуют эластичности сосудов и необходимы для выработки энергии – именно они нужны для построения мембран митохондрий – основных клеточных органелл, которые способствуют выработке энергии.

Для здоровья соединительной ткани, поддержания мышечной массы, улучшения обменных процессов, поддержания стабильной массы тела критически важно потреблять оптимальное количество белковой пищи, содержащей весь спектр заменимых и незаменимых аминокислот.

«Жизнь – есть способ существования белковых тел», – Ф. Энгельс, и, действительно, ни одна реакция в организме не происходит без участия белка, баланс катаболизма (распада белка) и анаболизма (синтеза белка) способствует правильному протеканию биохимических реакций. Сбалансированное поступление аминокислот легко обеспечить продуктами животного происхождения – мясом, рыбой, яйцами, молочными продуктами, источники растительного белка менее предпочтительны как основной источник, сложны в переваривании. Минимальное количество белка, которое должно поступать с пищей – 1 грамм на килограмм веса (при метаболических нарушениях 1 грамм на килограмм идеального веса). Дети, спортсмены, больные в процессе реконвалесценции нуждаются в большем поступлении белка, а также лица с дисплазией соединительной ткани.

Особое внимание стоит уделить лицам, имеющим соединительнотканную дисплазию – нарушение синтеза белка, что не является классическим заболеванием, но имеет свои особенности, в том числе со стороны построения рациона. Таким людям ни в коем случае не показаны растительные диеты, обязательным является поступление пролина, лизина и глицина, оптимальным источником которых являются крепкие мясные бульоны, заливное, холодец. Обязательным также должно быть адекватное поступление витамина С – свежие овощи, фрукты, квашеная капуста и другие ферментированные овощи, оптимальное поступление железа (субпродукты) и магния (цельные зерна и продукты животного происхождения).

2. Уменьшение потребления сахара и жирной пищи.

Сахар и жирная пища могут отрицательно влиять на состав кишечного микробиома и ухудшать его функцию. Уменьшение потребления сахара и жирной пищи может помочь улучшить микробиом и повысить физическую выносливость.

3. Уменьшение стресса.

Стресс может негативно влиять на состав микробиома. Уменьшение стресса способствует улучшению микробиома и повышению спортивной производительности.

4. Увеличение физической активности.

Физическая активность может помочь улучшить состав кишечного микробиома и повысить спортивную производительность.

Недавние исследования показали, что спорт и физическая активность могут изменять состав микробиома человека. Одно из исследований, проведенных в 2017 году, выявило, что у спортсменов, занимающихся аэробными упражнениями, было больше бактерий из рода

Akkermansia, которые связаны с улучшением метаболизма и снижением риска развития ожирения и других метаболических заболеваний [12].

Кроме того, физическая активность может увеличивать разнообразие микробиома. В 2021 году было проведено исследование, в котором участники, занимавшиеся физической активностью, имели более разнообразный микробиом, чем участники, не занимавшиеся спортом [13].

Некоторые исследования также показывают, что спорт и физическая активность могут уменьшать количество вредных бактерий в микробиоме. Например, участники исследования, занимавшиеся фитнесом, имели меньше бактерий из рода *Clostridium difficile*, которые могут вызывать некоторые инфекции кишечника [14].

Однако, необходимо отметить, что влияние спорта и физической активности на микробиом человека еще не полностью изучено. Некоторые исследования показывают противоположные результаты, например, участники одного исследования, выполнявшие упражнения на выносливость, имели меньше бактерий из рода *Bifidobacterium*, которые обычно считаются полезными для организма [15–20].

Заключение

Спорт и физическая активность могут оказывать положительное влияние на микробиом человека, но необходимо проводить дополнительные исследования для более точного определения этого влияния. В любом случае, занятия спортом и физической активностью всегда полезны для здоровья человека в целом. Улучшение микробиома может помочь повысить спортивную производительность и физическую выносливость и улучшить здоровье в целом. Потребление пребиотиков и пробиотиков, соблюдение здорового и сбалансированного рациона, уменьшение потребления сахара и жирной пищи, увеличение потребления растительной пищи, уменьшение стресса и увеличение физической активности – все это может помочь улучшить микробиом и увеличить выносливость. Спорт, посредством изменения микробиома, оказывает благотворное влияние на эмоциональное состояние, пищеварительную функцию, иммунный ответ, сердечно-сосудистое здоровье и здоровье мозга. При снижении физической активности снижается и положительное влияние микробиома.

Важным недостатком исследований, который необходимо устранить в будущем, служит отсутствие оценки влияния упражнений на представителей, не относящихся к бактериям (археи, грибы, вирусы).

Тем не менее, с учетом возрастающей доступности метагеномных методов исследования микробиома, решение указанных вопросов представляется возможным. В перспективе полученные данные способны сформировать новый метод, основанный на индивидуальном подходе к изменению микробиома кишечника, с учетом физических упражнений и рациона питания.

Модулирование микробиоты посредством физической активности открывает большие возможности для профилактики целого ряда заболеваний, связанных с провоспалительным состоянием: это атопический дерматит, ожирение, различные неврологические и гастроэнтерологические заболевания.

Литература

- 1 Mohr A.E., Jäger R., Carpenter K.C., Kerkick C.M. et al. The athletic gut microbiota // J Int Soc Sports Nutr. 2020. V. 17. №1. P. 24.
- 2 Tzemah Shahar R., Koren O., Matarasso S., Shochat T. et al. Attributes of Physical Activity and Gut Microbiome in Adults: A Systematic Review // Int J Sports Med. 2020. V. 41. № 12. P. 801–814.
- 3 Tarracchini C., Fontana F., Lugli G.A., Mancabelli L. et al. Investigation of the Ecological Link between Recurrent Microbial Human Gut Communities and Physical Activity // Microbiol Spectr. 2022. V. 10. № 2. P. e0042022.
- 4 Holzhausen E.A., Malecki K.C., Sethi A.K., Gangnon R. et al. Assessing the relationship between physical activity and the gut microbiome in a large, population-based sample of Wisconsin adults // PLoS One. 2022. V. 26. № 17 (10). P. e0276684.
- 5 Boytar A.N., Skinner T.L., Wallen R.E., Jenkins D.G. et al. The Effect of Exercise Prescription on the Human Gut Microbiota and Comparison between Clinical and Apparently Healthy Populations: A Systematic Review // Nutrients. 2023. V. 15. № 6. P. 1534.
- 6 Dziewiecka H., Buttar H.S., Kasperska A., Ostapiuk-Karolczuk J. et al. Physical activity induced alterations of gut microbiota in humans: a systematic review // BMC Sports Sci Med Rehabil. 2022. V. 14. № 1. P. 122.
- 7 Miranda-Comas G., Petering R.C., Zaman N., Chang R. Implications of the Gut Microbiome in Sports // Sports Health. 2022. V. 14. № 6. P. 894–898.
- 8 Dalton A., Mermier C.M., Zuhl M.N. Exercise influence on the microbiome–gut–brain axis // Gut Microbes. 2019. V. 10. P. 555–568.
- 9 Mailing L.J., Allen J.M., Buford T.W., Fields C.J. et al. Exercise and the gut microbiome: a review of the evidence, potential mechanisms, and implications for human health // Exerc Sport Sci Rev. 2019.
- 10 Wegierska A.E., Charitos I.A., Topi, S. et al. The Connection Between Physical Exercise and Gut Microbiota: Implications for Competitive Sports Athletes // Sports Med. 2022. V. 52. P. 2355–2369.
- 11 Ticinesi A., Lauretani F., Tana C. et al. Exercise and immune system as modulators of intestinal microbiome: implications for the gut-muscle axis hypothesis // Exercise immunology review. 2019. V. 25.
- 12 Cani P.D., de Vos W.M. Next-generation beneficial microbes: the case of *Akkermansia muciniphila* // Frontiers in microbiology. 2017. V. 8. P. 1765.
- 13 Bragina T.V., Elizarova E.V., Sheveleva S.A. Intestinal microbiota of athletes // Nutrition Issues. 2021. V. 4 (536).
- 14 Soltys K., Lendvorsky L., Hric I., Baranovicova E. et al. Strenuous Physical Training, Physical Fitness, Body Composition and Bacteroides to Prevotella Ratio in the Gut of Elderly Athletes // Front. Physiol. 2021. V. 12.
- 15 Bressa C., Bailen-Andrino M., Perez-Santiago J., Gonzalez-Soltero R. et al. Differences in gut microbiota profile between women with active lifestyle and sedentary women // PLoS ONE. 2017. V. 12. P. e0171352.
- 16 Derrien M., Alvarez A.-S., De Vos W.M. The Gut Microbiota in the First Decade of Life // Trends Microbiol. 2019. V. 27. P. 997–1010.
- 17 Claesson M.J., Jeffery I.B., Conde S., Power S.E. et al. Gut microbiota composition correlates with diet and health in the elderly // Nature. 2012. V. 488. P. 178–184.
- 18 García-Peña C., Álvarez-Cisneros T., Quiroz-Baez R., Friedland R.P. Microbiota and Aging. A Review and Commentary // Arch. Med Res. 2017. V. 48. P. 681–689.
- 19 Casati M., Ferri E., Azzolino D., Cesari M. et al. Gut microbiota and physical frailty through the mediation of sarcopenia // Exp. Gerontol. 2019. V. 124. P. 110639.
- 20 A Segre J. Microbial growth dynamics and human disease // Science. 2015. V. 349. P. 1058–1059.

References

- 1 Mohr A.E., Jäger R., Carpenter K.C., Kerkick C.M. et al. The athletic gut microbiota. J Int Soc Sports Nutr. 2020. vol. 17. no. 1. pp. 24.
- 2 Tzemah Shahar R., Koren O., Matarasso S., Shochat T. et al. Attributes of Physical Activity and Gut Microbiome in Adults: A Systematic Review. Int J Sports Med. 2020. vol. 41. no. 12. pp. 801–814.
- 3 Tarracchini C., Fontana F., Lugli G.A., Mancabelli L. et al. Investigation of the Ecological Link between Recurrent Microbial Human Gut Communities and Physical Activity. Microbiol Spectr. 2022. vol. 10. no. 2. pp. e0042022.
- 4 Holzhausen E.A., Malecki K.C., Sethi A.K., Gangnon R. et al. Assessing the relationship between physical activity and the gut microbiome in a large, population-based sample of Wisconsin adults. PLoS One. 2022. vol. 26. no. 17 (10). pp. e0276684.
- 5 Boytar A.N., Skinner T.L., Wallen R.E., Jenkins D.G. et al. The Effect of Exercise Prescription on the Human Gut Microbiota and Comparison between Clinical and Apparently Healthy Populations: A Systematic Review. Nutrients. 2023. vol. 15. no. 6. pp. 1534.

- 6 Dziewiecka H., Buttar H.S., Kasperska A., Ostapiuk-Karolczuk J. et al. Physical activity induced alterations of gut microbiota in humans: a systematic review. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2022. vol. 14. no. 1. pp. 122.
- 7 Miranda-Comas G., Petering R.C., Zaman N., Chang R. Implications of the Gut Microbiome in Sports. *Sports Health.* 2022. vol. 14. no. 6. pp. 894–898.
- 8 Dalton A., Mermier C.M., Zuhl M.N. Exercise influence on the microbiome–gut–brain axis. *Gut Microbes.* 2019. vol. 10. pp. 555–568.
- 9 Mailing L.J., Allen J.M., Buford T.W., Fields C.J. et al. Exercise and the gut microbiome: a review of the evidence, potential mechanisms, and implications for human health. *Exerc Sport Sci Rev.* 2019.
- 10 Wegierska A.E., Charitos I.A., Topi, S. et al. The Connection Between Physical Exercise and Gut Microbiota: Implications for Competitive Sports Athletes. *Sports Med.* 2022. vol. 52. pp. 2355–2369.
- 11 Ticinesi A., Lauretani F., Tana C. et al. Exercise and immune system as modulators of intestinal microbiome: implications for the gut-muscle axis hypothesis. *Exercise immunology review.* 2019. vol. 25.
- 12 Cani P.D., de Vos W.M. Next-generation beneficial microbes: the case of *Akkermansia muciniphila*. *Frontiers in microbiology.* 2017. vol. 8. pp. 1765.
- 13 Bragina T.V., Elizarova E.V., Sheveleva S.A. Intestinal microbiota of athletes. *Nutrition Issues.* 2021. vol. 4 (536).
- 14 Soltys K., Lendvorsky L., Hric I., Baranovicova E. et al. Strenuous Physical Training, Physical Fitness, Body Composition and Bacteroides to Prevotella Ratio in the Gut of Elderly Athletes. *Front. Physiol.* 2021. vol. 12.
- 15 Bressa C., Bailen-Andrino M., Perez-Santiago J., Gonzalez-Soltero R. et al. Differences in gut microbiota profile between women with active lifestyle and sedentary women. *PLoS ONE.* 2017. vol. 12. pp. e0171352.
- 16 Derrien M., Alvarez A.–S., De Vos W.M. The Gut Microbiota in the First Decade of Life. *Trends Microbiol.* 2019. vol. 27. pp. 997–1010.
- 17 Claesson M.J., Jeffery I.B., Conde S., Power S.E. et al. Gut microbiota composition correlates with diet and health in the elderly. *Nature.* 2012. vol. 488. pp. 178–184.
- 18 García-Peña C., Álvarez-Cisneros T., Quiroz-Baez R., Friedland R.P. Microbiota and Aging. A Review and Commentary. *Arch. Med Res.* 2017. vol. 48. pp. 681–689.
- 19 Casati M., Ferri E., Azzolino D., Cesari M. et al. Gut microbiota and physical frailty through the mediation of sarcopenia. *Exp. Gerontol.* 2019. vol. 124. pp. 110639.
- 20 A Segre J. Microbial growth dynamics and human disease. *Science.* 2015. vol. 349. pp. 1058–1059.

Сведения об авторах

Ольга Н. Крюкова к.п.н., кафедра физической культуры и спорта, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ol.cok.3@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3955-5287>

Александр И. Бушуев доцент, кафедра физической культуры и спорта, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, irina59.bush@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-2936-3940>

Татьяна С. Ковалева к.т.н., старший преподаватель, кафедра технологии бродильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tanyakova2501@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3531-3811>

Светлана Ф. Яковлева к.т.н., доцент, кафедра биохимии и биотехнологии, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, svetlana.yakovleva.68@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3686-9966>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Olga N. Kryukova Cand. Sci. (Ped.), physical education and sport department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ol.cok.3@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3955-5287>

Alexander I. Bushuyev associate professor, physical education and sport department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, irina59.bush@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0002-2936-3940>

Tatiana S. Kovaleva Cand. Sci. (Engin.), senior lecturer, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tanyakova2501@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-3531-3811>

Svetlana F. Yakovleva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, biochemistry and biotechnology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, svetlana.yakovleva.68@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3686-9966>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 19/04/2024

После редакции 10/05/2024

Принята в печать 27/05/2024

Received 19/04/2024

Accepted in revised 10/05/2024

Accepted 27/05/2024

Возможности применения растительной дисперсии из зерна бобовых культур для улучшения свойств пшеничного хлеба

Анна Л. Вебер¹ anna.web@mail.ru  0000-0003-0715-0426
Светлана А. Леонова² s.leonova@inbox.ru  0000-0002-7613-430X

¹ Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Институтская пл., 1, г. Омск, 644008, Россия

² Башкирский государственный аграрный университет, 50-летия Октября, 34, г. Уфа, 644008, Россия

Аннотация. Хлеб из пшеничной муки - социально важный продукт питания, пользующийся стабильным спросом у населения. На протяжении последних двух десятилетий в технологии хлебобулочных изделий развивается тенденция к росту продуктов массового спроса, обогащенных незаменимыми нутриентами с учетом потребительских предпочтений. Важнейшим свойством для потребителей хлебобулочных изделий в числе прочих является сохранение их свежести в процессе хранения. Для обогащения рецептуры была выбрана растительная дисперсия из пророщенного зерна гороха сорта Памяти Хангильдина и фасоли сорта Лукерья, которые превосходят по содержанию белка пастеризованное молоко обезжиренное и напиток на растительной основе «Молоко соевое» в 1,2 и 1,6 раза, соответственно. Для оптимизации дозировки растительной дисперсии было изучено ее влияние на органолептические, физико-химические и структурно-механические свойства мякиша. Использовали дозировки дисперсии 10; 15 и 20 % к массе муки. Установлено, что использование растительной дисперсии из пророщенного зерна гороха и фасоли в количестве 20% от массы муки в рецептуре хлеба пшеничного положительно влияет на показатели его качества. Отмечено увеличение удельного объема на 3,0 и 3,3% соответственно, увеличение пористости на 2,6 и 3,0% соответственно, увеличение показателя общей деформации мякиша (сжимаемости) на 20,11 и 26,43%, соответственно, по отношению к контрольному образцу. Суммарный балл органолептической оценки по 100-балльной шкале превысил контрольный образец на 4,82 и 6,56 балла, соответственно. Использование растительной дисперсии в количестве 20% от массы муки в рецептуре хлеба обеспечивает также стабильность физико-химических показателей при хранении в течение 72 ч. Также установлено, что при употреблении 100 г хлеба, в составе которого содержится 20% растительной дисперсии, обеспечивается степень удовлетворения суточной физиологической потребности в белке на 9,9%.

Ключевые слова: растительная дисперсия, структурно-механические показатели, пищевая ценность, хлеб, бобовые культуры.

Possibility of using a plant dispersion from legume grains to improve the properties of wheat bread

Anna L. Veber¹ anna.web@mail.ru  0000-0003-0715-0426
Svetlana A. Leonova² s.leonova@inbox.ru  0000-0002-7613-430X

¹ Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin, Institutskaya Sq. 1, Omsk, 644008, Russia

² Bashkir State Agrarian University, 50-letiya Oktyabrya Str. 34, Ufa, 450054, Russia

Abstract. Bread made from wheat flour is a socially important food product that is in stable demand among the population. Over the past two decades, bakery technology has seen a trend toward the growth of mass-market products enriched with essential nutrients, taking into account consumer preferences. The most important property for consumers of bakery products, among others, is maintaining their freshness during storage. To enrich the recipe, a plant dispersion was chosen from sprouted peas of the Pamyati Khangildina variety and beans of the Lukerya variety, which are 1.2 and 1.6 times higher in protein content than pasteurized skim milk and the plant-based drink "Soy Milk" by 1.2 and 1.6 times, respectively. To optimize the dosage of the plant dispersion, its effect on the organoleptic, physico-chemical and structural-mechanical properties of the crumb was studied. Dispersion dosages of 10%, 15% and 20% by weight of flour were used. It was established that the use of a plant dispersion from sprouted grains of peas and beans in an amount of 20% by weight of flour in the wheat bread recipe has a positive effect on its quality indicators. There was an increase in specific volume by 3.0% and 3.3%, respectively, an increase in porosity by 2.6 and 3.0%, respectively, an increase in the overall crumb deformation (compressibility) by 20.11 and 26.43%, with - responsibly in relation to the control sample. The total organoleptic assessment score on a 100-point scale exceeded the control sample by 4.82 and 6.56 points, respectively. The use of a plant dispersion in an amount of 20% by weight of flour in the bread recipe also ensures the stability of physico-chemical parameters during storage for 72 hours. It has also been established that when consuming 100 g of bread, which contains 20% of a plant dispersion, a degree of meeting the daily physiological need for protein by 9.9%.

Keywords: plant dispersion, structural and mechanical properties, nutritional value, bread, legumes.

Введение

Несмотря на постоянно увеличивающийся ассортимент продуктов питания, традиционные сорта хлеба входят в рацион основной части населения и являются важным источником энергии и нутриентов, в том числе белка. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), население Земли испытывает

дефицит полноценного белка в количестве 25–30%. Недостаток белка в организме человека приводит к формированию синдрома хронической усталости, снижению умственной и физической работоспособности, нарушению его нормальной жизнедеятельности. Проблемой ликвидации дефицита белка занимаются многие отечественные и зарубежные ученые.

Для цитирования

Вебер А.Л., Леонова С.А. Возможности применения растительной дисперсии из зерна бобовых культур для улучшения свойств пшеничного хлеба // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 213–223. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-213-223

For citation

Veber A.L., Leonova S.A. Possibility of using a plant dispersion from legume grains to improve the properties of wheat bread. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 213–223. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-213-223

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Разрабатываются технологии переработки зернобобовых культур в функциональные ингредиенты и белковые концентраты, текстураты, изоляты, протеины, гидролизаты [3, 14] и др., большое внимание уделяется вопросам обогащения социально важных продуктов белком [19, 20]; также ведутся разработки по получению новых линий и сортов сельскохозяйственных культур с повышенным содержанием и улучшенным качеством белка методами генетической инженерии и т. д.

Так, в ФГБНУ «Федеральный научный центр зернобобовых культур и крупяных культур» изучена возможность использования гороха сортов дикого подвида *Pisum sativum L. ssp. elatius* (полученного из мировой коллекции ВИР, образец К-3370) и культурного гороха сортов Софья и Родник в технологии белковых изолятов [13]. Белковые продукты (мука, изоляты, концентраты) из зернобобовых культур, в том числе из гороха, предлагается вносить в мучные кондитерские и хлебобулочные изделия как по отдельности, так и комплексно в различных сочетаниях [12, 16, 20, 22]. Так, к примеру, замена в рецептуре бисквитного полуфабриката пшеничной муки на изолят гороховой муки в количестве 9% позволяет получить продукт с повышенным содержанием белка и жира на 25,28 и 3,29% соответственно и с пониженным содержанием углеводов на 0,90% [21]. Другие авторы при замене в рецептуре бисквитного полуфабриката пшеничной муки на изолят гороховой муки отмечают увеличение биодоступности белка примерно на 40% [5]. Применение в рецептуре безглютенового хлеба 10% протеина из гороха фирмы Bio Planet (Польша) к массе гречневой и льняной муки позволяет получить продукт с содержанием углеводов 16,9%, белка 17,1%, клетчатки 13,7% и калорийностью 194 ккал/100 г [10].

О.Л. Ладновой и др. установлено оптимальное соотношение рецептурных компонентов муки из зеленого гороха сорта San Cipriano и глютена пшеничного 30/70 и 40/60, а также соотношение муки из желтого гороха сорта Vega и глютена 20/80 и 30/70 в ускоренной технологии хлебобулочных изделий с использованием глютена пшеничного. Данные соотношения позволили добиться улучшения качества изделия по физико-химическим и органолептическим показателям, а также увеличить содержание белка в продукте и тем самым на 33,1–34,2% удовлетворить физиологическую потребность в белке при его употреблении в количестве 100 г в сутки [17].

Известны и другие способы обогащения хлебобулочных изделий, в числе которых добавление в рецептуру теста молочных (смесь казеина и сывороточных белков) и сывороточных белков молока, в виде продуктов переработки молока в результате чего продлевается срок сохранения свежести, повышается пищевая и биологическая ценность продуктов [11]. Хлебобулочные изделия обогащают сухим соевым молоком [8], используют ферментированный продукт растительного происхождения состоящий из соевой муки, муки из люцерны, ростков ячменя и жизнеспособных микроорганизмов, в количестве (5; 10 и 15% к массе муки, %), в результате чего увеличивается содержание белка на 10,63; 20,21 и 29,0% соответственно по отношению к контролю [1]. Применяют гороховые концентраты и изоляты [2, 4]. Для повышения содержания медленно усваиваемого крахмала и резистентного крахмала в хлебе используют обжаренную гороховую муку [7, 10], а также ферментированный соевый напиток в количестве 10 и 20% к массе муки, в результате чего пшеничный хлеб обогащается белком на 46 и 63%, замедляется процесс черствения хлеба при хранении на 45 и 65% соответственно по сравнению с контрольным образцом [9].

В то же время, влияние дисперсий из пророщенного зерна бобовых культур, являющихся ценными источниками белка и многих макро- и микронутриентов, на состав и свойства хлебобулочных изделий, практически не изучалось. Повышенный интерес к обогащению хлебобулочных изделий разработанной нами растительной дисперсией из пророщенного зерна гороха и фасоли объясним ее функциональными свойствами, доступностью, высокой биологической ценностью и низкой стоимостью [6, 15, 18]. Предположительно, новые виды хлебобулочных изделий с добавлением растительной дисперсии будут способствовать повышению пищевой и биологической ценности, показателей качества готовой продукции.

Учитывая вышесказанное, была поставлена задача изучения влияния растительной дисперсии в количестве 10; 15 и 20% к массе муки на органолептические (форма, цвет, пропеченность, промес, пористость, вкус, запах), физико-химические (влажность, кислотность, пористость, удельный объем) и структурно-механические свойства мякиша (общая, пластическая и упругая деформации, эластичность) хлеба из пшеничной муки 1 сорта.

Материалы и методы

Объектами исследования являлось сырьё для производства хлеба пшеничного: мука пшеничная хлебопекарная 1 сорта МАКФА® – ГОСТ 26574–2017, масло подсолнечное рафинированное дезодорированное «Высший сорт» – ГОСТ 1129–2013; сахар белый – ГОСТ 33222–2015; соль пищевая – ГОСТ Р 51574–2018; дрожжи хлебопекарные прессованные – ГОСТ Р 54731–2011; питьевая вода централизованной системы питьевого водоснабжения – СанПиН 2.1.4.1074–01, растительная дисперсия из пророщенного зерна гороха сорта Памяти Хангильдина (содержание сухих веществ, % – $10,1 \pm 0,4$;

массовая доля белка, % – $3,2 \pm 0,1$) и фасоли сорта Лукерья (содержание сухих веществ, % – $9,8 \pm 0,2$; массовая доля белка, % – $3,0 \pm 0,1$), а также выпеченные образцы хлеба пшеничного с использованием растительной дисперсии из пророщенного зерна гороха и фасоли, в качестве контроля – хлеб пшеничный из муки первого сорта. Для исследования влияния растительной дисперсии из пророщенного зерна гороха и фасоли на показатели качества хлеба из пшеничной муки проводили пробные лабораторные выпечки согласно технологической схеме производства (рисунок 1).

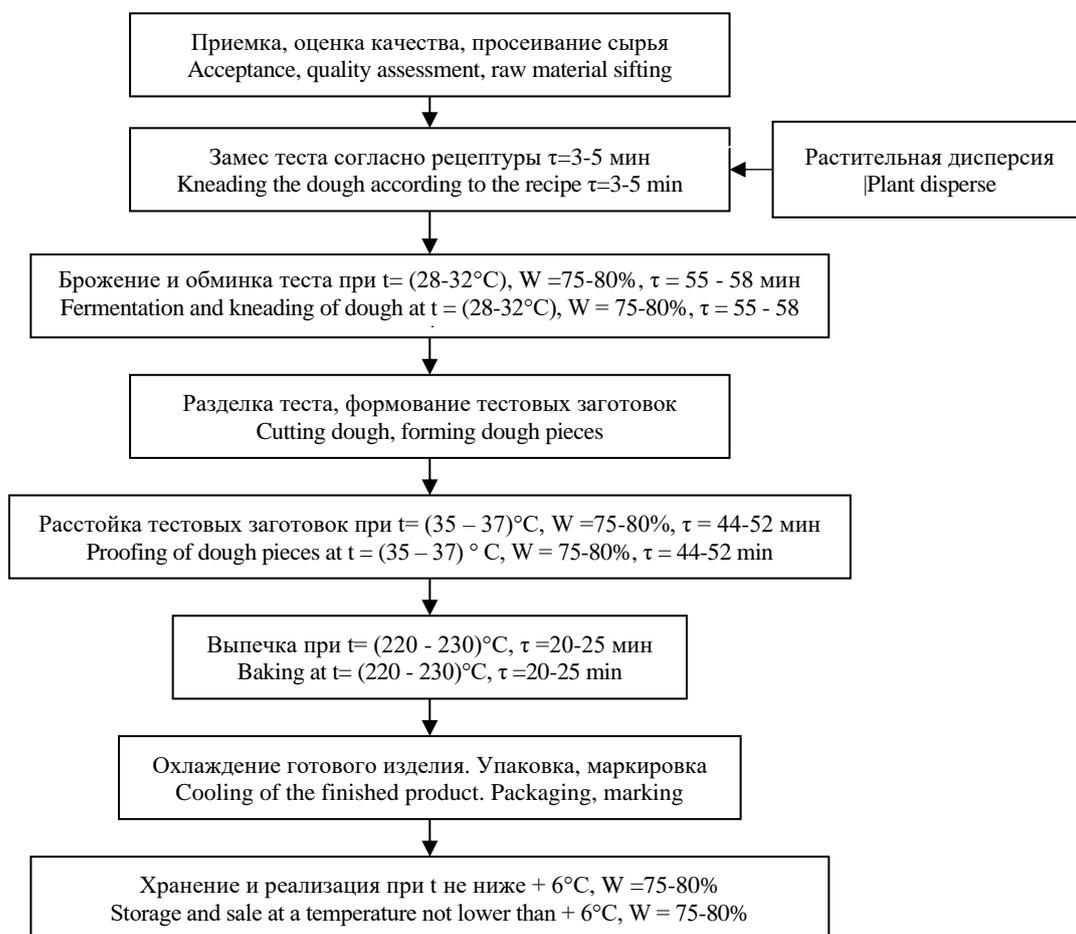


Рисунок 1. Технологическая схема производства хлеба пшеничного с использованием растительной дисперсии из пророщенного зерна гороха и фасоли

Figure 1. Technological scheme for the production of wheat bread using a plant dispersion from sprouted grains of peas or beans

Тесто из пшеничной муки готовили традиционным опарным способом. Растительную дисперсию вносили в тесто в количестве от 10 до 20% к массе муки. Расход муки и другого сырья, затраченного на производство хлеба, определяли в соответствии с разработанной

рецептурой. В качестве примера в таблице 1 приведена производственная рецептура приготовления теста для хлеба пшеничного с использованием дисперсии из пророщенного зерна гороха сорта Памяти Хангильдина.

Таблица 1.

Производственная рецептура приготовления теста для хлеба пшеничного с использованием дисперсии из пророщенного зерна гороха сорта Памяти Хангильдина

Table 1.

Production recipe for preparing dough for wheat bread using a dispersion of sprouted pea grains of the Pamyati Khangildin variety

Показатель Indicator	Влажность (Wc), % Moisture (Wc), %	Содержание сухих веществ, (Cсв), % Dry matter content, (Cdm), %	Расход сырья и сухих веществ на приготовление п/ф, кг Consumption of raw materials and dry substances for the preparation of semi-finished products, kg							
			густая опара thick dough		теста dough		теста dough		теста dough	
			mc m _{rm}	mcв m _{cd}	mc m _{rm}	mcв m _{cd}	mc m _{rm}	mcв m _{cd}	mc m _{rm}	mcв m _{cd}
Мука пшеничная хлебопекарная 1 сорт Wheat baking flour 1st grade	14,50	85,50	50	42,75	50,0	42,75	50,0	42,75	50,0	42,75
Дрожжевая суспензия (1:3) Yeast suspension(1:3)	93,75	6,25	4,0	0,25	-	-	-	-	-	-
Растительная дисперсия Plant dispersion	89,9	10,1	-	-	10,0	1,10	15	1,51	20	2,02
Соль пищевая Salt	3	97	-	-	1,5	1,45	1,5	1,45	1,5	1,45
Сахар белый White sugar	0,1	99,9	-	-	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Опара thick dough	45,0	55,0			78,18	43,0	78,18	43,0	78,18	43,0
Вода Water			24,18		18,91		14,63		10,54	
Итого: Total:										
Σ ₁			54,0	43,0	142,68	91,3	147,68	91,71	152,68	92,22
Σ ₂			78,18		161,59		162,31		163,22	
Температура, °C Temperature, °C			28–32		28–32		28–32		28–32	
Продолжительность брожения при температуре 28–32 °C, мин Duration of fermentation at a temperature of 28–32 °C, min			180– 210		59		58		55	
Кислотность, град Acidity, degrees			2,5– 3,0		2,7 ± 0,1		2,8 ± 0,1		2,9 ± 0,1	
Продолжительность расстойки при температуре 35–37 °C, мин Duration of proofing at a temperature of 35–37 °C, min					56		55		52	

Исследование физико-химических и органолептических показателей мякиша хлеба опытных и контрольного образцов проводились в соответствии со стандартными методами. Влажность хлеба определяли по ГОСТ 21094–75, содержания жира – по ГОСТ 5668–68, кислотность – по ГОСТ 5670–96; органолептические показатели – по ГОСТ 5667–65; массовую долю белковых веществ – по ГОСТ 25832–89; углеводов – по ГОСТ 25832–89; пористость – по ГОСТ 5669–96; удельный объем хлеба – путем деления величины объема хлебобулочного изделия в см³ на его массу в граммах. Объем хлебобулочного изделия измеряли с помощью объемомера ОХЛ-2. Балльную оценку качества хлебобулочных изделий с учетом весомости основных показателей осуществляли по 100-балльной шкале МГУПП. Пищевую и энергетическую ценность рассчитывали по общепринятой методике.

Количество плесневых грибов определяли по ГОСТ 10444.12–2013; бактерий рода Proteus – по ГОСТ 28560–90; бактерий группы кишечных палочек – по ГОСТ 31747–2012; общее количество микроорганизмов – в соответствии с ГОСТ 10444.15–94; бактерий рода Salmonella по – ГОСТ 31659–2012; бактерий рода S.aureus – по ГОСТ 31746–2012.

Реологические характеристики мякиша хлеба опытных и контрольного образцов исследовали на приборе – Структурометр СТ-2. Метод основан на определении общей, пластической и упругой деформаций мякиша хлеба при сжатии его индентором «Цилиндр D 36». Эластичность (1) и сжимаемость (2) мякиша рассчитывали по методике СТ-2–05 «Определение деформационных характеристик мякиша хлеба» разработанной под руководством В.Я. Черных.

$$\Delta h = h_{\text{elastic}} / h_{\text{total}} \quad (1)$$

где Δh – Эластичность мякиша; h_{elastic} – упругая деформация, мм; h_{total} – общая деформация, мм.

$$C = \frac{h_{\text{total}}^{24} - h_{\text{total}}^n}{h_{\text{total}}^{24}} 100\% \quad (2)$$

где C – сжимаемость мякиша, %; h_{total}^{24} – общая деформации относительно 24 ч хранения, мм; h_{total}^n – общая деформации относительно n часов хранения.

Исследования структурно-механических свойств мякиша из муки пшеничной первого сорта осуществлялись в выпеченных хлебобулочных изделиях через 24, 48 и 72 часа. Опытные образцы хлеба закладывали на хранение в течение 72 часов при температуре воздуха $(18 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(75 \pm 5)\%$ после полного остывания.

Результаты экспериментальных исследований подвергли математической обработке с помощью общепринятых алгоритмов и стандартных пакетов программ MS Excel.

Результаты и обсуждение

Для того, чтобы определить оптимальную концентрацию растительной дисперсии в рецептуре хлеба пшеничного, были проведены следующие исследования:

- изучение влияния растительной дисперсии в количестве 10; 15 и 20% к массе муки на органолептические, физико-химические и структурно-механические свойства хлеба;

- установление сроков годности разработанного хлеба пшеничного, на основании изменений структурно-механических свойств мякиша в процессе черствения хлеба с указанными дозировками растительной дисперсии.

Результаты органолептической оценки представлены в таблице 2.

Таблица 2. Органолептические показатели хлеба пшеничного (формового) с использованием дисперсии
Table 2.

Organoleptic characteristics of wheat bread (tin) using dispersion

Показатель Indicator	Характеристика показателей Characteristics of indicators				
	Контроль Control	Опытный образец Prototype			Количество растительной дисперсии, % Amount of plant dispersion, %
		№ 1	№ 2	№ 3	
		10	15	20	
Форма Form	Правильная. Соответствует хлебной форме, в которой производилась выпечка Correct. Corresponds to the bread pan in which the baking was made				
Поверхность Surface	Без крупных трещин и подрывов No major cracks or tears				
Цвет Color	Белый с желтоватым оттенком White with a yellowish tint	Светло-желтый Light yellow	Золотисто-желтый Golden yellow	От светло-желтого до светло-коричневого From light yellow to light brown	
Пропеченность Bakedness	Пропеченный, нелипкий, не влажный на ощупь, эластичный, мягкий Baked, non-sticky, not wet to the touch, elastic, soft				
Промес Promes	Без комочков и следов непромеса Without lumps and traces of unmixing				
Состояние пористости Porosity condition	Развитая, равномерная, средняя Developed even, medium	Развитая. Поры средние равномерные, с крупными включениями Developed. Pores are medium, uniform, with large inclusions			
Состояние мякиша Crumb condition	Прожаренный, без комков и без следов непромеса Fried, without lumps and without traces of unmixed				
Цвет мякиша при использовании дисперсии из пророщенного зерна Crumb color when using sprouted grain dispersion	гороха сорта Памяти Хангильдина pea variety In memory of Khangildin	Белый с желтоватым оттенком White with a yellowish tint	Светло-желтый Light yellow		
	фасоли сорта Лукерья Lukerya beans		Белый с черными мелкими включениями, напоминает мак White with black small inclusions, resembles a poppy		
Вкус Taste	Свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса Characteristic for this type of product, without any foreign taste				
Аромат flavor					
Органолептическая оценка хлеба, балл Organoleptic evaluation of bread, score	гороха сорта Памяти Хангильдина pea variety In memory of Khangildin	81,75 ± 0,794	81,60 ± 1,026	83,25 ± 1,270	86,57 ± 1,203
	фасоли сорта Лукерья Lukerya beans		82,57 ± 1,158	85,40 ± 1,112	88,40 ± 1,611

Использование растительной дисперсии из пророщенного зерна фасоли сорта Лукерья значительно улучшило цвет мякиша по сравнению с другими образцами. Цвет мякиша имел оттенок, характерный для фасоли сорта Лукерья, насыщенность которого увеличивалась с повышением количества растительной дисперсии. Добавление растительной дисперсии из пророщенного зерна гороха сорта Памяти Хангильдина не оказывало значительного влияния на цвет мякиша опытных образцов о чем свидетельствует внешний вид мякиша хлеба опытных образцов, приведенный на рисунке 2, а также

результаты органолептической оценки хлеба. Средний балл органолептической оценки при использовании дисперсии из пророщенного зерна гороха сорта Памяти Хангильдина в количестве 15 и 20% повысился на 1,50 и 4,82, соответственно; при использовании дисперсии из пророщенного зерна фасоли сорта Лукерья на 3,65 и 6,65 балла, соответственно, по отношению к контрольному образцу.

Данные о влиянии растительной дисперсии на физико-химические и структурно-механические свойства мякиша пшеничного хлеба представлены в таблицах 3 и 4.

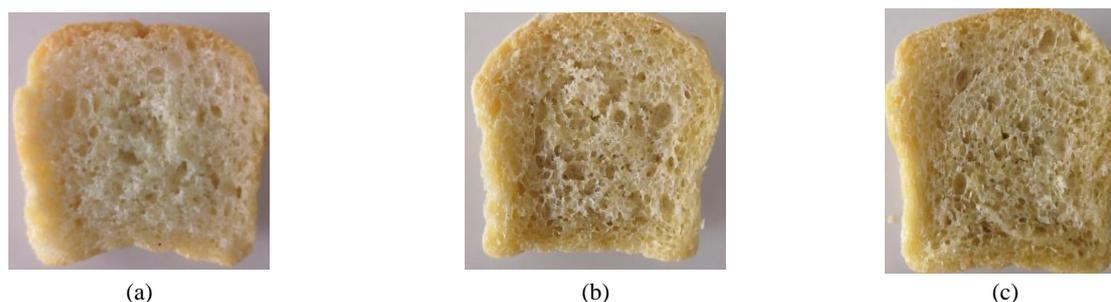


Рисунок 2. Внешний вид мякиша хлеба с использованием растительной дисперсии из пророщенного зерна гороха сорта Памяти Хангильдина: а – опытный образец № 1; б – опытный образец № 2; в-опытный образец № 3

Figure 2. Appearance of bread crumb using a plant dispersion from sprouted pea grains of the Pamyati Khangildina variety: a – experimental sample № 1; b – prototype № 2; c – prototype № 3

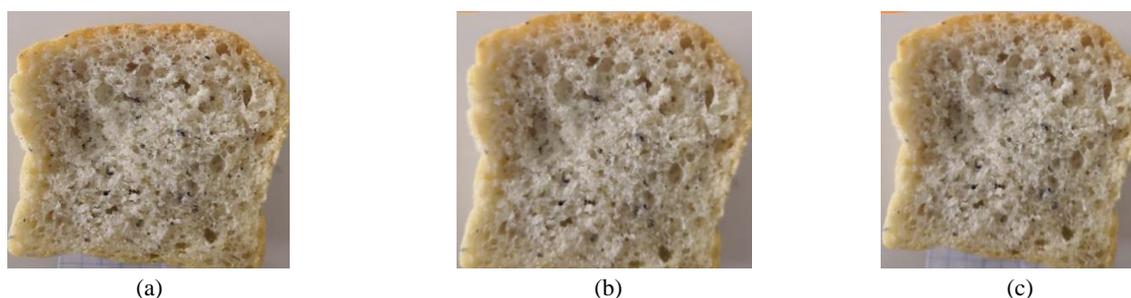


Рисунок 3. Внешний вид мякиша хлеба с использованием растительной дисперсии из пророщенного зерна фасоли сорта Лукерья: а – опытный образец № 1; б – опытный образец № 2; в-опытный образец № 3

Figure 3. Appearance of bread crumb using a plant dispersion from sprouted bean grains of the Lukerya variety: a – experimental sample № 1; b – prototype № 2; c – prototype № 3

Таблица 3.

Физико-химические показатели хлеба пшеничного с использованием дисперсии из пророщенного зерна гороха сорта Памяти Хангильдина и фасоли сорта Лукерья

Table 3.

Physico-chemical indicators of wheat bread using a dispersion of sprouted grains of peas of the memory Khangildina variety and beans of the Lukerya variety

Показатель Indicator	Контроль Control	Дисперсия из пророщенного зерна Sprouted grain dispersion					
		гороха сорта Памяти Хангильдина Pea varieties In memory of Khangildin			фасоли сорта Лукерья Lukerya beans		
		Опытный образец Prototype					
		№ 1 (10%)	№ 2 (15%)	№ 3(20%)	№ 1 (10%)	№ 2 (15%)	№ 3(20%)
Влажность мякиша хлеба, % Moisture content of bread crumb, %	42,83 ± 0,29	42,67 ± 0,28	42,67 ± 0,28	42,90 ± 0,28	42,67 ± 0,28	42,67 ± 0,28	42,80 ± 0,28
Кислотность мякиша хлеба, град Acidity of bread crumb, degrees	2,4 ± 0,1	2,2 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,5 ± 0,10	2,2 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,5 ± 0,1
Удельный объем, см ³ /г Specific volume, cm ³ /g	2,67 ± 0,02	2,70 ± 0,03	2,73 ± 0,02	2,75 ± 0,02	2,69 ± 0,02	2,74 ± 0,02	2,76 ± 0,02
Пористость, % Porosity, %	73,8 ± 0,6	73,9 ± 0,5	74,4 ± 0,4	75,7 ± 0,3	73,8 ± 0,5	74,6 ± 0,5	76,0 ± 0,2
Общая деформация мякиша, hobш, мм General crumb deformation, h _{total} , mm	8,70 ± 0,30	9,25 ± 0,25	9,80 ± 0,17	10,45 ± 0,19	8,82 ± 0,16	10,07 ± 0,16	11,00 ± 0,25

Из таблицы 3 видно, что использование растительной дисперсии в рецептуре хлеба положительно влияет на физико-химические показатели. Наибольший удельный объем и пористость получены у опытного образца № 3 при внесении дисперсии из пророщенного зерна гороха и фасоли в количестве 20%. Отмечено увеличение удельного объема на 3,0% и 3,3% соответственно, увеличение пористости на 2,6 и 3,0% соответственно, увеличение показателя общей деформации мякиша (сжимаемости) на 20,11 и 26,43% соответственно по отношению к контрольному образцу. При использовании дисперсий в дозировке 10 и 15% отклонения

от соответствующих показателей контрольного образца незначительны. Растительные дисперсии содержат декстрины, повышающие гидрофильные свойства теста и тем самым интенсифицирующие процесс брожения. Также замедляется ретроградация крахмала (самопроизвольный переход клейстеризованного крахмала из аморфного состояния в кристаллическое), которая считается основным фактором черствения хлеба.

При исследовании влияния растительной дисперсии на процесс черствения опытных образцов хлеба в течение 24, 48 и 72 часов установлено ниже следующее (таблица 4 и рисунок 4).

Таблица 4. Значения структурно-механических свойств мякиша хлеба в процессе хранения

Table 4. Values of structural and mechanical properties of bread crumb during storage

Показатель текстуры Index Texture	Срок хранения, ч Storage period, h	Контроль Control	Хлеб с использованием дисперсии из пророщенного зерна Bread using sprouted grain dispersion					
			гороха сорта Памяти Хангильдина Pea varieties In memory of Khangildin			фасоли сорта Лукерья Lukerya beans		
			Образец Sample			Образец Sample		
			1	2	3	1	2	3
Общая деформация, h _{общ} , мм General crumb deformation, h _{total} , mm	24	8,70 ± 0,30	9,25 ± 0,25	9,80 ± 0,17	10,45 ± 0,19	8,82 ± 0,16	10,07 ± 0,16	11,00 ± 0,25
	48	7,89 ± 0,33	8,21 ± 0,35	8,20 ± 0,21	9,20 ± 0,22	8,42 ± 0,11	8,75 ± 0,28	9,80 ± 0,24
	72	5,55 ± 0,35	7,20 ± 0,29	7,45 ± 0,20	8,60 ± 0,13	7,11 ± 0,20	7,60 ± 0,13	9,00 ± 0,28
Пластическая деформация, h _{пл} , мм Plastic deformation, h _{pl} , mm	24	1,92 ± 0,35	2,00 ± 0,17	2,00 ± 0,30	1,95 ± 0,23	2,00 ± 0,20	2,10 ± 0,14	2,30 ± 0,23
	48	1,85 ± 0,35	1,86 ± 0,15	1,87 ± 0,20	1,90 ± 0,23	1,92 ± 0,17	2,00 ± 0,36	2,10 ± 0,21
	72	1,55 ± 0,15	1,68 ± 0,10	1,71 ± 0,11	1,85 ± 0,09	1,70 ± 0,20	1,80 ± 0,20	2,00 ± 0,20
Упругая деформация, h _{упр} , мм Elastic deformation, h _{elastic} , mm	24	6,78 ± 0,20	7,25 ± 0,25	7,80 ± 0,35	8,50 ± 0,09	6,82 ± 0,16	7,97 ± 0,15	8,70 ± 0,05
	48	6,04 ± 0,13	6,35 ± 0,32	6,33 ± 0,18	7,30 ± 0,18	6,50 ± 0,08	6,75 ± 0,15	7,70 ± 0,10
	72	4,00 ± 0,22	5,52 ± 0,43	5,74 ± 0,12	6,75 ± 0,07	5,41 ± 0,01	5,80 ± 0,36	7,00 ± 0,31
Эластичность мякиша, Δh Crumb elasticity, Δh	24	0,78 ± 0,03	0,78 ± 0,02	0,80 ± 0,03	0,81 ± 0,01	0,77 ± 0,01	0,79 ± 0,01	0,79 ± 0,01
	48	0,77 ± 0,03	0,77 ± 0,02	0,77 ± 0,03	0,79 ± 0,03	0,77 ± 0,03	0,77 ± 0,01	0,79 ± 0,02
	72	0,72 ± 0,02	0,77 ± 0,02	0,77 ± 0,02	0,78 ± 0,03	0,76 ± 0,03	0,76 ± 0,03	0,78 ± 0,03

Значения показателей общей, пластической и упругой деформаций мякиша опытных и контрольных образцов, при хранении хлеба в течение 24 – 72 ч снижаются. При этом значения показателей общей, пластической и упругой деформаций мякиша опытных образцов остается более высокими по сравнению с контролем. Установлена тенденция к увеличению вышеназванных показателей по мере возрастания количества дисперсии. Мякиш опытного образца № 3 при хранении в течение 48 и 72 часов сохранял достаточно высокую степень деформации. Эластичность мякиша, по отношению к контрольному образцу, выше на 3,6% и 8,9% при использовании дисперсии из пророщенного зерна гороха и на 2,6% и 7,9% – при использовании дисперсии из пророщенного зерна фасоли. Относительное снижение рассчитано по отношению к показателю контрольного образца. Сжимаемость мякиша хлеба у опытных и контрольного образцов составила менее 40%. Зависимость сжимаемости мякиша хлеба от количества растительной дисперсии при его хранении в течение 24 – 72 ч представлена на рисунке 4.

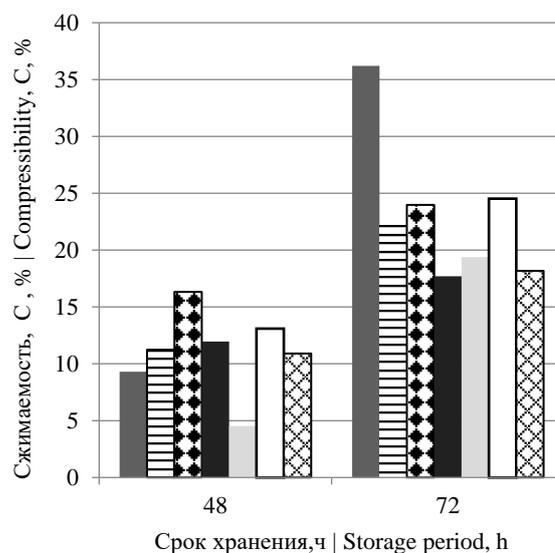


Рисунок 4. Зависимость сжимаемости мякиша хлеба контрольного и опытных образцов от продолжительности хранения

Figure 4. Dependence of the compressibility of bread crumb of control and test samples on storage duration

Наименьшее значение сжимаемости мякиша через 72 часа отмечено при внесении 20% растительной дисперсии. При использовании дисперсии из гороха этот показатель составил 17,8%, при внесении дисперсии из фасоли – 18,2%, в то время как у контрольного образца указанный показатель был на уровне 36,2%. Поскольку сжимаемость мякиша является одним из основных показателей, по которому оценивается степень свежести хлеба, полученные данные

свидетельствуют о существенном замедлении скорости черствения.

Также следует отметить, что в процессе 72 часов хранения не выявлено существенных изменений физико-химических и органолептических показателей.

Микробиологические показатели хлебобулочных изделий соответствовали требованиям СанПиН 2.3.2.1078.01 и ТР ТС 021/2011 (таблица 5).

Таблица 5.

Микробиологические показатели хлеба пшеничного

Table 5.

Microbiological characteristics of wheat bread

Показатель Indicator	Допустимые уровни Acceptable levels	Контроль Control	Хлеб с использованием дисперсии из пророщенного зерна Bread using sprouted grain dispersion					
			гороха сорта Памяти Хангильдина pea varieties in memory of Khangildin			фасоли сорта Лукерья Lukerya beans		
			Образец			Sample		
			1	2	3	1	2	3
КМАФАнМ, $\times 10^2$ QMAFAnM, $\times 10^2$	не более 1×10^3 КОЕ/г no more than 1×10^3 CFU/g	(9,33 \pm 1,53)	(8,33 \pm 1,15)	(7,00 \pm 2,00)	(8,33 \pm 1,15)	(8,67 \pm 1,15)	(8,00 \pm 1,73)	(7,67 \pm 1,53)
Плесени Mildew	не более 50 КОЕ/г no more than 50 CFU/g	22,67 \pm 2,51	19,33 \pm 2,08	19,33 \pm 0,57	16,00 \pm 2,64	15,67 \pm 2,08	18,33 \pm 1,53	16,00 \pm 2,64
БГКП (колиформы) Coliform bacteria (coliforms)	не допускаются в 1,0 г not allowed in 1.0 g	Не обнаружено Not detected						
Бактерии рода <i>Proteus</i> Bacteria of the genus <i>Proteus</i>	не допускаются в 0,1 г not allowed in 0.1 g							
<i>S. aureus</i>	не допускаются в 1,0 г not allowed in 1.0 g							
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы Pathogenic microorganisms, including salmonella	не допускаются в 25 г not allowed in 25.0 g							

Таким образом, использование растительной дисперсии в количестве 20% от массы муки в рецептуре хлеба обеспечивает высокие органолептические показатели и стабильность физико-химических показателей в процессе 72 ч хранения, что позволяет говорить о гарантированном сроке годности разрабатываемых хлебобулочных изделий, составляющем 72 часа и сделать предварительный прогноз увеличения срока хранения готового продукта.

Сравнение пищевой ценности контрольного образца хлеба из пшеничной муки по ГОСТ Р 58233–2018 и опытного образца хлеба пшеничного с использованием дисперсии из пророщенного зерна гороха и фасоли в количестве 20% свидетельствует о том, что содержание белка в хлебе заметно повышается (таблица 6).

Таблица 6.

Химический состав и энергетическая ценность хлеба пшеничного

Table 6.

Chemical composition and energy value of wheat bread

Показатель Indicator	Хлеб из пшеничной муки по ГОСТ Р 58233–2018 Wheat flour bread according to GOST R 58233–2018	Хлеб с использованием дисперсии из пророщенного зерна гороха и фасоли Bread using a dispersion of sprouted peas and beans	Уточненная физиологическая потребность для взрослых, г/сут Specified physiological requirement for adults, g/day	Степень удовлетворения суточной потребности, % при употреблении 100 г Degree of satisfaction of daily requirement, % when consuming 100 g	
				Хлеб пшеничный по ГОСТ Р 58233–2018 Wheat bread according to GOST R 58233–2018	Хлеб с использованием дисперсии из пророщенного зерна гороха и фасоли Bread using a dispersion of sprouted peas and beans
Содержание белка, % Protein content, %	6,9	8,0	75–114	9,2–6,0	10,6–7,0
			для мужчин for men		
			60–90	11,5–7,6	13,3–8,8
			для женщин for women		
Содержание жира, % Content fat, %	0,8	0,8	72–127	1,1–0,6	1,1–0,6
			для мужчин for men		
			57–100	1,4–0,8	1,4–0,8
			для женщин for women		
Содержание углеводов, % Content carbohydrates, %	46	47	301–551	15,3–8,3	15,6–8,2
			для мужчин for men		
			238–435	19,3–10,6	19,7–10,8
			для женщин for women		
Энергетическая ценность, Ккал / Кдж Energy value, Kcal/KJ	219 / 915	227 / 950	2150–3800 ккал 2150–3800 Kcal	10,2–5,7	10,6–6,0
			для мужчин for men		
			1700–3000 ккал 1700–3000 Kcal	12,9–7,3	13,4–7,6
			для женщин for women		

Заключение

Совокупный анализ результатов исследования позволяет сделать следующие выводы, 1. С увеличением количества растительной дисперсии к массе муки в рецептуре теста отмечается тенденция к увеличению содержания белка, показателей пористости, удельного объема, общей, пластической и упругой деформаций мякиша.

2. Использование дисперсии из пророщенного зерна гороха или фасоли в количестве 20% от массы муки в технологии хлеба пшеничного положительно влияет не только на органолептические показатели изделия и физико-химические свойства, но и улучшает качество хлеба, сохраняя его свежесть в течение 72 часов хранения.

3. При употреблении 100 г. хлеба с использованием дисперсии обеспечивается степень удовлетворения суточной физиологической

потребности в пищевых веществах для различных групп населения в среднем: в белке – на 9,9%, в жире – на 0,9%, в углеводах – на 13,5% и энергии – на 9,4%, согласно методическим рекомендациям МР 2.3.1.0253–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.).

Благодарности

Выражаем благодарность доктору сельскохозяйственных наук, профессору, заместителю директора по научной работе Башкирского НИИ сельского хозяйства Ф.А. Давлетову за предоставленные селекционные сорта гороха и доктору сельскохозяйственных наук, профессору ФГБОУ ВО Омский ГАУ Н.Г. Казыдуб за предоставленные селекционные сорта фасоли.

Литература

- 1 Cabello-Olmo M., Krishnan P.G., Araña M., Oneca M. et al. Analysis, and Sensory Evaluation of Improved Bread Fortified with a Plant-Based Fermented // Food Product Foods. 2023. V. 12. № 15. P. 2817. doi: 10.3390/foods12152817
- 2 Ge J., Sun C.X., Corke H., Gul K. et al. The health benefits, functional properties, modifications, and applications of pea (*Pisum sativum* L.) protein: Current status, challenges, and perspectives // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020. V. 19. № 4. P. 1835–1876. doi: 10.1111/1541-4337.12573
- 3 Hertzler S.R., Lieblein-Boff J.C.; Weiler M., Allgeier C. Plant proteins: assessing their nutritional quality and effects on health and physical function // Nutrients. 2020. V. 12. P. 3704. doi: 10.3390/nu12123704
- 4 Krause S., Asamoah E.A., Huc-Mathis D., Moulin G. et al. Applicability of pea ingredients in baked products: Links between formulation, reactivity potential and physicochemical properties // Food chemistry. 2022. V. 386. P. 132653. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132653
- 5 Krause S., Debon S., Pälchen K., Jakobi R. et al. *In vitro* digestion of protein and starch in sponge cakes formulated with pea (*Pisum sativum* L.) ingredients // Food function. 2022. V. 21/13. № 6. P. 3206–3219. doi: 10.1039/d1fo03601g
- 6 Leonova S., Kalugina O., Badamshina E., Zhiarno M. et al. Conditions for making plant dispersions based on nature-like technologies // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2023. № 51(2). P. 13088. doi: 10.15835/nbha51213088
- 7 Lu Z.H., Donner E., Liu Q. Effect of roasted pea flour/starch and encapsulated pea starch incorporation on the *in vitro* starch digestibility of pea breads // Food chemistry. 2018. V. 245. P. 71–78. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.10.037
- 8 Nilufer D., Boyacioglu D., Vodovotz Y. Functionality of soymilk powder and its components in fresh soy bread // Journal of Food Science and Technology. 2008. V. 73. № 4. P. 275–81. doi: 10.1111/j.1750-3841.2008.00727
- 9 Sharif M.K., Saleem M., Sharif H.R., Saleem R. Enrichment and fortification of traditional foods with plant protein isolates // Plant Protein Foods. P. 131–169. doi: 10.1007/978-3-030-91206-2_5
- 10 Wójcik M., Różyło R., Schönlechner R. Physico-chemical properties of an innovative gluten-free, low-carbohydrate and high protein-bread enriched with pea protein powder // Scientific Reports. 2021. V. 11. P. 14498. doi: 10.1038/s41598-021-93834-0
- 11 Белокурова Е.В., Солохин С.А. Пробиотические сыворотки в технологии булочных изделий // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 11–2 (42). С. 18–19.
- 12 Бисчокова Ф.А. Влияние смеси различных видов муки на качество хлебобулочных изделий // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2020. № 2 (28). С.45–50.
- 13 Бобков С.В., Уварова О.В. Разработка оптимального метода получения изолированных белков гороха для использования в селекции на качество // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 4. С. 408–416.
- 14 Бычкова Е.С., Подгорбунских Е.М., Рождественская Л.Н., Бухтояров В.А. и др. Разработка технологии хлебобулочных изделий с введением горохового гидролизата // Хранение и переработка сельхозсырья. 2022. № 3. С. 56–66.
- 15 Вебер А.Л., Леонова С.А., Никифорова С.А., Жиарно М. Сравнительный анализ пищевой ценности и цитотоксичности растительных дисперсий из сортов гороха и фасоли отечественной селекции // Вестник ВГУИТ. 2021. № 83(4). С. 160–168. doi: 10.20914/2310-1202-2021-4-160-168
- 16 Киселев В.М., Григорьева Р.З., Зоркина Н.Н. Разработка рецептуры и технологии бисквитного полуфабриката повышенной пищевой ценности // Техника и технология пищевых производств. 2010. № 4 (19).
- 17 Ладнова О.Л., Корячкина С.Я., Корячкин В.П., Большакова Л.С. Разработка технологии функциональных хлебобулочных изделий // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 3. С. 576–590. doi: 10.21603/2074-9414-2023-3-2458
- 18 Леушкина В.В., Вебер А.Л. Эффективность производства инновационных продуктов сегмента «dairy alternatives» в условиях Омского региона // Креативная экономика. 2022. Т. 16. № 2. С. 1117–1132. doi: 10.18334/ce.16.3.114421
- 19 Пономаренко В.М., Федорова Р.А. Изучение влияния белоксодержащей добавки на сроки хранения пшеничного хлеба // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2014. № 34. С. 40–43.
- 20 Пригарина О.М. Использование сои в технологии биологически ценного зернового ржано-пшеничного хлеба // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. 2014. № 6. С.38–41.
- 21 Ребрый П.И., Присяжная О.Н., Камоза Т.Л., Иванова Г.В. Исследование возможности использования изолята гороховой муки в производстве бисквитного полуфабриката // Вестник КрасГАУ. 2020. № 1 (154). С.96–102.
- 22 Скрипко О.В., Кубанкова Г.В., Покотило О.В., Исайчева Н.Ю. Разработка технологии новых видов хлебобулочных изделий с использованием соевого сырья // Техника и технология пищевых производств. 2015. № 2 (37). С.41–47.

References

- 1 Cabello-Olmo M., Krishnan P.G., Araña M., Oneca M. et al. Analysis, and Sensory Evaluation of Improved Bread Fortified with a Plant-Based Fermented. Food Product Foods. 2023. vol. 12. no. 15. pp. 2817. doi: 10.3390/foods12152817
- 2 Ge J., Sun C.X., Corke H., Gul K. et al. The health benefits, functional properties, modifications, and applications of pea (*Pisum sativum* L.) protein: Current status, challenges, and perspectives. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020. vol. 19. no. 4. pp. 1835–1876. doi: 10.1111/1541-4337.12573
- 3 Hertzler S.R., Lieblein-Boff J.C.; Weiler M., Allgeier C. Plant proteins: assessing their nutritional quality and effects on health and physical function. Nutrients. 2020. vol. 12. pp. 3704. doi: 10.3390/nu12123704
- 4 Krause S., Asamoah E.A., Huc-Mathis D., Moulin G. et al. Applicability of pea ingredients in baked products: Links between formulation, reactivity potential and physicochemical properties. Food chemistry. 2022. vol. 386. pp. 132653. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132653
- 5 Krause S., Debon S., Pälchen K., Jakobi R. et al. *In vitro* digestion of protein and starch in sponge cakes formulated with pea (*Pisum sativum* L.) ingredients. Food function. 2022. vol. 21/13. no. 6. pp. 3206–3219. doi: 10.1039/d1fo03601g
- 6 Leonova S., Kalugina O., Badamshina E., Zhiarno M. et al. Conditions for making plant dispersions based on nature-like technologies. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2023. no. 51(2). pp. 13088. doi: 10.15835/nbha51213088

- 7 Lu Z.H., Donner E., Liu Q. Effect of roasted pea flour/starch and encapsulated pea starch incorporation on the in vitro starch digestibility of pea breads. *Food chemistry*. 2018. vol. 245. pp. 71–78. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.10.037
- 8 Nilufer D., Boyacioglu D., Vodovotz Y. Functionality of soymilk powder and its components in fresh soy bread. *Journal of Food Science and Technology*. 2008. vol. 73. no. 4. pp. 275–81. doi: 10.1111/j. 1750–3841.2008.00727
- 9 Sharif M.K., Saleem M., Sharif H.R., Saleem R. Enrichment and fortification of traditional foods with plant protein isolates. *Plant Protein Foods*. pp. 131–169. doi: 10.1007/978–3–030–91206–2_5
- 10 Wójcik M., Różyło R., Schönlechner R. Physico-chemical properties of an innovative gluten-free, low-carbohydrate and high protein-bread enriched with pea protein powder. *Scientific Reports*. 2021. vol. 11. pp. 14498. doi: 10.1038/s41598–021–93834–0
- 11 Belokurova E.V., Solokhin S.A. Probiotic serums in bakery technology. *International Scientific Research Journal*. 2015. no. 11–2 (42). pp. 18–19. (in Russian).
- 12 Bischokova F.A. The influence of a mixture of different types of flour on the quality of bakery products. *News of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after. V.M. Kokova*. 2020. no. 2 (28). pp.45–50. (in Russian).
- 13 Bobkov S.V., Uvarova O.V. Development of an optimal method for obtaining isolated pea proteins for use in breeding for quality. *Agricultural Science of the Euro-North-East*. 2020. no. 4. pp. 408–416. (in Russian).
- 14 Bychkova E.S., Podgorbunskikh E.M., Rozhdestvenskaya L.N., Bukhtoyarov V.A., et al. Development of technology for bakery products with the introduction of pea hydrolysate. *Storage and processing of agricultural raw materials*. 2022. no. 3. pp. 56–66. (in Russian).
- 15 Weber A.L., Leonova S.A., Nikiforova S.A., Zhiarno M. Comparative analysis of the nutritional value and cytotoxicity of plant dispersions from varieties of peas and beans of domestic selection. *Proceedings of VSUET*. 2021. no. 83(4). pp. 160–168. doi: 10.20914/2310–1202–2021–4–160–168 (in Russian).
- 16 Kiselev V.M., Grigorieva R.Z., Zorkina N.N. Development of recipes and technology for semi-finished biscuit product of high nutritional value. *Technology and technology of food production*. 2010. no. 4 (19). (in Russian).
- 17 Ladnova O.L., Koryachkina S. Ya., Koryachkin V.P., Bolshakova L.S. Development of technology for functional bakery products. *Technology and technology of food production*. 2023. vol. 53. no. 3. pp. 576–590. doi.org/10.21603/2074–9414–2023–3–2458 (in Russian).
- 18 Leushkina V.V., Weber A.L. Efficiency of production of innovative products in the “dairy alternatives” segment in the conditions of the Omsk region. *Creative Economy*. 2022. V. 16. no. 2. pp. 1117–1132. doi: 10.18334/ce.16.3.114421 (in Russian).
- 19 Ponomarenko V.M., Fedorova P.A. Study of the influence of protein-containing additives on the shelf life of wheat bread. *News of the St. Petersburg State Agrarian University*. 2014. no. 34. pp. 40–43. (in Russian).
- 20 Prigarina O.M. The use of soybeans in the technology of biologically valuable grain rye-wheat bread. *Agricultural sciences and agro-industrial complex at the turn of the century*. 2014. no. 6. pp.38–41. (in Russian).
- 21 Rebriy P.I., Prisyazhnaya O.N., Kamosa T.L., Ivanova G.V. Study of the possibility of using pea flour isolate in the production of biscuit semi-finished product. *Bulletin of KrasGAU*. 2020. no. 1 (154). pp.96–102. (in Russian).
- 22 Skripko O.V., Kubankova G.V., Pokotilo O.V., Isaycheva N. Yu. Development of technology for new types of bakery products using soy raw materials. *Technology and technology of food production*. 2015. no. 2 (37).pp.41–47. (in Russian).

Сведения об авторах

Анна Л. Вебер к.т.н., доцент, кафедра продуктов питания и пищевой биотехнологии, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Институтская пл., 2, г. Омск, 644008, Россия, anna.web@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0715-0426>

Светлана А. Леонова д.т.н., профессор, кафедра общественного питания и технологии, Башкирский государственный аграрный университет, ул.50-летия Октября, 34, г. Уфа, 450001, Россия, s.leonova@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7613-430X>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Anna L. Veber Cand. Sci. (Engin.), associate professor, food and food biotechnology department, Omsk State Agrarian University named after P.A.Stolypin, Institutskaia sq. 2, Omsk, 644008, Russia, anna.web@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-0715-0426>

Svetlana A. Leonova Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of catering and processing department, Bashkir State Agrarian University, 50-letiya Oktyabrya Str., 34, Ufa, 450054, Russia, s.leonova@inbox.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7613-430X>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 15/04/2024	После редакции 16/05/2024	Принята в печать 03/06/2024
Received 15/04/2024	Accepted in revised 16/05/2024	Accepted 03/06/2024

Свойства сои как гарант экономической доступности продукта

Любовь Л. Пашина	¹	pashinall@mail.ru	 0000-0002-7991-5793
Екатерина И. Решетник	¹	soia-28@ya.ru	 0000-0002-3166-9992
Антонина П. Пакусина	¹	pakusina.a@ya.ru	 0000-0001-5547-3444
Светлана Л. Грибанова	¹	lsv24leon@mail.ru	 0000-0003-1448-4328
Юлия И. Держапольская	¹	yule4ka_1982@mail.ru	 0000-0002-1851-0063
Павел Н. Школьников	¹	pavel.shkolnikov@mail.ru	 0000-0003-3587-3082

¹ Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия

Аннотация. В статье рассматривается роль физических свойств сои в повышении урожайности и качества продукта, что напрямую способствует увеличению экономической доступности сои на рынке. Исследование подчеркивает важность оптимизации таких характеристик как размер зерен, их однородность и влагосодержание, что улучшает процессы переработки и снижает производственные потери. Анализируется, как стабильные физические свойства сои могут уменьшить риски в агропромышленном производстве, повысить устойчивость к климатическим изменениям, болезням и вредителям, что в итоге способствует стабилизации цен и делает продукты питания более доступными для потребителей. Особое внимание уделено значению сои как высокобелкового продукта в контексте глобального роста населения и необходимости повышения эффективности производства для обеспечения продовольственной безопасности. Соя играет значительную роль в улучшении экономической доступности продуктов питания благодаря своей высокой питательной ценности и относительно низкой стоимости. Как источник белка, соя часто служит доступной альтернативой более дорогим мясным продуктам, что делает её особенно важной для бюджетного питания в регионах с низким доходом. Делается заключение, что дальнейшие исследования и улучшение физических свойств сои могут значительно усилить её роль в экономической доступности здорового питания на мировом рынке, что открывает новые возможности для агрономии и биотехнологии.

Ключевые слова: соя, физические свойства сои, экономическая доступность, продовольственная безопасность, биотехнологии.

Properties of soybeans as a guarantee of economic accessibility of the product

Lyubov L. Pashina	¹	pashinall@mail.ru	 0000-0002-7991-5793
Ekaterina I. Reshetnik	¹	soia-28@ya.ru	 0000-0002-3166-9992
Antonina P. Pakusina	¹	pakusina.a@ya.ru	 0000-0001-5547-3444
Svetlana L. Gribanova	¹	lsv24leon@mail.ru	 0000-0003-1448-4328
Yulia I. Derzhapolskaya	¹	yule4ka_1982@mail.ru	 0000-0002-1851-0063
Pavel N. Shkolnikov	¹	pavel.shkolnikov@mail.ru	 0000-0003-3587-3082

¹ Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnicheskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia

Abstract. The article examines the role of the physical properties of soybeans in increasing the yield and quality of the product, which directly contributes to increasing the economic availability of soybeans on the market. The study highlights the importance of optimizing characteristics such as grain size, uniformity and moisture content, which improves processing processes and reduces production losses. It analyzes how stable physical properties of soybeans can reduce risks in agro-industrial production, increase resistance to climate change, diseases and pests, which ultimately helps to stabilize prices and make food more affordable for consumers. Special attention is paid to the importance of soybeans as a high-protein product in the context of global population growth and the need to increase production efficiency to ensure food security. Soy plays a significant role in improving the economic accessibility of food due to its high nutritional value and relatively low cost. As a source of protein, soy often serves as an affordable alternative to more expensive meat products, which makes it especially important for budget nutrition in low-income regions. It is concluded that further research and improvement of the physical properties of soybeans can significantly enhance its role in the economic accessibility of healthy nutrition on the world market, which opens up new opportunities for agronomy and biotechnology.

Keywords: soybeans, physical properties of soybeans, economic accessibility, food security, biotechnology.

Для цитирования

Пашина Л.Л., Решетник Е.И., Пакусина А.П., Грибанова С.Л., Держапольская Ю.И., Школьников П.Н. Свойства сои как гарант экономической доступности продукта // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 224–236. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-224-236

For citation

Pashina L.L., Reshetnik E.I., Pakusina A.P., Gribanova S.L., Derzhapolskaya Yu.I., Shkolnikov P.N. Properties of soybeans as a guarantee of economic accessibility of the product. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 224–236. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-224-236

Введение

Актуальность исследования физических свойств сои как гаранта экономической доступности продукта обуславливается рядом ключевых факторов, которые влияют на мировой агропромышленный комплекс, экономическую стабильность и продовольственную безопасность.

Самую важную роль играет глобальный рост населения и продовольственная безопасность. Увеличение мирового населения требует повышения эффективности агропромышленного производства. При этом соя как высокобелковый продукт может обеспечить продовольственную безопасность. Исследование физических свойств сои и их оптимизация могут значительно увеличить урожайность и качество продукта.

Сельское хозяйство является очень обширной сферой мировой экономики и обеспечивает людей продуктами питания. Основная часть белка в рационе животного происхождения (59% рациона), но весома и другая часть, получаемая от зерновых, овощей и бобовых. Вот почему растительный белок имеет важное значение в питании. Качество питания влияет на здоровье, благополучие, физическую форму и эмоции, а также предотвращает различные заболевания, обеспечивая естественный иммунитет. Для оптимального рациона необходимо равновесие между всеми энергетическими преобразованиями в организме и балансом питания. Сбалансированное питание можно получить путем дополнительного потребления различных растительных продуктов в обработанном виде [1].

Соя принадлежит к семейству бобовых и происходит из регионов Восточной Азии, где ее культивируют с древних времен. Она занимает важное место в кухне Дальнего Востока, где ее называют «священным растением» или «желтым самоцветом». Соя также одно из самых экономически ценных растений. В семенах содержится значительное количество жира (около 18%) и белка (около 40%), а также минеральные вещества (кальций, фосфор, калий, магний, железо, медь, цинк, селен) и витамины: С, В3, В1, В2, Е, В6, В9, К, А. Богатый химический состав семян позволяет использовать их в самых разных целях [2].

В соевом белке мало сернистых аминокислот, наиболее значимой лимитирующей аминокислотой является метионин, за которым следует цистин и треонин. Но эта разница на самом деле не очень велика, и соевые белковые продукты по качеству эквивалентны животному белку. Более того, соевый белок содержит достаточное количество лизина, которого не хватает большинству белков злаков. Таким образом, аминокислотный профиль соевых бобов

дополняет аминокислотный профиль зерновых культур. Кроме того, бобовые можно использовать для обогащения питания из зерновых [3].

Физические свойства зерна сои являются объектом интереса для исследователей в различных областях, таких как сельское хозяйство, пищевая промышленность и материаловедение. Структура зерна сои включает в себя семенную кожуру, семядоли и эмбрион.

Зерно сои представляет собой комплексное образование, состоящее из семенной оболочки с разнообразными размерами и цветами. Эта оболочка является твердой и водостойкой, обеспечивая эффективную защиту семядолей и гипокотили от повреждений, а также контролируя процесс прорастания через микропиле. Структура ядра сои, включающая семенную кожуру, две семядоли, гипокотиль и оперение, варьируется в зависимости от генетических и экологических факторов. Семядоли, составляющие основную часть массы семени, содержат в своих клетках практически все масло и белок.

Семенная кожура, составляющая примерно 8% массы семени, играет важную роль в защите и скреплении семядолей. Эпидермальный слой семенной кожуры состоит из плотно упакованных толстостенных клеток, в то время как гиподерма формирует прочный опорный слой с межклеточным пространством. Зародыш сои, содержащий зародыш и семядолю, представляет собой сложную структуру, играющую важную роль в начальном этапе прорастания.

Семядоли сои запасают пищу для будущего растения и состоят из алейронового и рогового слоев, варьирующихся по содержанию белка и крахмала. Относительное соотношение роговых и мучнистых компонентов семядолей определяет текстуру зерна, что влияет на его качество и классификацию.

Соевые бобы, хоть и богаты белком, содержат в себе также антипитательные факторы, которые могут быть нежелательны для человеческого питания. Эти вещества, включая ингибиторы трипсина, гемагглютинины, фитиновую кислоту, фермент липоксигеназы и олигосахариды, могут снижать питательные качества и усвояемость растительных белков, а в больших количествах вызывать проблемы со здоровьем, вплоть до фатальных последствий [4, 21].

Для решения этой проблемы селекционные программы направлены на снижение содержания антипитательных факторов до безопасного уровня. Также проводятся работы по инаktivации этих веществ, например, через термическую обработку или контроль pH, чтобы обеспечить безопасное и питательное использование сои в рационе питания.

Процесс переработки бобовых начинается с удаления семенной оболочки и расщепления семядолей. Однако, в случае соевых бобов, процесс шелушения является ключевым этапом. Шелушение обеспечивает сохранность ценных питательных веществ, таких как белок и аминокислоты, избавляясь от неперевариваемой клетчатки [5].

Этот процесс имеет несколько преимуществ. Во-первых, он уменьшает содержание клетчатки и антипитательных факторов, что положительно влияет на питательные качества и усвояемость соевого продукта. Во-вторых, шелушение улучшает внешний вид, текстуру, кулинарные и вкусовые качества продукта. И наконец, этот процесс делает продукт более потребительским и приемлемым для широкого круга потребителей.

Однако, существуют вызовы, связанные с неправильными методами обработки и использованием устаревшего оборудования, что может негативно сказаться на качестве и структуре потребления продуктов из сои. Поэтому современные технологии процессы переработки жизненно необходимы для обеспечения высокого качества конечного продукта.

Физические свойства сои играют важную роль в ее выращивании и переработке. Знание некоторых важных физических свойств, таких как форма, размер, объем, площадь поверхности, масса тысячи зерен, плотность и пористость, необходимо для проектирования различных систем разделения, обработки, хранения и сушки, а также для анализа их поведения во время реальных технологических процессов. Размер и форма, например, важны для их электростатического отделения от нежелательных материалов и для разработки калибровочного оборудования. Кроме того, это важно при разработке машин для шелушения и измельчения. Форма материала важна для аналитического прогнозирования его поведения при высыхании. Размер зерна может быть выражен через массу ядра, средний арифметический диаметр, средний геометрический диаметр или объем ядра. Форма зерна может быть классифицирована как плоская или круглая в зависимости от критериев его ширины и толщины. Термин "сферичность", который определяется как отношение объема зерна к объему описанной сферы, обычно используется для характеристики формы зерна. Объемная плотность, истинная плотность и пористость используются при проектировании бункеров и силосов для хранения, отделении желаемых материалов от примесей, очистке, сортировке и оценке качества продуктов. Помимо других факторов,

как насыпная, так и истинная плотность во многом зависят от клеточной структуры зерна. Ячеистая структура биологического материала оказывает большое влияние на его механическое поведение под нагрузкой.

Знание физических свойств сои помогает оптимизировать процессы выращивания и сбора урожая. Например, плотность и пористость зерна могут влиять на эффективность машин и оборудования, используемых для сбора урожая, что может повлиять на производительность и снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Во-вторых, физические свойства сои влияют на транспортировку и хранение урожая. Например, знание объемной плотности и пористости сои помогает оптимизировать процессы упаковки, транспортировки и хранения, что может снизить потери урожая и улучшить его качество по прибытии на рынок.

Кроме того, физические свойства сои важны при ее переработке. Например, форма и размер зерен сои могут влиять на эффективность процессов измельчения, сепарации и очистки, что может повлиять на выход и качество конечных продуктов. Знание этих свойств позволяет компаниям оптимизировать процессы переработки и снизить затраты на энергию, оборудование и ресурсы [6].

Таким образом, физические свойства сои играют важную роль в экономической эффективности компаний, занимающихся ее выращиванием, транспортировкой, хранением и переработкой, позволяя им оптимизировать процессы и снижать затраты.

Экономическая доступность является очень привлекательным качеством сои как для производителя, так и для потребителя. Стоимость производства и цена являются критически важными аспектами для всех участников продовольственного рынка. Физические свойства сои напрямую влияют на эффективность производственных процессов и, следовательно, на экономическую доступность продукта. Оптимизация этих свойств снижает затраты и делает сою еще более доступной для широкого круга потребителей.

Соя способна обеспечить эффективность агропромышленного сектора. Совершенствование технологий выращивания и обработки сои, направленное на улучшение её физических свойств, способствует повышению устойчивости агропромышленного производства к изменениям климата, болезням и вредителям. Это снижает риск потерь и способствует более рациональному использованию природных ресурсов.

Необходимо отметить, что соя является одной из наиболее прибыльных сельскохозяйственных культур на протяжении многих лет у товаропроизводителей Дальневосточного федерального округа. На соевые бобы существует стабильный спрос как среди отечественных переработчиков, так и иностранных товаропроизводителей. Российская соя востребована на рынках стран Азиатского-тихоокеанского региона: Китай, Южная Корея, Япония.

Материалы и методы

Исследования базируются на обобщении научных подходов к изучению физических свойств сои и ее экономического значения для агропромышленного комплекса.

Результаты и обсуждение

Соя принадлежит к семейству бобовых и происходит из регионов Восточной Азии, где ее культивируют с древних времен. Она занимает важное место в кухне Дальнего Востока, где ее называют «священным растением» или «желтым самоцветом». Соя также одно из самых экономически ценных растений. В семенах содержится значительное количество жира (около 18%) и белка (около 40%), а также минеральные вещества (кальций, фосфор, калий, магний, железо, медь, цинк, селен) и витамины: С, В3, В1, В2, Е, В6, В9, К, А. Богатый химический состав семян позволяет использовать их в самых разных целях [2].

В соевом белке мало сернистых аминокислот, наиболее значимой лимитирующей аминокислотой является метионин, за которым следует цистин и треонин. Но эта разница на самом деле не очень велика, и соевые белковые продукты по качеству эквивалентны животному белку. Более того, соевый белок содержит достаточное количество лизина, которого не хватает большинству белков злаков. Таким образом, аминокислотный профиль соевых бобов дополняет аминокислотный профиль зерновых культур. Кроме того, бобовые можно использовать для обогащения питания из зерновых [3].

Физические свойства зерна сои являются объектом интереса для исследователей в различных областях, таких как сельское хозяйство, пищевая промышленность и материаловедение. Структура зерна сои включает в себя семенную кожуру, семядоли и эмбрион.

Зерно сои представляет собой комплексное образование, состоящее из семенной оболочки с разнообразными размерами и цветами. Эта оболочка является твердой и водостойкой, обеспечивая эффективную защиту семядолей и гипокотила от повреждений, а также контролируя процесс прорастания через микропиле.

Структура ядра сои, включающая семенную кожуру, две семядоли, гипокотиль и оперение, варьируется в зависимости от генетических и экологических факторов. Семядоли, составляющие основную часть массы семени, содержат в своих клетках практически все масло и белок.

Семенная кожура, составляющая примерно 8% массы семени, играет важную роль в защите и скреплении семядолей. Эпидермальный слой семенной кожуры состоит из плотно упакованных толстостенных клеток, в то время как гиподерма формирует прочный опорный слой с межклеточным пространством. Зародыш сои, содержащий зародыш и семядолю, представляет собой сложную структуру, играющую важную роль в начальном этапе прорастания.

Семядоли сои запасают пищу для будущего растения и состоят из алейронового и рогового слоев, варьирующихся по содержанию белка и крахмала. Относительное соотношение роговых и мучнистых компонентов семядолей определяет текстуру зерна, что влияет на его качество и классификацию.

Соевые бобы, хоть и богаты белком, содержат в себе также антипитательные факторы, которые могут быть нежелательны для человеческого питания. Эти вещества, включая ингибиторы трипсина, гемагглютинины, фитиновую кислоту, фермент липоксигеназы и олигосахариды, могут снижать питательные качества и усвояемость растительных белков, а в больших количествах вызывать проблемы со здоровьем, вплоть до фатальных последствий [4, 21].

Для решения этой проблемы селекционные программы направлены на снижение содержания антипитательных факторов до безопасного уровня. Также проводятся работы по инактивации этих веществ, например, через термическую обработку или контроль pH, чтобы обеспечить безопасное и питательное использование сои в рационе питания.

Процесс переработки бобовых начинается с удаления семенной оболочки и расщепления семядолей. Однако, в случае соевых бобов, процесс шелушения является ключевым этапом. Шелушение обеспечивает сохранность ценных питательных веществ, таких как белок и аминокислоты, избавляясь от неперевариваемой клетчатки [5].

Этот процесс имеет несколько преимуществ. Во-первых, он уменьшает содержание клетчатки и антипитательных факторов, что положительно влияет на питательные качества и усвояемость соевого продукта. Во-вторых, шелушение улучшает внешний вид, текстуру, кулинарные и вкусовые качества продукта.

И наконец, этот процесс делает продукт более потребительским и приемлемым для широкого круга потребителей.

Однако, существуют вызовы, связанные с неправильными методами обработки и использованием устаревшего оборудования, что может негативно сказаться на качестве и структуре потребления продуктов из сои. Поэтому современные технологии процессы переработки жизненно необходимы для обеспечения высокого качества конечного продукта.

Физические свойства сои играют важную роль в ее выращивании и переработке. Знание некоторых важных физических свойств, таких как форма, размер, объем, площадь поверхности, масса тысячи зерен, плотность и пористость, необходимо для проектирования различных систем разделения, обработки, хранения и сушки, а также для анализа их поведения во время реальных технологических процессов. Размер и форма, например, важны для их электростатического отделения от нежелательных материалов и для разработки калибровочного оборудования. Кроме того, это важно при разработке машин для шелушения и измельчения. Форма материала важна для аналитического прогнозирования его поведения при высыхании. Размер зерна может быть выражен через массу ядра, средний арифметический диаметр, средний геометрический диаметр или объем ядра. Форма зерна может быть классифицирована как плоская или круглая в зависимости от критериев его ширины и толщины. Термин "сферичность", который определяется как отношение объема зерна к объему описанной сферы, обычно используется для характеристики формы зерна. Объемная плотность, истинная плотность и пористость используются при проектировании бункеров и силосов для хранения, отделении желаемых материалов от примесей, очистке, сортировке и оценке качества продуктов. Помимо других факторов, как насыпная, так и истинная плотность во многом зависят от клеточной структуры зерна. Ячеистая структура биологического материала оказывает большое влияние на его механическое поведение под нагрузкой.

Знание физических свойств сои помогает оптимизировать процессы выращивания и сбора урожая. Например, плотность и пористость зерна могут влиять на эффективность машин и оборудования, используемых для сбора урожая, что может повлиять на производительность и снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт.

Во-вторых, физические свойства сои влияют на транспортировку и хранение урожая. Например, знание объемной плотности и пористости сои помогает оптимизировать процессы упаковки,

транспортировки и хранения, что может снизить потери урожая и улучшить его качество по прибытии на рынок.

Кроме того, физические свойства сои важны при ее переработке. Например, форма и размер зерен сои могут влиять на эффективность процессов измельчения, сепарации и очистки, что может повлиять на выход и качество конечных продуктов. Знание этих свойств позволяет компаниям оптимизировать процессы переработки и снизить затраты на энергию, оборудование и ресурсы [6].

Таким образом, физические свойства сои играют важную роль в экономической эффективности компаний, занимающихся ее выращиванием, транспортировкой, хранением и переработкой, позволяя им оптимизировать процессы и снижать затраты.

Экономическая доступность является очень привлекательным качеством сои как для производителя, так и для потребителя. Стоимость производства и цена являются критически важными аспектами для всех участников продовольственного рынка. Физические свойства сои напрямую влияют на эффективность производственных процессов и, следовательно, на экономическую доступность продукта. Оптимизация этих свойств снижает затраты и делает сою еще более доступной для широкого круга потребителей.

Соя способна обеспечить эффективность агропромышленного сектора. Совершенствование технологий выращивания и обработки сои, направленное на улучшение её физических свойств, способствует повышению устойчивости агропромышленного производства к изменениям климата, болезням и вредителям. Это снижает риск потерь и способствует более рациональному использованию природных ресурсов.

Необходимо отметить, что соя является одной из наиболее прибыльных сельскохозяйственных культур на протяжении многих лет у товаропроизводителей Дальневосточного федерального округа. На соевые бобы существует стабильный спрос как среди отечественных переработчиков, так и иностранных товаропроизводителей. Российская соя востребована на рынках стран Азиатского-тихоокеанского региона: Китай, Южная Корея, Япония.

Особенностью развития российского рынка сои является тенденция расширения площадей ее посева в 2020-х гг. по сравнению с предшествующими периодами. Также наблюдается улучшение структуры посевных площадей, учитывая природно-климатические особенности регионов выращивания. Важно отметить, что посевные площади сои в Центральном федеральном округе впервые превысили площади в Дальневосточном федеральном округе в 2021 г.

Этот фактор свидетельствует о динамичных изменениях в отрасли.

Структура производства сои в России и Дальневосточном округе приведена в таблице 1 [7].

Посевы сои на территории России в основном сосредоточены в Центральном и Дальневосточном федеральных округах, где суммарно они занимают 78,7% всех посевных площадей в 2022 г. В Амурской области сосредоточено 24,6% посевных площадей сои от общероссийских. В структуре посевных площадей наблюдается

снижение в Центральном и Дальневосточном федеральных округах удельного веса, причем в Дальневосточном округе это снижение несколько меньше. В целом же в обоих округах посевные площади под соей расширились. Следует обратить внимание, что посевы в Дальневосточном федеральном округе выросли (11,3%) больше, чем Центральном федеральном округе (9,7%). Больше всего площади сои увеличились в Амурской области (12%).

Таблица 1.

Посевные площади сои в России

Table 1.

Biochemical parameters of beet roots

Регионы Regions	2021 г.		2022 г.		Изменение Change	
	тыс. га thousand hectares	уд. вес, % beat weight, %	тыс. га thousand hectares	уд. вес, % beat weight, %	тыс. га thousand hectares	уд. вес, % beat weight, %
Российская Федерация Russian Federation	3 068, 0	100,0	3 506,5	100,0	438,5	14,3
Центральный федеральный округ Central Federal District	1 307,7	42,6	1 434,4	40,9	126,7	9,7
Дальневосточный федеральный округ Far Eastern Federal District	1 191,6	38,8	1 326,7	37,8	135,1	11,3
Амурская область Amur region	769,4	25,1	861,6	24,6	92,2	12,0

Более длительный период динамики показателей посевных площадей сои в России представлен на рисунке 1.

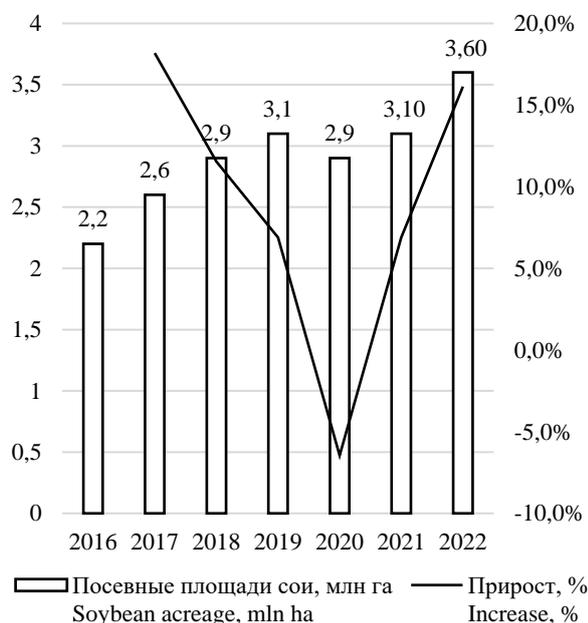


Рисунок 1. Динамика показателей посевных площадей сои в России в 2016–2022 гг. [10]

Figure 1. Dynamics of indicators of soybean acreage in Russia in 2016–2022 [10]

Валовое производство сои ежегодно увеличивается, что отражено в таблице 2.

Структура производства сои в России и Дальневосточном округе приведена в таблице 1 [7].

Как показывают данные статистики, валовый сбор сои существенно увеличился в России – прирост составил чуть больше 26,0%. На Центральный федеральный округ в структуре валового сбора приходится более 45,0% урожая сои в 2021 г. от общероссийского, а в 2022 г. его доля незначительно снизилась и составила 43,1%.

В Дальневосточном федеральном округе валовый сбор сои вырос почти на 6,0 млн. ц. Если в 2020 г. его удельный вес составлял 35,1% общероссийского урожая, то в 2022 г. достиг почти 38,0%. Все регионы Дальневосточного федерального округа выращивают сою кроме Забайкальского края. Необходимо отметить, что значительная доля валовых сборов приходится на Амурскую область. Здесь собирается 26,0% сои от валового производства в России. Доля остальных областей Дальневосточного федерального округа менее значительна. Даже расширение посевных площадей в других регионах Дальневосточного федерального округа пока существенно не отразилось на валовом сборе соевых бобов [7, 8, 9].

Таблица 2.
Динамика показателей валового сбора сои в России и Дальневосточном федеральном округе [10]
Table 2.
Dynamics of gross soybean yield indicators in Russia and the Far Eastern Federal District [10]

Регионы Regions	2021 г.		2022 г.		Изменение Change	
	тыс. га thousand hectares	уд. вес, % beat weight, %	тыс. га thousand hectares	уд. вес, % beat weight, %	тыс. га thousand hectares	уд. вес, % beat weight, %
Российская Федерация Russian Federation	тыс. ц	уд. вес, %	тыс. ц	уд. вес, %	тыс. ц	прирост, %
Центральный федеральный округ Central Federal District	47 599,1	100,0	60 031, 1	100,0	12 432,0	126,1
Дальневосточный федеральный округ Far Eastern Federal District	21 759,6	45,7	25 864,2	43,1	4 104,6	118,9
Приморский край Primorsky Krai	16 696,1	35,1	22 677,3	37,8	5 981,2	135,8
Хабаровский край Khabarovsk region	4 056, 2	8,5	5 226,1	8,7	1 169,9	128,8
Амурская область Amur region	420,7	0,9	500,3	0,8	79,6	118,9
Еврейская автономная область Jewish Autonomous Region	11 385,5	23,9	15 602,3	26,0	4 216,8	137

Было проведено исследование, направленное на анализ связи между стоимостными элементами производства сои. Исследование показало, что производство сои под управлением мелких фермеров может быть прибыльным бизнесом. Оно основано на оценке составляющих затрат на производство и рентабельности сои. Результаты анализа бюджета предприятия показали, что фермеры получили значительную валовую прибыль от производства сои. Коэффициент затрат также указывает на выгодность этой деятельности. Однако, анализ чувствительности выявил, что изменения в ценах на зерно и урожайности могут существенно влиять на валовую прибыль. Выводом исследования является то, что производство сои может быть еще более прибыльным при использовании технологических инноваций, например, системы рыночной информации и маркетинговых стратегий, которые помогают увеличить урожайность и снизить волатильность цен, делая процесс производства сои более привлекательным для фермеров [10].

Цена является одним из факторов, влияющих на рентабельность продукции.

Средние цены на сою в Дальневосточном федеральном округе выросли с 24,1 тыс. руб. за 1 тонну в 2016 г. до 43,1 тыс. руб. за 1 тонн в 2022 г. (рисунок 2).

Самые дорогие соевые бобы в 2022 г. были в Центральном федеральном округе (45,9 тыс. руб. за 1 т), а в Дальневосточном федеральном округе цена была несколько ниже (43,0 тыс. руб./т).

В Амурской области средняя цена сои к 2022 г. по сравнению с 2021 г. сократилась от 38,4 до 30,7 тыс. руб. за 1 тонну (20,1%). Рентабельность сои в 2021 г. составила около 81,8%, а в 2022 г. этот показатель сократился до 42,4%.

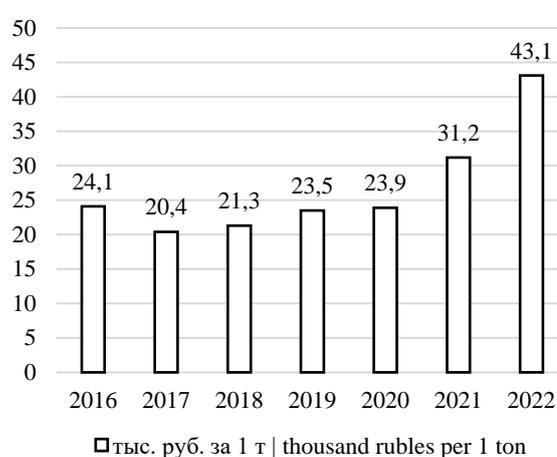


Рисунок 2. Динамика цен на сою в России в 2016–2022 гг. [8]

Figure 2. Dynamics of soybean prices in Russia in 2016–2022 [8]

Эти факторы делают сою одной из ключевых культурных растений сельскохозяйственного сектора России.

Ключевыми факторами, влияющими на эффективность производства сои, являются качество почвы, климатические условия, использование современных агротехнологий, управление вредителями и болезнями, а также генетические характеристики используемых сортов сои. Эти элементы напрямую влияют на урожайность, здоровье растений и качество урожая, определяя общую продуктивность и рентабельность соевого хозяйства.

Контроль и минимизация затрат на входы, такие как семена, удобрения, средства защиты растений и водные ресурсы, напрямую снижают общие расходы на единицу продукции. Это увеличивает маржу прибыли, поскольку себестоимость продукта становится ниже.

Повышение продуктивности сои возможно через улучшенные сорта, оптимизированные агротехнологии и лучший уход за культурами, что приводит к увеличению объемов производства на единицу площади. Большой объем урожая при одинаковых или немного увеличенных затратах улучшает экономическую эффективность производства.

Эффективное управление затратами на производство сои делает аграрные предприятия более гибкими и способными приспосабливаться к изменениям рыночных цен на сою и другие внешние экономические условия. Это обеспечивает стабильность доходов даже в периоды ценовых спадов.

Фермеры или агропромышленные компании, которые эффективно управляют затратами и повышают урожайность сои, становятся более конкурентоспособными на рынке. Это позволяет им предложить более выгодные условия поставки, привлекая больше клиентов и увеличивая объемы продаж.

Увеличение продуктивности сои часто связано не только с количеством, но и с качеством урожая. Высококачественная соя может привлекать более высокую цену на рынке, что дополнительно увеличивает доходы производителей.

Таким образом, эффективное управление затратами и увеличение продуктивности культур являются важными факторами, определяющими прибыльность соевых культур.

Соя как агрокультура обладает рядом уникальных характеристик, которые позволяют агрокомпаниям гибко управлять продуктивностью и, в конечном счете, прибыльностью. Эти особенности включают генетическую адаптивность и широкий спектр физических свойств зерен, таких как размер, состав и влагоемкость, что делает сою исключительно подходящей для разнообразных агроклиматических условий и технологий производства.

Во-первых, соя характеризуется высокой пластичностью в отношении условий выращивания. Это позволяет выращивать ее в различных климатических поясах, что существенно расширяет географические возможности для производства. Физические свойства зерен сои, такие как способность к быстрой адаптации к изменениям влажности и температуры, обеспечивают ее устойчивость к изменениям климата и, как следствие, стабильность урожайности.

Кроме того, современные агротехнологии позволяют манипулировать генетическими и биохимическими особенностями сои, например, улучшая ее устойчивость к болезням и вредителям или повышая содержание в зернах белка и масла. Это увеличивает не только количество,

но и качество продукции, что непосредственно влияет на прибыльность производства за счет более высокой рыночной стоимости высококачественной сои.

Физические свойства зерен сои также играют решающую роль в оптимизации перерабатывающих процессов. Зерна сои, обладающие определенными размерами и формами, меньше подвержены механическим повреждениям во время уборки и транспортировки, что снижает потери и повышает общую эффективность производственной цепочки.

Более однородные зерна упрощают процесс обработки, что сокращает операционные и энергетические затраты, снижая тем самым себестоимость произведенной продукции. К тому же, зерна сои с высоким содержанием белка и жира ценятся на рынке выше, что может повышать доходы от их продажи. Сорта сои, демонстрирующие стабильные урожаи в различных погодных условиях, минимизируют риски для производителей и инвесторов, делая культуру более привлекательной для выращивания.

Дальневосточный ГАУ получил бронзовую медаль на Всероссийской агропромышленной выставке "Золотая осень-2022" за сорт сои "Дебют". Этот сорт, разработанный коллективом учёных-селекционеров, уже включён в госреестр селекционных достижений России и отличается высокой продуктивностью, устойчивостью к растрескиванию бобов и хорошей адаптацией к механизированному возделыванию. Потенциальная урожайность сорта составляет 32,4 центнера с гектара. Создание новых сортов сои и других зерновых культур проводится в университете в рамках стратегического проекта "Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур" в рамках программы "Приоритет 2030. Дальний Восток".

Нельзя не сказать о том, что качество и питательная ценность продуктов питания являются важными факторами здорового образа жизни. Физические свойства сои напрямую влияют на её питательную ценность и \ способность сохранять полезные вещества в процессе обработки и хранения. Исследования в этой области способствуют разработке новых продуктов питания, отвечающих современным требованиям к здоровому питанию [11].

Соевые бобы являются богатым источником высококачественного белка, полезных жирных кислот и фитоэстрогенов. Соевые бобы являются богатым источником растительного белка, относящегося к альбуминам, глобулинам и глютеинам, которые используются как очень важный кормовой ингредиент, хорошо дополняющий зерновой белок в кормлении птицы и свиней.

Это связано с высоким содержанием лизина в соевых бобах. Соевый белок находит все более широкое применение в питании человека. Соевое масло содержит много ненасыщенных жирных кислот, таких как линолевая кислота, олеиновая кислота и линоленовая кислота. Фитоэстрогены являются важным компонентом сои.

В последние годы белки и жиры, содержащиеся в соевых бобах, стали ценным сырьем в питании человека и используются для производства продуктов, непосредственно используемых человеком, например, соевого масла, круп и муки, сои. молока, сыра тофу, соевого соуса, пасты мисо, а также являются добавкой к мясным продуктам (консервы, мясное ассорти, паштеты, колбасы), сладостям, пирожным, хлебу.

Так в исследовании коллектива авторов из Дальневосточного ГАУ, КрасГАУ изучены органолептические и физические показатели зерна сои, а также выполнен их сравнительный анализ. Основной акцент сделан на оценке крупности и выравненности зерна, что является важным фактором для определения его качества и пригодности к пищевому использованию. Результаты исследования показали, что новые сорта сои имеют характеристики, соответствующие требованиям продовольственных сортов и подходят для пищевой переработки. Это исследование вносит вклад в разработку методов оценки качества зерна сои и может использоваться для повышения эффективности селекционной работы и производства сои [12, 23].

Исследование О.В. Скрипко, посвящено изучению функционально-технологических свойств белково-витаминных концентратов и белково-углеводных гранулятов на основе сои. В ходе исследования были определены основные свойства этих добавок, такие как растворимость, набухаемость, водопоглотительная и водосвязывающая способность как в гранулированной, так и в диспергированной форме. Особое внимание уделено влиянию химического состава и физической формы на указанные свойства. Например, белково-витаминные концентраты обладают более высокой набухаемостью по сравнению с белково-углеводными гранулятами, но процесс набухания у них протекает медленнее. Также выявлено, что добавки в виде муки показывают более высокую водопоглотительную и водосвязывающую способность по сравнению с гранулами, что объясняется большей площадью соприкосновения с водой [13].

Результаты исследования демонстрируют, что функционально-технологические свойства данных добавок позволяют использовать их для повышения пищевой и биологической ценности инновационных продуктов питания,

что особенно важно для разработки рецептур обогащенных пищевых продуктов. Эти добавки могут способствовать улучшению структуры продуктов, а также влиять на их вязкость и консистенцию, что делает их перспективными для применения в пищевой промышленности [22].

Также было проведено исследование по оценке влияния различных консервантов на срок хранения соевого молока при разных температурах. Результаты показывают, что добавление соевой муки увеличивает питательную ценность соевого молока [14].

Другое исследование направлено на изучение физико-химических характеристик консервированной сои в зависимости от времени мацерации и уксусной кислоты, что также влияет на сохранение питательной ценности [15].

Эти исследования подчеркивают важность понимания свойств сои для разработки новых продуктов питания, которые могли бы соответствовать современным требованиям к здоровому питанию, а также предоставляют инструменты для оптимизации процессов хранения и обработки соевых продуктов.

Тема физических свойств сои и их влияние на экономическую доступность продукта представляет значительный научный интерес. Она открывает широкие возможности для исследований в области агрономии, биотехнологии, экономики агропромышленного производства и экологии [25].

Экономическая доступность продуктов питания относится к способности индивидуумов или домохозяйств приобретать необходимые продукты для удовлетворения своих пищевых потребностей в рамках своего бюджета. Этот показатель учитывает соотношение между ценами на продукты питания и доходами потребителей, а также их возможность доступа к разнообразным и питательным продуктам, не выходя за пределы своих финансовых возможностей. Экономическая доступность является ключевым аспектом продовольственной безопасности, подразумевая, что здоровое питание должно быть не только физически доступно, но и доступно по цене для всех слоев населения [16].

Соя играет значительную роль в улучшении экономической доступности продуктов питания благодаря своей высокой питательной ценности и относительно низкой стоимости. Как источник белка, соя часто служит доступной альтернативой более дорогим мясным продуктам, что делает её особенно важной для бюджетного питания в регионах с низким доходом. Кроме того, соя является универсальным ингредиентом во многих продуктах, включая молоко, мясные заменители и различные виды масел, что способствует разнообразию питания при сохранении его экономической доступности [17].

Также немаловажно, что соответствие биологических и физических характеристик зерен регуляторным стандартам, таким как требования к ГМО и не-ГМО продуктам, может влиять на доступ к рынкам и потенциальные премии по ценам. Все эти факторы подчеркивают важность тщательного выбора сортов и управления культурой для достижения максимальной эффективности и рентабельности в производстве сои.

На эту тему на экспериментальной ферме Ухруск проведено исследование, которое изучило влияние различных систем выращивания на урожайность сои и экономическую эффективность. Результаты включают анализ качества зерен сои и экономическую оценку воздействия на производство сои в течение четырехлетнего периода. Выявлены условия, при которых получались семена с более высоким процентным содержанием белка и меньшим содержанием жира [18].

Учеными из Индии было проанализировано влияние условий выращивания на биохимический состав и физические характеристики зерен сои. Это освещает экономические и питательные аспекты, связанные с различными широтами и условиями выращивания сои [19].

Климатические условия оказывают значительное влияние на физические свойства сои, включая размер зерен, их состав и влажность. Теплый и влажный климат способствует увеличению размера зерен и их содержания белка, тогда как более сухие и прохладные условия могут привести к уменьшению размеров зерен и снижению урожайности. Экстремальные погодные условия, такие как засуха или избыток влаги негативно сказываются на качестве урожая, вызывая проблемы с прорастанием и развитием растений. Подбор подходящих сортов и адаптация агротехнических приемов под конкретные климатические условия являются ключевыми для оптимизации качества и количества производимой сои.

В Курском федеральном аграрном научном центре было изучено воздействие различных методов обработки почвы на урожайность и качество семян сои. Основной акцент исследования направлен на анализ таких методов как вспашка, комбинированная обработка, поверхностная обработка и прямой посев, проведенный в Курской области в 2020–2021 годах. Изучены изменения в плотности и структуре почвы, которые показали, что минимизация механической обработки почвы способствует увеличению ее качества для выращивания сои, что положительно сказывается на ее урожайности и качестве бобов [20].

Урожайность сои была наибольшей при прямом посеве и вспашке, при этом прямой посев показал лучшие результаты по содержанию агрономически ценных агрегатов и порозности почвы. Также отмечено, что более высокое содержание белка в семенах сои достигается при возделывании культуры методом вспашки. Исследование подчеркивает важность выбора метода обработки почвы для оптимизации урожайности и качества зерна, учитывая различные агрофизические условия и климатические особенности региона.

В целом следует отметить значимость физических свойств сои для увеличения урожайности, качества продукта и, как следствие, экономической доступности на рынке.

Физические свойства бобов сои имеют значительное значение в различных аспектах производства, транспортировки, хранения и переработки этой культуры. Они определяют экономическую эффективность технологических процессов, а также качество конечных продуктов. Например, форма и размер зерна влияют на процессы сортировки и калибровки, а также на выбор оборудования для обработки. Плотность и пористость бобов важны для проектирования систем хранения и сушки, а также для обеспечения оптимальных условий для сохранения качества и предотвращения потерь во время транспортировки и хранения. Кроме того, физические свойства бобов сои влияют на их механическое поведение, например, при механизированной обработке или транспортировке, что важно для оптимизации производственных процессов и минимизации потерь. Таким образом, понимание и учет физических свойств сои являются ключевыми аспектами в повышении эффективности и конкурентоспособности производства сои.

Оптимизация физических характеристик сои может вести к повышению производственной эффективности, уменьшению затрат и расширению доступа к питательным продуктам для различных слоев населения [24].

Физические свойства сои, такие как размер зерен, их однородность и влагосодержание, напрямую влияют на процессы переработки, снижают потери и улучшают конечное качество продуктов. Более того, стабильность этих свойств снижает риски в агропромышленном производстве, повышает устойчивость к климатическим изменениям, болезням и вредителям. Это обеспечивает не только сохранность урожая, но и стабилизацию цен, делая продукты питания доступнее для потребителя.

Заключение

Следует подчеркнуть, что соя как высокобелковый продукт играет критическую роль в продовольственной безопасности, особенно в контексте глобального роста населения и необходимости повышения эффективности агропромышленного производства. Улучшение физических свойств сои, таким образом, способствует не только экономической выгоде для

производителей, но и широкому доступу к питательной и здоровой пище для потребителей.

Продолжение работы по оптимизации физических свойств сои будет способствовать дальнейшему повышению её экономической доступности и значимости в глобальном агропромышленном комплексе, что делает данное направление весьма перспективным для дальнейших исследований и инноваций.

Литература

- 1 Антипова Л.В., Мартемьянова Л.Е. Оценка потенциала источников растительных белков для производства продуктов питания // Пищевая промышленность. 2013. № 8. С. 10–12.
- 2 Зеленцов С.В., Кочегура А.В. Современное состояние систематики культурной сои *Glycine max* (L.) Merrill // Масличные культуры. 2006. № 1 (134). С. 34–48.
- 3 Литвиненко О.В., Стаценко Е.С., Корнева Н.Ю., Кубанкова Г.В. и др. Оценка биохимического состава соевого зерна в сравнительно-сортовом аспекте // Вестник КрасГАУ. 2020. № 10 (163). С. 51–59.
- 4 Чимонина И.В., Цыбульская А.А. Анализ воздействия сои и соевых продуктов на организм человека // KANT. 2014. № 2 (11). С. 92–96.
- 5 Купреенко А.И., Кондрашова О.Н., Свиридов И.Г. Технология мокрого шелушения семян сои и люпина // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2016. № 3 (23). С. 118–121.
- 6 Присяжная С.П., Присяжная И.М., Синеговская В.Т. Энергосберегающая технология уборки сои // Дальневосточный аграрный вестник. 2016. № 4 (40). С. 168–174.
- 7 Пашина Л.Л., Кидяева Н.А., Мигаль М.В., Станиславская М.В. Анализ развития рынка сои в России и Дальневосточном регионе // Экономика и предпринимательство. 2024. № 3(164). С. 427–434.
- 8 Реймер В.В., Петрова-Шатохина Т.Р., Пашина Л.Л. Экономические аспекты развития сельского хозяйства Амурской Области // Экономика и предпринимательство. 2023. № 2 (151). С. 372–381.
- 9 Центральная база статистических данных Федеральной службы государственной статистики. URL: <http://www.gks.ru>
- 10 Ayalew B., Bekele A., Mazengia Ya. Analysis of Cost and Return of Soybean Production Under Small Holder Farmers // Journal of Natural Sciences Research. 2018. V. 8. № 1. P. 28–34. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/234657659.pdf>
- 11 Степанова В.П. Первая среди равных // АгроФорум. 2020. № 7. С. 33–36.
- 12 Литвиненко О.В., Корнева Н.Ю., Покотило О.В., Стаценко Е.С. Оценка технологических показателей качества зерна сои в сравнительном аспекте // Вестник КрасГАУ. 2022. № 1 (178). С. 3–12.
- 13 Скрипко О.В. Изучение функционально-технологических свойств белково-витаминных и белково-углеводных добавок на основе сои // Вестник КрасГАУ. 2020. № 3 (156). С. 150–156.
- 14 Odu N.N., Egbo N.N., Okonko I.O. Assessment of the Effect of Different Preservatives on the Shell-Life of Soymilk Stored at Different Temperatures // Researcher 2012. № 4(6). P. 62–69. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-the-Effect-of-Different-Preservatives-Nn-Io/cd1ad4aa6a346f5286adb75cadaa3411ddec070b>
- 15 Tassi A.L.W., Bento Ju.A.C., Caliaro M., Nunes da Silva V.S. et al. Physical and chemical characteristics of soybean preserve as a function of maceration time and acetic acid // Food Sci. Technol. 2019. V. 39. № 3. doi: 10.1590/fst.31617.
- 16 Шарыбар С.В., Певзнер М.Ф., Шарыбар М.А. Экономическая доступность продуктов питания как составляющая продовольственной безопасности региона // Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. 2015. № 5 (10). С. 171–175.
- 17 Зыков С.А. Соя главные составляющие большого урожая // АгроФорум. 2019. № 3. С. 9–10.
- 18 Gawęda D., Nowak A., Haliniarz M., Andrzej Woźniak A. Yield and Economic Effectiveness of Soybean Grown Under Different Cropping Systems // International Journal of Plant Productio. 2020. № 14(1). P. 475–485. doi: 10.1007/s42106-020-00098-1
- 19 Kumar V., Rani A., Solanki Sh., Hussain S.M. Influence of growing environment on the biochemical composition and physical characteristics of soybean seed // Journal of Food Composition and Analysis. 2006. V. 19. № 2–3. P. 188–195.
- 20 Дубовик Д.В., Дубовик Е.В., Морозов А.Н., Шумаков А.В. Влияние способов основной обработки на агрофизические свойства почвы, урожайность и качество сои // Земледелие. 2022. № 2. С. 43–48.
- 21 Решетник Е.И., Максимюк В.А., Уточкина Е.А. Влияние функционально-технологических свойств зернового компонента на качественные показатели творожного продукта // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 4(31). С. 74–77.
- 22 Гапонова Л.В., Логвинова Т.Т., Першикова А.В., Решетник Е.И. Соя в лечебно-профилактическом и детском питании // Молочная промышленность. 1999. № 5. С. 25–27.
- 23 Решетник Е.И., Уточкина Е.А. Практические аспекты проектирования функциональных продуктов питания. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2012. 97 с.
- 24 Каленик Т.К., Присяжная С.П., Грибанова С.Л. Исследование влияния компонентного состава модельных смесей на потребительские свойства обогащенного кисломолочного мороженого // Пищевая промышленность. 2019. № 10. С. 28–31. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10152
- 25 Решетник Е.И., Грибанова С.Л., Денисова Ю.В. Исследование качества кисломолочных напитков из вторичного молочного сырья с растительным сырьем // Инновационные технологии в пищевой промышленности и общественном питании: материалы X Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 25 апреля 2023 года. Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет, 2023. С. 125–129.

References

- 1 Antipova L.V., Martemyanova L.E. Assessment of the potential of sources of plant proteins for food production. Food Industry. 2013. no. 8. pp. 10–12. (in Russian).
- 2 Zelentsov S.V., Kochegura A.V. Current state of taxonomy of cultivated soybean *Glycine max* (L.) Merrill. Oilseed crops. 2006. no. 1 (134). pp. 34–48. (in Russian).
- 3 Litvinenko O.V., Statsenko E.S., Korneva N.Yu., Kubankova G.V. et al. Assessment of the biochemical composition of soybean grain in a comparative varietal aspect. Bulletin of KrasGAU. 2020. no. 10 (163). pp. 51–59. (in Russian).
- 4 Chimonina I.V., Tsybul'skaya A.A. Analysis of the impact of soy and soy products on the human body. KANT. 2014. no. 2 (11). pp. 92–96. (in Russian).
- 5 Kupreenko A.I., Kondrashova O.N., Sviridov I.G. Technology of wet peeling of soybean and lupine seeds. Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Livestock Mechanization. 2016. no. 3 (23). pp. 118–121. (in Russian).
- 6 Prisyazhnaya S.P., Prisyazhnaya I.M., Sinegovskaya V.T. Energy-saving technology for soybean harvesting. Far Eastern Agrarian Bulletin. 2016. no. 4 (40). pp. 168–174. (in Russian).
- 7 Pashina L.L., Kidyayeva N.A., Migal M.V., Stanislavskaya M.V. Analysis of soybean market development in Russia and the Far Eastern region. Economics and Entrepreneurship. 2024. no. 3(164). pp.427–434. (in Russian).
- 8 Reimer V.V., Petrova-Shatokhina T.R., Pashina L.L. Economic aspects of the development of agriculture in the Amur Region. Economics and Entrepreneurship. 2023. no. 2 (151). pp. 372–381. (in Russian).
- 9 Central statistical database of the Federal State Statistics Service. Available at: <http://www.gks.ru> (in Russian).
- 10 Ayalew B., Bekele A., Mazengia Ya. Analysis of Cost and Return of Soybean Production Under Small Holder Farmers. Journal of Natural Sciences Research. 2018. vol. 8. no. 1. pp. 28–34. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/234657659.pdf>
- 11 Stepanova V.P. First among equals. AgroForum. 2020. no. 7. pp. 33–36. (in Russian).
- 12 Litvinenko O.V., Korneva N.Yu., Pokotilo O.V., Statsenko E.S. Assessment of technological indicators of soybean grain quality in a comparative aspect. Bulletin of KrasGAU. 2022. no. 1 (178). pp. 3–12. (in Russian).
- 13 Skripko O.V. Study of the functional and technological properties of protein-vitamin and protein-carbohydrate additives based on soy. Bulletin of KrasGAU. 2020. no. 3 (156). pp. 150–156. (in Russian).
- 14 Odu N.N., Egbo N.N., Okonko I.O. Assessment of the Effect of Different Preservatives on the Shelf-Life of Soymilk Stored at Different Temperatures. Researcher 2012. no. 4(6). pp. 62–69. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-the-Effect-of-Different-Preservatives-Nn-Io/cd1ad4aa6a346f5286adb75cadaa3411ddec070b>
- 15 Tassi A.L.W., Bento Ju.A.C., Caliaro M., Nunes da Silva V.S. et al. Physical and chemical characteristics of soybean preserve as a function of maceration time and acetic acid. Food Sci. Technol. 2019. vol. 39. no. 3. doi: 10.1590/fst.31617
- 16 Sharybar S.V., Pevzner M.F., Sharybar M.A. Economic availability of food products as a component of food security in the region. Innovative economics: prospects for development and improvement. 2015. no. 5 (10). pp. 171–175. (in Russian).
- 17 Zykov S.A. Soybeans are the main components of a large harvest. AgroForum. 2019. no. 3. pp. 9–10. (in Russian).
- 18 Gawęda D., Nowak A., Haliniarz M., Andrzej Woźniak A. Yield and Economic Efficiency of Soybean Grown Under Different Cropping Systems. International Journal of Plant Productio. 2020. no. 14(1). pp. 475–485. doi: 10.1007/s42106-020-00098-1
- 19 Kumar V., Rani A., Solanki Sh., Hussain S.M. Influence of growing environment on the biochemical composition and physical characteristics of soybean seed. Journal of Food Composition and Analysis. 2006. vol. 19. no. 2–3. pp. 188–195. doi: 10.1016/j.jfca.2005.06.005
- 20 Dubovik D.V., Dubovik E.V., Morozov A.N., Shumakov A.V. Influence of primary tillage methods on the agrophysical properties of soil, yield and quality of soybean. Agriculture. 2022. no. 2. pp. 43–48. (in Russian).
- 21 Reshetnik E.I., Maksimyuk V.A., Utochkina E.A. Influence of functional and technological properties of the grain component on the quality indicators of the curd product. Equipment and technology of food production. 2013. no. 4(31). pp. 74–77. (in Russian).
- 22 Gaponova L.V., Logvinova T.T., Pershikova A.V., Reshetnik E.I. Soybean in therapeutic and preventive and baby food. Dairy industry. 1999. no. 5. pp. 25–27. (in Russian).
- 23 Reshetnik E.I., Utochkina E.A. Practical aspects of designing functional food products. Blagoveshchensk, Far Eastern State Agrarian University, 2012. 97 p. (in Russian).
- 24 Kalenik T.K., Prisyazhnaya S.P., Gribanova S.L. Study of the influence of the component composition of model mixtures on the consumer properties of enriched fermented milk ice cream. Food industry. 2019. no. 10. pp. 28–31. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10152 (in Russian).
- 25 Reshetnik E.I., Gribanova S.L., Denisova Yu.V. Study of the quality of fermented milk drinks from secondary milk raw materials with vegetable raw materials. Innovative technologies in the food industry and public catering: Materials X International scientific and practical conference, Ekaterinburg, April 25, 2023. Ekaterinburg, Ural State Economic University, 2023. pp. 125–129. (in Russian).

Сведения об авторах

Любовь Л. Пашина д.э.н., профессор, кафедра экономики агропромышленного комплекса, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия, pashinall@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7991-5793>

Екатерина И. Решетник д.т.н., профессор, кафедра технологии переработки сельскохозяйственной продукции, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия, soia-28@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3166-9992>

Information about authors

Lyubov L. Pashina Dr. Sci. (Econ.), professor, economy of the agro-industrial complex department, Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnikeskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia, pashinall@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7991-5793>

Ekaterina I. Reshetnik Dr. Sci. (Enign.), professor, agricultural processing technologies department, Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnikeskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia, soia-28@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3166-9992>

Антонина П. Пакусина д.х.н., доцент, кафедра экологии, почвоведения и агрохимии, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия, pakusina.a@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5547-3444>

Светлана Л. Грибанова к.т.н., старший преподаватель, кафедра технологии переработки сельскохозяйственной продукции, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия, lsv24leon@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-1448-4328>

Юлия И. Держапольская к.т.н., доцент, кафедра технологии переработки сельскохозяйственной продукции, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия, yule4ka_1982@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1851-0063>

Павел Н. Школьников д.т.н., доцент, кафедра строительного производства и инженерных конструкций, Дальневосточный государственный аграрный университет, ул Политехническая, 86, г. Благовещенск, 675005, Россия, pavel.shkolnikov@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-3587-3082>

Antonina P. Pakusina Dr. Sci. (Chem.), professor, ecology, soil science and agrochemistry department, Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnikeskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia, pakusina.a@ya.ru
 <https://orcid.org/0000-0001-5547-3444>

Svetlana L. Gribanova Cand. Sci. (Enign.), senior lecturer, agricultural products processing technology department, Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnikeskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia, lsv24leon@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-1448-4328>

Yulia I. Derzhapolskaya Cand. Sci. (Enign.), associate professor, agricultural products processing technology department, Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnikeskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia, yule4ka_1982@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-1851-0063>

Pavel N. Shkolnikov Dr. Sci. (Engin.), associate professor, construction production and engineering structures department, Far Eastern State Agrarian University, st. Politekhnikeskaya, 86, Blagoveshchensk, 675005, Russia, pavel.shkolnikov@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0003-3587-3082>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 29/04/2024	После редакции 14/05/2024	Принята в печать 03/06/2024
Received 29/04/2024	Accepted in revised 14/05/2024	Accepted 03/06/2024

Технологические подходы к производству мясных рубленых полуфабрикатов, обогащенных композитами животного и растительного происхождения

Анна А. Дерканосова¹ aa-derk@ya.ru  0000-0002-9726-9262
Елена Е. Курчаева¹ alena.kurchaeva@ya.ru  0000-0001-5958-0909
Евгения В. Панина¹ panina-genia@mail.ru

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. В работе обоснована целесообразность разработки мясных рубленых полуфабрикатов с использованием композитных смесей на основе растительного сырья с повышенным содержанием пищевых волокон, оказывающих благоприятное воздействие на организм человека и ресурсов мясного белка из вторичного сырья мясной промышленности, что позволит расширить сектор производимых рубленых полуфабрикатов и использовать в производственном цикле белокосодержащие ресурсы мясной промышленности. Для создания новой рецептуры, в качестве составных компонентов для белково – углеводной композитной смеси использовали коммерческий препарат яблочной клетчатки и порошкообразный полуфабрикат из биомодифицированных семян маша для обогащения мясного рубленого полуфабриката пищевыми волокнами и минеральными веществами. Для модификации семян маша использовали проращивание в течение 48 часов при температуре 25 °С. В качестве белкового обогатителя использовали порошкообразный полуфабрикат из ферментированного вымени крупного рогатого скота. Для осуществления биомодификации вымени крупного рогатого скота проводили измельчение, обработку ферментом Протозим С в течение 3 часов при температуре 55 °С, высушивание и измельчение. На основе композитов растительного и животного происхождения разработана белково-углеводная композитная смесь (БУКС). На основе изучения функционально – технологических свойств мясной системы установлена оптимальная дозировка БУКС которая составила 12,5% при сохранение всех свойств на уровне 69-80%. Результаты исследований легли в основу разработки рецептуры рубленых полуфабрикатов - котлет «Нежные». Проведенная органолептическая оценка выработанных образцов показала, что белково – углеводная композитная смесь значительно улучшает сенсорные характеристики готового продукта. Расчет уровня удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах при потреблении 100 г котлет «Нежные» показал, что разработанное изделия будет покрывать потребность организма в белке на 16,0%, жирах на 9,4% ,пищевых волокнах на 27,44%. Таким образом использование БУКС в технологии мясных рубленых полуфабрикатов будет способствовать повышению пищевой и биологической ценности конечной продукции.

Ключевые слова: мясной полуфабрикат, яблочная клетчатка, порошкообразный полуфабрикат, биомодифицированные семена, маш, белково-углеводная смесь.

Technological approaches to the production of minced meat semi-finished products enriched with composites of animal and plant origin

Anna A. Derkanosova¹ aa-derk@ya.ru  0000-0002-9726-9262
Elena E. Kurchaeva¹ alena.kurchaeva@ya.ru  0000-0001-5958-0909
Evgenia V. Panina¹ panina-genia@mail.ru

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The paper substantiates the expediency of developing minced meat semi-finished products using composite mixtures based on vegetable raw materials with a high content of dietary fibers that have a beneficial effect on the human body and meat protein resources from secondary raw materials of the meat industry, which will expand the sector of minced semi-finished products and use protein-containing resources of the meat industry in the production cycle. To create a new formulation, a commercial preparation of apple fiber and a powdered semi-finished product from biomodified masha seeds were used as components for a protein-carbohydrate composite mixture for enriching chopped meat semi-finished product with dietary fibers and minerals. To modify the seeds of masha, germination was used for 48 hours at a temperature of 25 °C. A powdered semi-finished product from fermented udder of cattle was used as a protein concentrator. To carry out the biomodification of the udder of cattle, grinding, treatment with the enzyme Protozyme C for 3 hours at a temperature of 55 °C, drying and grinding were carried out. A protein-carbohydrate composite mixture (BUKS) has been developed on the basis of composites of plant and animal origin. Based on the study of the functional and technological properties of the meat system, the optimal dosage of BUCS was established, which was 12.5% while maintaining all properties at the level of 69-80%. The results of the research formed the basis for the development of the formulation of chopped semi-finished products - "Tender" cutlets. The conducted organoleptic evaluation of the developed samples showed that the protein-carbohydrate composite mixture significantly improves the sensory characteristics of the finished product. The calculation of the level of satisfaction of the daily need for nutrients when consuming 100 g of Tender cutlets showed that the developed product will cover the body's need for protein by 16.0%, fats by 9.4%, dietary fibers by 27.44%. Thus, the use of BUCS in the technology of minced meat semi-finished products will contribute to an increase in the nutritional and biological value of the final product

Keywords: semi-finished meat product, apple fiber, powdered semi-finished product, biomodified seeds, mung bean, protein-carbohydrate mixture.

Для цитирования

Дерканосова А.А., Курчаева Е.Е., Панина Е.В. Технологические подходы к производству мясных рубленых полуфабрикатов, обогащенных композитами животного и растительного происхождения // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 237–247. doi:10.20914/2310-1202-2023-3-237-247

For citation

Derkanosova A.A., Kurchayeva E.E., Panina E.V. Technological approaches to the production of minced meat semi-finished products enriched with composites of animal and plant origin. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 237–247. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2023-3-237-247

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Производство мяса с 2001 до 2022 года характеризовалось наращиванием объемов. Однако в 2021 году наблюдалось небольшое снижения. В 2022 году, по представлению Росстата, производство мяса в убойном весе выросло на 3,5% (398 тыс. тонн) по сравнению с 2021 годом.

Выросло производство свинины, и мяса птицы на 5,3 и 4,5% соответственно. Мясо говядины при этом сократилось на 3,2%.

Первая половина 2023 года в сравнении с тем же периодом 2022 года так по всем видам мяса увеличилась на 2,7% (5,583 тыс. тонн) в убойном весе. По видам мяса значительный процент производства свинины составил – 4,7%, мяса птицы – 1,5%, говядины на 0,8%. Производство остальных видов мяса в общей сложности повысилось на 0,44% [1].

По данным ИАА «ИМИТ» всего за 2023 год произведено мяса на 249 тыс. тонн больше чем в 2022 году, и составило 9 млн 501 тыс. тонн мяса в убойном весе по всем видам мяса. По видам мяса первое место в производстве занимает мясо птицы – 50,2%, второе место у свинины – 42,9%, третье место у говядины – 6,7%, остальные виды составляют всего 0,2% (рисунок 1).

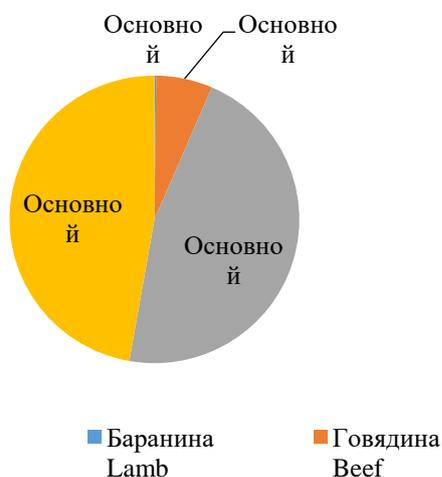


Рисунок 1. Производства мяса в России по видам в 2023 г.

Figure 1. Meat production in Russia by type in 2023

Переработка мясного сырья неуклонно стремится к переработке без отходов. По данным ИМИТ в свиноводстве производители добились 100% глубокой переработки.

На сегодняшний день на полках представлено большое разнообразие продуктов на мясной основе. При производстве колбас,

полуфабрикатов, мясных снеков, деликатесов происходит переработка сырья с большим количеством отходов, которые возможно использовать как вторичное сырье.

Состав потребительской корзины в различных регионах страны может отличаться, но в ее рацион всегда будут входить продукты на мясной основе. В зависимости от доступности мясного сырья изменяется и ассортимент выпускаемой продукции.

По статистике производство и потребление мяса и продуктов на его основе в нашей стране с каждым годом увеличивается. По прогнозам на ближайшие несколько лет этот рынок будет расти на 10% ежегодно. При этом самые высокие темпы роста эксперты отмечают в сегменте охлажденных мясных полуфабрикатов.

Производители мясных продуктов стремятся соответствовать современным тенденциям в области стремления потребителей к здоровому образу жизни. Однако технология производства подразумевает использование соли в составе, также содержание жира в таких продуктах достаточно высоко, а здоровое питание направлено на исключения этих элементов [1, 8, 9, 10].

Рацион питания большей части населения страны перенасыщен углеводами. Для здорового питания необходимо достаточно большое разнообразие, что позволит насыщать организм белками, витаминами и микроэлементами. На форуме «Интепрот: передовые решения для мясопереработки» в Санкт-Петербурге (июнь 2023 года) обсуждались возможности для создания технологий функциональных продуктов с заданными пищевыми свойствами, которые могут быть направлены на определенные группы граждан с хроническими заболеваниями. Надо заметить, что доступность продуктов питания на функциональной основе должна быть доступной всем группам населения.

В настоящее время возникла необходимость разработать новые рецептуры и технологии, позволяющие вырабатывать рубленые полуфабрикаты с относительно низкой себестоимостью, оригинальным вкусом и длительным сроком хранения [10, 11].

При создании новой рецептуры важно учитывать не только органолептические, физико-химические, микробиологические, но и пользу от конечного созданного продукта. В связи с этим считается актуальным и целесообразным разработка мясных рубленых полуфабрикатов с использованием композитных смесей на основе растительного сырья с повышенным

содержанием пищевых волокон, оказывающих благоприятное воздействие на организм человека и ресурсов мясного белка из вторичного сырья мясной промышленности, что позволит расширить сектор производимых рубленых полуфабрикатов и использовать в производственном цикле белоксодержащие ресурсы мясной промышленности.

Материалы и методы

Исследования были проведены на кафедре товароведения и экспертизы товаров Воронежского государственного аграрного университета им. императора Петра I, а также на базе «ВНИИПИФиТ» Россельхозакадемии, г. Воронеж.

Объектами исследования являлись рубленые полуфабрикаты – котлеты «Нежные» с добавлением белково – углеводного комплекса на основе биомодифицированной формы семян маша, коммерческого препарата яблочной клетчатки и порошкообразного композита из вымени крупного рогатого скота.

Влагоудерживающую способность фаршей, определяли по методу Г. Грау и Р. Хамма. в модификации В.П. Воловинской и Б.Я. Кельман, химический состав композитов и готовых изделий стандартными методами.

Пищевую и энергетическую ценность изделий характеризовали расчетным методом по справочным таблицам содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов. Все анализы проводили не менее чем в трех повторностях.

Для создания белково – углеводной композиции методами математического моделирования обоснован массовый состав компонентов, вводимых в комплексную добавку. Исследовано влияние дозы введения комплексной белково – углеводной добавки на функционально – технологические свойства фаршевой системы, химический состав, а также органолептические показатели готовых полуфабрикатов стандартными методами [12]. Аминокислотный состав мясных рубленых полуфабрикатов исследовали методом ВЭЖХ в условиях испытательного центра ВГУИТ.

Результаты

Для балансирования химического состава и обогащения биологически активными веществами в соответствии с требованиями к здоровому питанию использовали мясную фаршевую систему, в которую вводили составную белково-углеводную композитную смесь (БУКС) на основе

коммерческого препарата яблочной клетчатки, порошкообразных полуфабрикатов из биомодифицированных семян маша и вымени КРС.

Яблочная клетчатка (рисунок 2) богата пищевыми волокнами, которые необходимы для нормальной работы пищеварительного тракта. Ее использование в технологии производства рубленых мясных полуфабрикатов позволит не только сделать продукт более полезным, но и снизит себестоимость продукции, так как является достаточно недорогостоящим ингредиентом.



Рисунок 2. Коммерческий препарат яблочной клетчатки

Figure 2. Commercial preparation of apple fiber

В таблице 1 представлен химический и минерально-витаминный состав порошкообразного полуфабриката яблочной клетчатки.

Так же в качестве источника пищевых волокон и растительного белка используют муку из семян маша. Известно, что бобовые культуры содержат не только углеводы, но и значительное количество белка, а аминокислотный состав этих белков близок к животным.

Биомодификацию семян проращиванием проводили. Для осуществления процесса биомодификации семена маша замачивали на 12 часов в слабом растворе перманганата калия, для уничтожения посторонней микрофлоры. Кроме того по литературным данным слабый раствор перманганата калия обладает стимулирующим действием для проращивания [7–9]. Проращивание проводили в течение 48 часов, при температуре 24 °С и затем подвергали сушке в инфракрасной сушилке при температуре 45 °С в течение 12 часов. Высушенные семена измельчали на лабораторной мельнице до состояния мелкодисперсной муки (рисунок 3).

Для обоснования по обогащению мясного рубленого полуфабриката растительным белком провели исследование аминокислотного состава в нативных и пророщенных семенах маша (таблица 2).

Таблица 1.
Химический состав коммерческого препарата яблочной клетчатки и порошкообразного композита из модифицированных семян маша на 100 г

Table 1.
Chemical and mineral-vitamin composition of apple powder and modified mung bean seed powder per 100 g

Показатель Indicator	Содержание Content	
	Коммерческий препарат яблочной клетчатки Commercial preparation of apple fiber	Порошкообразный полуфабрикат из биомодифицированных семян маша Powdered semi-finished product from modified masha seeds
Макронутриенты Macronutrients		
Энергетическая ценность, ккал Energy value, kcal	331	315
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	2,8	9,1
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	0,52	2,1
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	1,28	24,1
Массовая доля углеводов, % Mass fraction of carbohydrates, %	92,1	63,1
в том числе клетчатка, % including fiber, %	13,1	16,5
Моно- и дисахариды, % Mono- and disaccharides, %	79,8	16,8
Массовая доля золы, % Mass fraction of ash, %	1,61	3,35
Витаминный состав Vitamin composition		
Витамин А, мкг Vitamin A, mcg	4,2	6,3
β-каротин, мкг β-carotene, mcg	34,9	64,8
Витамин Е, мг Vitamin E, mg	0,9	0,52
Витамин С, мг Vitamin C, mg	2,3	4,9
Витамин В ₂ , мг Vitamin B ₂ , mg	0,11	0,17
Витамин В ₃ , мг Vitamin B ₃ , mg	0,69	2,5
Витамин В ₄ , мг Vitamin B ₄ , mg	23,5	99,0
Витамин В ₅ , мг Vitamin B ₅ , mg	0,38	1,78
Витамин В ₆ , мг Vitamin B ₆ , mg	0,34	0,51
Витамин В ₉ , мкг Vitamin B ₉ , mcg	1,2	631,0
Витамин К, мкг Vitamin K, mcg	-	9,3
Витамин В ₁ , мкг Vitamin B ₁ , mcg		0,58
Минеральный состав Mineral composition		
Кальций, мг Calcium, mg	18,7	138,0
Железо, мг Iron, mg	1,9	6,3
Магний, мг Magnesium, mg	22,5	191,0
Фосфор, мг Phosphorus, mg	54,3	374,0
Калий, мг Potassium, mg	643,0	1225,0
Натрий, мг Sodium, mg	127	13,0
Селен, мкг Selenium, mcg	1,78	8,4

Таблица 2.
Аминокислотный состав нативного маша и порошкообразного полуфабриката из биомодифицированных семян маша

Table 2.
Amino acid composition of native mung bean and powdered semi-finished product from biomodified mung bean seeds

Аминокислота Amino Acid	г/100 г белка нативные семена g/100 g of protein native seeds	Биомодифицированные семена маша Biomodified masha seeds
Аргинин Arginine	1,39	1,48
Гистидин Histidine	0,55	0,73
Лизин Lysine	1,46	1,75
Лейцин Leucine	2,54	3,38
Изолейцин Isoleucine	0,96	1,32
Валин Valin	0,29	0,37
Метионин + цистин Methionine + cystine	0,23	0,31
Треонин Threonine	0,72	1,02
Фенилаланин + тирозин Phenylalanine + tyrosine	1,69	2,21
Триптофан Tryptophan	1,02	1,25
Аланин Alanin	0,85	1,13
Глицин Glycine	0,78	0,95
Серин Serin	1,18	1,45
Аспарагиновая кислота Aspartic acid	2,48	3,28
Глутаминовая кислота Glutamic acid	3,66	3,81
Пролин Proline	1,05	1,33
ИТОГО TOTAL	20,85	25,77

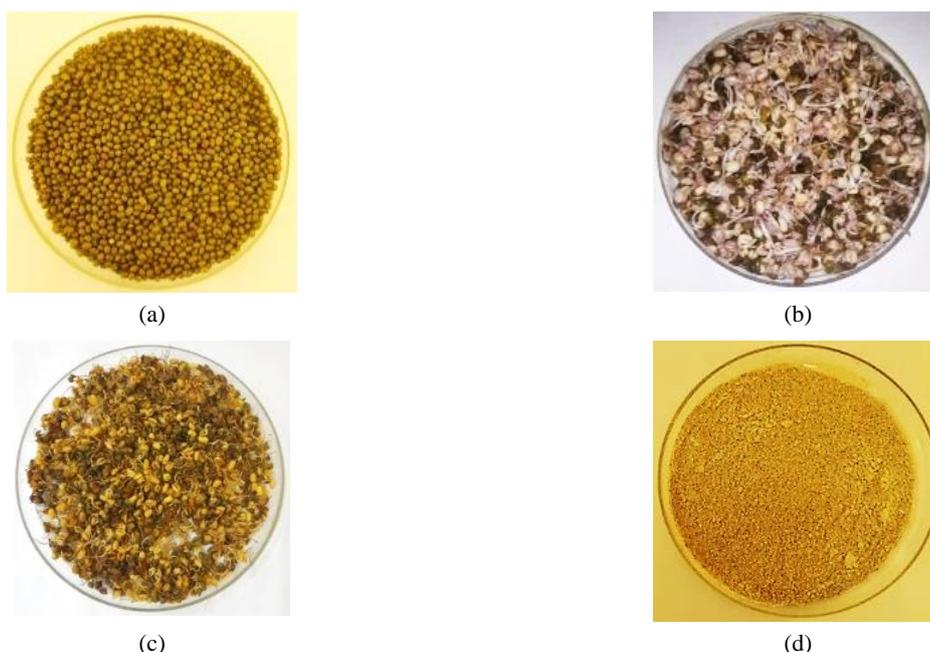


Рисунок 3. Семена маша (а) – семена маша; (b) – пророщенные семена маша 72 часа; (c) – высушенные семена маша при температуре 45 °С; (d) – порошкообразный полуфабрикат из биодифицированных семян маша
 Figure 3. Mung bean seeds (a) – mung bean seeds; (b) – sprouted mung bean seeds 72 hours; (c) – dried mung bean seeds at a temperature of 45 °C; (d) – powdered semi-finished product from bio-modified mung bean seeds

Известно, что смеси, созданные на основе продуктов переработки бобовой и яблочной клетчатки, обладают сбалансированным содержанием основных пищевых веществ [2–6]. Для создания БУКС использовались следующие сырьевые компоненты: порошок из пророщенных семян маша, полученный путем высушивания измельченных семян с помощью ик – сушки и животный белок из ферментированного вымени КРС.

Биомодификацию вымени говяжьего осуществляли с помощью ферментного препарата Протозим С, являющийся бактериальной протеазой. Для проведения процесса создавали условия рекомендуемые производителем препарата, то есть: дозировка составила 2% от массы сырья; рН среды 6,0;

температура 55 °С; время ферментации 3 часа. Полученную массу обрабатывали в инфракрасной сушилке в течение 48 часов, при температуре 45 °С, далее измельчали на лабораторной мельнице, до порошкообразного состояния.

В качестве белковой составляющей животного происхождения в составе БУК использовали вымя крупного рогатого скота, которое характеризуется значительным количеством коллагена и белка в целом и может выполнять роль как белкового обогатителя, так и пищевого волокна животного происхождения.

Химический состав полученного порошкообразного композита из вымени КРС представлен в таблице 3.

Химический состав порошкообразного полуфабриката из биомодифицированного вымени КРС

Таблица 3.

Table 3.

Chemical composition of powdered semi-finished product from bio-modified cattle udder

Показатель Indicator	Порошкообразный полуфабрикат из вымени говяжьего Powdered semi-finished product from beef udder
Массовая доля сухого вещества, % Mass fraction of dry matter, %	90,10
Массовая доля золы, % Mass fraction of ash, %	10,92
Массовая доля сырого протеина в сухом веществе, % Mass fraction of crude protein in dry matter, %	54,78
Массовая доля жира на абсолютно сухое вещество, % The mass fraction of fat per absolutely dry substance, %	24,4

Проращивание семян маша привело к повышению биологической ценности, в связи с улучшением сбалансированности состава аминокислот.

Таким образом, биомодифицированный порошок из семян маша может служить

перспективным компонентом в технологии производства мясных рубленых полуфабрикатов обогащенного состава.

Рецептура контрольного и опытного образца мясного рубленого полуфабриката представлена

в таблице 4. Анализ органолептических показателей был осуществлен в полном соответствии с требованиями ГОСТ 32951–2014 «Полуфабрикаты из мяса и мясосодержащие продукты» в части общих технических характеристик. Результаты оценки представлены в таблице 5.

В таблицах 6 и 7 представлен химический состав мясных рубленых полуфабрикатов и аминокислотный состав мясных рубленых полуфабрикатов.

Обсуждение

Основным требованием технологии производства рубленых изделий является диспергентное состояние компонентов фарша и связанное состояние влаги и жира в течение всего технологического процесса. Поэтому качество и выход изделий как дисперсионных систем определяется оптимальным развитием процессов влаги – и жиросвязывания при приготовлении фарша и его устойчивостью при термической обработке.

Применение препаратов пищевой клетчатки достаточно распространено в технологиях производства пищевых продуктов это объясняется тем, что кроме повышения пищевой ценности продукта, клетчатка выступает в роли стабилизатора структурно-механических свойств. При этом определение показателей влагосвязывающей и влагоудерживающей способности различных препаратов пищевых волокон является основным показателем для применения их в технологиях продуктов питания. Исходя из этого, можно сделать вывод, что использование пищевых волокон в производстве мясных продуктов основано на этих двух показателях, так как важно сохранить влагу в продукте при термической обработке [5, 6].

Для использования в технологии производства мясных рубленых полуфабрикатов клетчатку гидрировали в разных соотношениях для выявления оптимальных дозировок и влияния на структурно-механические свойства фарша и готового продукта. Для достижения поставленной цели, исходя из опыта промышленности по использованию функциональных добавок, были проведены исследования с образцами мясных систем с различной массовой долей гидратированной БУК в дозировке от 0 до 15%. В результате серии проведенных исследований была выбрана дозировка БУКС 12,5% при степени гидратации 1:2,5.

Введение в мясной фарш БУКС оказывало положительное воздействие на его функционально – технологические свойства, так как при этой дозировке ВСС модельного фарша остается достаточно высоким и составляет 74,6%, в то время как в контроле 61,5%. Изменение влагоудерживающей способности фарша с БУКС показывает, что с увеличением доли вводимого

композиата к общему объему фарша влагоудерживающая способность (ВУС) модельных фаршей возрастает до 75–80%, причем максимальные показатели (78%) отмечаются у модельных фаршей с добавкой в количестве 12,5%. При увеличении дозировки БУКС к массе фарша наблюдается чрезмерное разрыхление мясной системы, что отрицательно сказывается на выходе готового продукта и его структуре после термической обработки.

Одним из важных функциональных свойств функциональных препаратов является эмульгирующая способность. Пищевое волокно, входящее в БУКС способствует образованию эмульсий типа жир в воде и стабилизируют их. При введении БУКС в оптимально подобранном количестве значительно увеличивается жироудерживающая способность (ЖУС) модельных фаршей до уровня 65–69%. В последующих исследованиях были использованы в суммарной дозировке 12,5%. При более высокой дозировке ввода БУКС наблюдалось снижение функционально – технологических свойств фаршевой основы.

Для реализации предлагаемых подходов по использованию БУКС в составе мясных рубленых полуфабрикатов за основу взята рецептура мясных рубленых полуфабрикатов котлет «Домашних». Технология производства разработанного мясного рубленого полуфабриката может быть реализована на стандартном технологическом оборудовании.

В результате термической обработки изделий потеря влаги в контрольном образце составила 10,55%, а в опытных 4,58%, что подтверждает предположение о связывании влаги в системе путем ввода БУКС.

Проведенные исследования позволили обосновать и разработать рецептуру и модифицировать технологию производства рубленых полуфабрикатов котлеты «Нежные» (таблица 4). По органолептическим показателям разработанные полуфабрикаты котлеты «Нежные» соответствуют требованиям, предъявляемым к данной группе продуктов (таблица 5). На рисунке 4 представлен вид исследуемых полуфабрикатов.

Исследование химического состава нового вида мясного рубленого полуфабриката – котлеты «Нежные» показало, что разработанный БУКС будет способствовать обогащению мясной системы продукт не только пищевыми волокнами, но и скорректирует качества белковой составляющей системы (таблица 6 и 7).

Расчет уровня удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах при потреблении 100 г. котлет «Нежные» показал (таблица 8), что разработанное изделия будет покрывать потребность организма в белке на 16,0%, жира на 9,4%, пищевых волокнах на 27,44%.

Таблица 4.

Рецептура мясных рубленых полуфабрикатов (котлет), кг на 100 кг сырья

Table 4.

Recipe for chopped semi-finished meat products (cutlets), kg per 100 kg of raw materials

Рецептурный компонент The prescription component	Котлеты «Домашние» (контроль) Cutlets "Homemade" (control)	Котлеты «Нежные» (опыт) Cutlets "Tender" (experiment)
Грудная часть тушек цыплят – бройлеров Breast part of the carcasses of broiler chickens	–	44,1
Говядина Beef	42,00	29,4
Свинина нежирная Lean pork	42,00	–
Хлеб пшеничный Wheat bread	2,00	2,00
Лук Onion	6,00	6,00
Меланж яичный Egg melange	2,50	2,50
Белково-углеводная композитная смесь Protein-carbohydrate composite mixture	–	10,50
Вода Water	10,00	10,00
Панировочные сухари Breadcrumbs	4,00	4
Перец черный молотый Ground black pepper	0,50	0,50
Соль поваренная пищевая Table salt	1,00	1,00

Таблица 5.

Органолептическая оценка мясных полуфабрикатов

Table 5.

Organoleptic evaluation of semi-finished meat products

Показатель Indicator	Котлеты «Домашние» (контроль) Cutlets "Homemade" (control)	Котлеты «Нежные» (опыт) Cutlets "Tender" (experiment)
Внешний вид Appearance	Однородный фрагментированный состав, не содержащий тяжелого соединительного тканевого материала, костей из хряща и сухожильных структур. Продукт равномерно покрыт сухим панировочным материалом и имеет овально-продолговатую форму. A homogeneous fragmented composition that does not contain heavy connective tissue material, cartilage bones and tendon structures. The product is evenly coated with dry breadcrumbs and has an oval-oblong shape.	Продукт представляет собой однородную массу, измельченную до однородного состояния без сухожилий, сгустков, костей и хрящей. Края изделия не имеют разрывов, а поверхность равномерно покрыта сухарями для панировки. Его форма является овально-продолговатой. The product is a homogeneous mass, crushed to a homogeneous state without tendons, clots, bones and cartilage. The edges of the product have no breaks, and the surface is evenly covered with breadcrumbs. Its shape is oval-oblong
Вид на срезе View on a slice	Консистенция мясной начинки является однородной и тщательно перемешанная, прослеживаются все составляющие, указанные в рецепте The consistency of the meat filling is homogeneous and thoroughly mixed, all the ingredients specified in the recipe are traced	Содержимое фарша однородное с добавлением компонентов рецептурных ингредиентов и белково-углеводного комплекса The contents of the minced meat are homogeneous with the addition of components of prescription ingredients and a protein-carbohydrate complex
Цвет, запах, вкус Color, smell, taste	Цветовая гамма соответствует основным компонентам рецептуры, обладает бледно-серым оттенком, несущим в себе отсутствие каких-либо посторонних запахов, а также ярко выраженный мясной аромат вкуса The color scheme corresponds to the main components of the formulation, has a pale gray tint, carrying the absence of any foreign odors, as well as a pronounced meat flavor	Цветовая гамма отражает состав рецептуры: бледно-серый оттенок без примесей и неприятных запахов, сопровождается приятным легким вкусом введенных ингредиентов The color scheme reflects the composition of the formulation: a pale gray shade without impurities and unpleasant odors, accompanied by a pleasant light taste of the introduced ingredients

Таблица 6.

Химический состав мясных рубленых полуфабрикатов

Table 6.

Chemical composition of minced meat semi-finished products

Показатель Indicator	Значение показателя для полуфабрикатов рубленых (котлет) The value of the indicator for semi-finished chopped (cutlets)	
	Котлеты «Домашние» (контроль) Cutlets "Homemade" (control)	Котлеты «Нежные» (опыт) Cutlets "Tender" (experiment)
Массовая доля влаги, % Mass fraction of moisture, %	59,98	64,52
Массовая доля жира, % Mass fraction of fat, %	18,08	10,07
Массовая доля белка, % Mass fraction of protein, %	12,78	13,96
Массовая доля углеводов, % Mass fraction of carbohydrates, %	8,45	11,78
в том числе пищевых волокон including dietary fiber	–	6,86
Минеральный состав/ Mineral composition		
Cu	0,15	0,32
Zn	1,38	2,42
Mn	0,25	0,55
Fe	5,39	8,86
Mg	20,10	46,2
Ca	32,23	76,33
Витаминный состав/ Vitamin composition		
B ₁	0,062	0,097
B ₂	0,132	0,184
C	–	2,325
PP	3,241	4,362
Выход готовой продукции, % Output of finished products, %	90,15	96,17

Таблица 7.

Аминокислотный состав мясных рубленых полуфабрикатов

Table 7.

Amino acid composition of minced meat semi-finished products

Аминокислота Amino Acid	Содержание аминокислоты, г/100г Amino acid content, g/ 100g		
	Идеальный белок по ФАО/ВОЗ Ideal protein according to FAO/WHO	Котлеты «Домашние» (контроль) Cutlets "Homemade" (control)	Котлеты «Нежные» (опыт) Cutlets "Tender" (experiment)
Валин Valin	5,00	4,51	4,86
Изолейцин Isoleucine	4,0	3,87	3,45
Лейцин Leucine	7,00	5,89	5,26
Лизин Lysine	5,50	4,54	5,48
Метионин + цистин Methionine + cystine	3,50	1,86	2,18
Треонин Threonine	4,00	3,49	3,15
Фенилтирозин + тирозин Phenyltyrosine + tyrosine	6,00	3,33	5,18
Триптофан Tryptophan	1,00	1,07	0,92
КРАС Coefficient of difference of amino acid score		29,39	21,36
БЦ biological value		70,56	78,72
СКОР SKOR		53,71	61,45



Рисунок 4. Мясные рубленые полуфабрикаты: а – формованные изделия в панировке охлажденные контроль; б – формованные изделия в панировке охлажденные опыт

Figure 4. Minced meat semi-finished products: a – molded products in breaded chilled control; b – molded products in breaded chilled experiment

Таблица 8.
Расчет покрытия суточной потребности при употреблении разработанного мясного обогащенного полуфабриката

Table 8.
Calculation of the daily requirement coverage when using the developed fortified meat semi-finished product

Показатель Indicator	Суточная потребность Daily requirement	Значение; содержание в 100 г Value; content in 100 g		Степень удовлетворения суточной потребности, % Degree of satisfaction of the daily requirement, %	
		Котлеты «Домашние» (контроль) Cutlets "Homemade" (control)	Котлеты «Нежные» (опыт) Cutlets "Tender" (experiment)	Котлеты «Домашние» (контроль) Cutlets "Homemade" (control)	Котлеты «Нежные» (опыт) Cutlets "Tender" (experiment)
Белки, г Proteins, g	87	12,78	13,96	14,689	16,046
Жиры, г Fats, g	107	18,08	10,07	16,897	9,411
Углеводы, г Carbohydrates, g	421	8,45	11,86	2,007	2,817
Пищевые волокна, г Dietary fiber, g	25	-	6,86	-	27,440
Минеральные вещества, мг Mineral substances, mg					
Cu	3	0,15	0,32	5,00	10,67
Zn	15	1,38	2,42	9,20	16,13
Mn	2,2	0,25	0,55	17,27	25,00
Fe	120	5,39	8,86	4,49	7,38
Mg	365	20,10	46,2	5,51	12,66
Ca	1000	32,23	76,33	3,22	7,63
Витамины, мг Vitamins, mg					
B ₁	1,5	0,062	0,097	4,13	6,47
B ₂	1,2	0,132	0,184	11,00	15,33
C	75	-	2,325	-	3,10
PP	19	3,241	4,362	17,06	22,96

Заключение

В связи с возрастающими потребностями по производству продуктов питания заданного состава, для производства, в том числе функциональных продуктов питания актуальным и перспективным является разработка мясных рубленых полуфабрикатов обогащенного состава. Научно обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность использования белково-углеводной композитной смеси (БУКС) на основе растительного и животного сырья в дозировке 12,5% к массе фаршевой основы.

Органолептическая и физико-химическая оценка состава разработанного мясного рубленого полуфабриката – котлеты «Нежные» показала целесообразность применения БУКС в составе рецептурно – компонентного решения изделия. Показано, что внесение белково-углеводного комплекса позволяет корректировать

функциональные свойства фаршевых систем. Проведенная органолептическая оценка выработанных образцов показала, что белково – углеводная композитная смесь значительно улучшает сенсорные характеристики готового продукта. Расчет уровня удовлетворения суточной потребности в пищевых веществах при потреблении 100 г. котлет «Нежные» показал, что разработанное изделия будет покрывать потребность организма в белке на 16,0%, жирах на 9,4%, пищевых волокнах на 27,44%. Таким образом, использование БУКС в технологии мясных рубленых полуфабрикатов будет способствовать повышению пищевой и биологической ценности конечной продукции.

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективу ФГБНУ «ВНИВИПФиТ» за помощь в проведении исследований и ценные замечания.

Литература

- 1 Ряполов Р.П., Афанасенко М.А. Разработка технологии мясных рубленых полуфабрикатов с применением растительных антиоксидантов // Научный журнал молодых ученых. 2019. № 1(14). С. 60–63.
- 2 Исаева А.Д., Лопаева Н.Л. Технология создания новой рецептуры мясных рубленых полуфабрикатов с применением растительных ингредиентов // Молодежь и наука. 2022. № 7.
- 3 Есимова Л.Б., Котельникова Ю.А., Корневская П.А. Использование пищевых волокон в мясном производстве // Безопасность и качество товаров: материалы XIV Международной научно-практической конференции, Саратов, 16 июля 2020 года. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова, 2020. С. 86–90.
- 4 Васюкова А.Т., Макаров М.Г., Эдварс Р.А., Махмадалиев Э.Ш. и др. Разработка технологии и рецептур мясных фаршевых изделий с БАД // Вестник ВГУИТ. 2020. № 1 (83). С. 124–127.
- 5 Васюкова А.Т., Тихонов Д.А., Тонапетян Т.А., Куликов Д.А. Регулирование функционально-технологических свойств фаршевых систем путём применения структурорегулирующих добавок // Вестник ВГУИТ. 2020. № 1 (83). С. 151–156
- 6 Штенина Д.В. Обзор функционально-технологических добавок, применяемых при производстве формованных изделий из гидробионтов // Вестник науки и образования. 2022. № 1–2(121). С. 34–37.
- 7 Ланиця И.Ф. Комплексное исследование модельного фарша с мукой амаранту // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. 2016. Т. 18, № 1–4(65). С. 80–85.
- 8 Анохина М.Е. Национальный аграрный продукт и перспективы его роста // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 3(67). С. 116–129. doi: 10.12737/2073–0462–2022–116–129
- 9 Намсараева З.М., Хамаганова И.В. Разработка рецептуры мясного полуфабриката с использованием топинамбура // Вестник ВСГУТУ. 2024. № 1(92). С. 34–42. doi: 10.53980/24131997_2024_1_34
- 10 Корж А.П., Базарнова Ю.Г. Продукты для укрепления иммунитета человека: биокулинарный инжиниринг и перспективы развития рынка // Мясная индустрия. 2021. № 2. С. 34–38. doi: 10.37861/2618–8252–2021–02–34–38
- 11 Семенова Е.Г., Дагбаева Т.Ц., Полозова Т.В. Пути совершенствования технологий мясных продуктов функционального назначения // Вестник ВСГУТУ. 2021. № 2(81). С. 33–39.
- 12 Alekseeva Y.A., Garmayev D.T., Khoroshailo T.A., Martemyanova A.A. Improvement of the technology for the production of semi-finished meat products // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 848. №. 1. P. 012035. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012035
- 13 Salikhov A.R., Salikhova G.G., Konovalov S.A., Mikolaychik I.N. et al. Meat minced semi-finished products with iodine-containing vegetable components // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 613. №. 1. P. 012128. doi: 10.1088/1755-1315/613/1/012128
- 14 Gizatova N.V., Chernyshenko Y.N., Zaitseva T.N., Rybchenko T.V. et al. Development of the production technology for semi-finished meat products with addition of mushrooms // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 613. №. 1. P. 012040. doi: 10.1088/1755-1315/613/1/012040
- 15 Zinina O.V., Gavrilova K.S., Vaiscrobova E.S., Khayrullin M.F. et al. Optimization of the composition of minced meat semi-finished products // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. V. 613. №. 1. P. 012166. doi: 10.1088/1755-1315/613/1/012166
- 16 Chugunova O., Ponomarev A., Kokoreva L., Feofilaktova O. Innovative technologies for the production of semi-finished meat products as a factor in the development of the consumer market // SHS Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. V. 93. P. 04016.
- 17 Filin S., Bal-Prylypko L., Nikolaenko M., Holembovska N. et al. Development of technology for plant-based minced semi-finished products // Scientific Journal Animal Science & Food Technologies. 2023. V. 14. №. 2.
- 18 Samchenko O.N., Merkucheva M.A. Minced meat semi-finished products containing oilseeds. 2016.
- 19 Aleshkov A., Ivashkin M., Sinyukov V., Chimitdorzhiev Z. Technology and characteristics of semi-finished products containing minced meat and enriched with the prebiotic lactulose // International Journal of Ecosystems & Ecology Sciences. 2022. V. 12. №. 3.
- 20 Alekseeva Y.A., Khoroshailo T.A., Bachinina K.N., Martemyanova A.A. Development of sustainable systems of food production of chopped semi-finished products // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. V. 981. №. 2. P. 022062. doi: 10.1088/1755-1315/981/2/022062

References

- 1 Ryapolov R.P., Afanasenko M.A. Development of technology for minced meat semi-finished products using plant antioxidants. Scientific journal of young scientists. 2019. no. 1 (14). pp. 60–63. (in Russian).
- 2 Isaeva A.D., Lopayeva N.L. Technology for creating a new recipe for minced meat semi-finished products using plant ingredients. Youth and Science. 2022. no. 7. (in Russian).
- 3 Yesimova L.B., Kotelnikova Yu.A., Korenevskaya P.A. Use of dietary fiber in meat production. Safety and quality of goods: materials of the 14th International scientific and practical conference, Saratov, July 16, 2020. Saratov, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov, 2020. pp. 86–90. (in Russian).
- 4 Vasyukova A.T., Makarov M.G., Edvars R.A., Makhmadaliev E.Sh. et al. Development of technology and recipes for minced meat products with dietary supplements. Proceedings of VSUET. 2020. no. 1 (83). pp. 124–127. (in Russian).
- 5 Vasyukova A.T., Tikhonov D.A., Tonapetyan T.A., Kulikov D.A. Regulation of functional and technological properties of minced meat systems by using structure-regulating additives. Proceedings of VSUET. 2020. no. 1 (83). pp. 151–156. (in Russian).
- 6 Shtenina D.V. Review of functional and technological additives used in the production of molded products from aquatic organisms. Bulletin of Science and Education. 2022. no. 1–2 (121). pp. 34–37. (in Russian).

- 7 Lanitsya I.F. A comprehensive study of model minced meat with amaranth flour. Scientific newsletter of the Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Zhzyckiy. 2016. vol. 18. no. 1–4(65). pp. 80–85. (in Russian).
- 8 Anokhina M.E. National agricultural product and prospects for its growth. Bulletin of the Kazan State Agrarian University. 2022. vol. 17. no. 3(67). pp. 116–129. doi: 10.12737/2073–0462–2022–116–129 (in Russian).
- 9 Namsaraeva Z.M., Khamaganova I.V. Development of a recipe for a semi-finished meat product using Jerusalem artichoke. Bulletin of VSGUTU. 2024. no. 1 (92). pp. 34–42. doi: 10.53980/24131997_2024_1_34 (in Russian).
- 10 Korzh A.P., Bazarnova Yu.G. Products for strengthening human immunity: bioculinary engineering and market development prospects. Meat industry. 2021. no. 2. pp. 34–38. doi: 10.37861/2618–8252–2021–02–34–38 (in Russian).
- 11 Semenova E.G., Dagbaeva T.Ts., Polozova T.V. Ways to improve the technologies of functional meat products. Bulletin of VSGUTU. 2021. no. 2 (81). pp. 33–39. (in Russian).
- 12 Alekseeva Y.A., Garmaev D.T., Khoroshailo T.A., Martemyanova A.A. Improvement of the technology for the production of semi-finished meat products. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. vol. 848. no. 1. pp. 012035. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012035
- 13 Salikhov A.R., Salikhova G.G., Konovalov S.A., Mikolaychik I.N. et al. Meat minced semi-finished products with iodine-containing vegetable components. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. vol. 613. no. 1. pp. 012128. doi: 10.1088/1755-1315/613/1/012128
- 14 Gizatova N.V., Chernyshenko Y.N., Zaitseva T.N., Rybchenko T.V. et al. Development of the production technology for semi-finished meat products with addition of mushrooms. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. vol. 613. no. 1. pp. 012040. doi: 10.1088/1755-1315/613/1/012040
- 15 Zinina O.V., Gavrilova K.S., Vaisrobova E.S., Khayrullin M.F. et al. Optimization of the composition of minced meat semi-finished products. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. vol. 613. no. 1. pp. 012166. doi: 10.1088/1755-1315/613/1/012166
- 16 Chugunova O., Ponomarev A., Kokoreva L., Feofilaktova O. Innovative technologies for the production of semi-finished meat products as a factor in the development of the consumer market. SHS Web of Conferences. EDP Sciences, 2021. vol. 93. pp. 04016.
- 17 Filin S., Bal-Prylypko L., Nikolaenko M., Holembovska N. et al. Development of technology for plant-based minced semi-finished products. Scientific Journal Animal Science & Food Technologies. 2023. vol. 14. no. 2.
- 18 Samchenko O.N., Merkuheva M.A. Minced meat semi-finished products containing oilseeds. 2016.
- 19 Aleshkov A., Ivashkin M., Sinyukov V., Chimitdorzhiev Z. Technology and characteristics of semi-finished products containing minced meat and enriched with the prebiotic lactulose. International Journal of Ecosystems & Ecology Sciences. 2022. vol. 12. no. 3.
- 20 Alekseeva Y.A., Khoroshailo T.A., Bachinina K.N., Martemyanova A.A. Development of sustainable systems of food production of chopped semi-finished products. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. vol. 981. no. 2. pp. 022062. doi: 10.1088/1755-1315/981/2/022062

Сведения об авторах

Анна А. Дерканосова д.т.н., профессор, кафедра сервиса и ресторанного бизнеса, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, aa-derk@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Елена Е. Курчаева д.с.-х.н., профессор, кафедра частной зоотехнии, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, улица Мичурина, 1 Воронеж, 394087, Россия, alena.kurchaeva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5958-0909>

Евгения В. Панина старший преподаватель, кафедра процессов и аппаратов перерабатывающих производств, Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, улица Мичурина, 1, г. Воронеж, 394087, Россия, panina-genia@mail.ru

 <https://orcid.org/>

Information about authors

Anna A. Derkanosova Dr. Sci. (Engin.), professor, service and restaurant business department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, aa-derk@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9726-9262>

Elena E. Kurchaeva Dr. Sci. (Agric.), professor, private animal science department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, alena.kurchaeva@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-5958-0909>

Evgenia V. Panina senior lecturer, processes and equipment of processing industries department, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Michurina Street, 1 Voronezh, 394087, Russia, 394087, Russia, panina-genia@mail.ru

 <https://orcid.org/>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 08/04/2024	После редакции 24/04/2024	Принята в печать 21/05/2024
Received 01/08/2023	Accepted in revised 18/08/2023	Accepted 10/09/2023

Направленный ферментоллиз мякоти тыквы как инструмент формирования качества полуфабрикатов

Евгений Д. Рожнов	¹	red@bti.secna.ru	 0000-0002-3982-9700
Марина Н. Школьников	¹	shkolnikova.m.n@mail.ru	 0000-0002-9146-6951
Венера Н. Аббазова	¹	abbazova@usue.ru	 0000-0002-2009-8856
Елена В. Аверьянова	²	bt@bti.secna.ru.ru	 0000-0003-2144-1238
Татьяна И. Романюк	³	tafursova@ya.ru	 0000-0001-8813-9901

1 Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, Екатеринбург, 620144, Россия

2 Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, ул. Героя Советского Союза 27, г. Бийск, 359305, Россия

3 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Эффективная переработка сельскохозяйственной продукции методами биотехнологии является одной из мировых тенденций развития сельского хозяйства и пищевой промышленности. Использование мякоти тыквы в рецептурах продуктов питания увеличивает их биологическую ценность за счет содержащегося в ней микронутриента β -каротина, снижает себестоимость изделий и увеличивает срок годности. основной целью исследования был подбор ферментных препаратов и условий их применения для повышения качества полуфабриката из мякоти тыквы *Cucurbita* spp. В качестве объектов исследования использовали свежие плоды тыквы урожая 2020–2023 гг. потребительской степени зрелости. Установлено, что температура клейстеризации тыквенного крахмала лежит в диапазоне от 65 до 75 °C для всех изучаемых сортов тыквы. При повышении температуры нагрева свыше 75 °C начинается процесс разваривания крахмала, что сопровождается снижением вязкости тыквенного пюре. Показано, что наиболее подходящими ферментными препаратами для направленного ферментоллиза крахмалистой части тыквенного пюре являются препараты α -амилазы Termamyl SC и Амилоризин в дозировке 25 ед. АС/г сырья, обеспечивающие полный гидролиз крахмала в течение 40–55 минут. Как показали результаты дегустационного анализа после ферментоллиза амилолитическими ферментными препаратами отмечаемый в нативном тыквенном пюре вкус сырых овощей и неприятный крахмальный привкус стали практически неощущаемыми, что доказывает эффективность предложенного метода направленного ферментоллиза для повышения качества полуфабриката из мякоти тыквы. Представленные результаты исследований позволяют создать предпосылки для промышленной технологии переработки тыквы в полуфабрикаты с высокой пищевой и биологической ценностью за счет низко температурного воздействия на нативное сырье, что позволит повысить органолептические свойства готового продукта, а также сохранить каротиноиды тыквы в процессе переработки

Ключевые слова: тыква, крахмал, температура клейстеризации, ферментоллиз, полуфабрикаты.

Targeted fermentolysis of pumpkin pulp as a tool for developing the quality of semi-finished products

Evgeny D. Rozhnov	¹	red@bti.secna.ru	 0000-0002-3982-9700
Marina N. Shkolnikova	¹	shkolnikova.m.n@mail.ru	 0000-0002-9146-6951
Venera N. Abbazova	¹	abbazova@usue.ru	 0000-0002-2009-8856
Elena V. Averyanova	²	bt@bti.secna.ru.ru	 0000-0003-2144-1238
Tatiana I. Romanyuk	³	tafursova@ya.ru	 0000-0001-8813-9901

1 Ural State Economic University, st. 8 March/Narodnaya Volya, 62/45, Ekaterinburg, 620144, Russia

2 Bysk Technological Institute (branch) of Altai State Technical University, st. Hero of the Soviet Union 27, Biysk, 359305, Russia

3 Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Effective processing of agricultural products using biotechnology methods is one of the global trends in the development of agriculture and the food industry. The use of pumpkin pulp in food formulations increases their biological value due to the micronutrient β -carotene contained in it, reduces the cost of products and increases shelf life. The main goal of the study was the selection of enzyme preparations and conditions for their use to improve the quality of the semi-finished product from pumpkin pulp *Cucurbita* spp. Fresh pumpkin fruits from the 2020-2023 harvest were used as research objects. consumer maturity level. It has been established that the gelatinization temperature of pumpkin starch lies in the range from 65 to 75 °C for all studied pumpkin varieties. When the heating temperature rises above 75 °C, the process of starch boiling begins, which is accompanied by a decrease in the viscosity of pumpkin puree. It has been shown that the most suitable enzyme preparations for targeted enzymolysis of the starchy part of pumpkin puree are α -amylase preparations Termamyl SC and Amylorizin at a dosage of 25 units amylolytic activity/g of raw material, ensuring complete hydrolysis of starch within 40–55 minutes. As shown by the results of a tasting analysis, after enzymolysis with amylolytic enzyme preparations, the taste of raw vegetables and the unpleasant starchy taste noted in native pumpkin puree became practically imperceptible, which proves the effectiveness of the proposed method of directed enzymatic lysis for improving the quality of the semi-finished product from pumpkin pulp. The presented research results make it possible to create the prerequisites for the industrial technology of processing pumpkin into semi-finished products with high nutritional and biological value due to low temperature effects on native raw materials, which will improve the organoleptic properties of the finished product, as well as preserve pumpkin carotenoids during processing

Keywords: pumpkin, starch, gelatinization temperature, fermentolysis, semi-finished products.

Для цитирования

Рожнов Е.Д., Школьников М.Н., Аббазова В.Н., Аверьянова Е.В., Романюк Т.И. Направленный ферментоллиз мякоти тыквы как инструмент формирования качества полуфабрикатов // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 248–254. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-248-254

For citation

Rozhnov E.D., Shkolnikova M.N., Abbazova V.N., Averyanova E.V., Romanyuk T.I. Targeted fermentolysis of pumpkin pulp as a tool for developing the quality of semi-finished products. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 248–254. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-248-254

Введение

Эффективная переработка сельскохозяйственной продукции методами биотехнологии является одной из мировых тенденций развития сельского хозяйства и пищевой промышленности. В Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 г. выделены основные направления переработки сельскохозяйственного сырья и производства продуктов питания: сохранение и расширение сырьевой базы; повышение конкурентоспособности пищевой продукции на внутреннем и внешнем рынках с использованием традиционных видов сырья.

Тыква *Cucurbita* spp., как сырье для производства продуктов питания, обладает рядом неоспоримых преимуществ и высоким технологическим потенциалом. На территории России тыква выращивается практически повсеместно, что обусловлено ее хорошей приспособляемостью к различным агроклиматическим условиям. выращивают порядка 70 продовольственных культурных сортов тыквы крупноплодной *Cucurbita maxima* Duch и твердокорой *Cucurbita pepo* L., в регионах с более теплым климатом – около 20 сортов мускатной *Cucurbita moschata* Duch, различающихся по составу и содержанию основных БАВ, в частности каротиноидов; плоды обладают хорошей лежкостью и способностью к длительному хранению и круглогодичной переработке [1, 2].

Использование мякоти тыквы в рецептурах продуктов питания увеличивает их биологическую ценность за счет содержащегося в ней микронутриента β-каротина, снижает себестоимость изделий и увеличивает срок годности [3].

Исследованиями показано, что мякоть тыквы обладает высоким биологическим потенциалом, особенно антигипертензивной и антиоксидантной активностью, а пектин тыквы ингибирует активность белка семейства лектинов галектин-3, являющегося маркером развития опухолей: известны содержащие мякоть тыквы фармацевтические композиции для профилактики и лечения фиброза, возникающего в результате коронавирусной инфекции, и способ лечения галектин-3-зависимых расстройств [4, 5].

Мякоть тыквы зачастую является отходом при извлечении семян, поэтому ее использование в технологии пищевых продуктов и напитков в качестве основного или дополнительного сырья имеет как экологические, так и экономические преимущества.

Расширение ассортимента сокосодержащих напитков с использованием овощей, в частности тыквы, в качестве основного сырья

является актуальной задачей для пищевой промышленности. Несмотря на широкий ассортимент имеющихся на рынке продуктов из тыквы – пюре, соки, нектары, цукаты, чипсы, мармелад и т. д. и внедренных научных разработок [6–10], объем производимой продукции недостаточно велик.

Традиционная технология производства тыквенного пюре состоит в подготовке сырья (мойка, измельчение на сегменты, удаление семян, дробление), обработки дробленой массы тыквы в шпательях до размягченного состояния, перетирания до однородной массы с размером частиц не более 0,4 мм [11, 12]. К отрицательным моментам данной технологии можно отнести сравнительно жесткие условия термической обработки тыквенной массы – выдержка при 100–105 °С в течение 10–25 минут, что неминуемо приводит к деградации каротиноидов и снижению биологической ценности получаемого тыквенного пюре [13–15].

Фактически, длительность тепловой обработки мякоти тыквы находится в прямой зависимости от содержания в ней крахмала, поскольку, являясь полимером он в полной мере участвует в формировании межклеточного каркаса. Кроме этого, достаточно высокое содержание крахмала (до 4,5 %) [16, 17] придает свежей мякоти неприятный привкус «сырого крахмала», а также специфические ощущения при разжевывании. Поэтому биотехнологические методы предобработки сырья могут в значительной степени улучшить потребительские свойства пюре из мякоти тыквы, удалив неприятный вкус крахмала.

Таким образом, основной целью исследования был подбор ферментных препаратов и условий их применения для повышения качества полуфабриката из мякоти тыквы *Cucurbita* spp.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали свежие плоды тыквы урожая 2020–2023 гг. потребительской степени зрелости (без повреждений и признаков порчи) шести среднеспелых сортов:

сорта крупноплодной тыквы «Грибовская зимняя», «Зимняя сладкая», «Россиянка», «Улыбка», «Оранжевая кустовая»;

сорт твердокорой тыквы «Алтайская кустовая».

Образцы пюре получали с использованием гомогенизатора Viteg HG-15D при частоте вращения ротора 4000 об/мин.

При подборе условий проведения ферментализации нативного тыквенного пюре использованы амилолитические ферментные препараты, характеристика которых дана в таблице 1.

Для определения температуры клейстеризации тыквенного крахмала и последующей разработки технологии ферментализации пюре использовали экспресс-анализатор консистенции ЭАК-2М (ООО «Изобретатель», Россия). Особенностью работы с прибором является отсутствие

градуировки в стандартных физических единицах измерения вязкости, однако его использование позволяет оперативно получать оценку обобщенной вязкостной характеристики объекта исследования в собственных единицах прибора по отношению к эталону.

Таблица 1.
Характеристика использованных в исследовании ферментных препаратов

Table 1.
Characteristics of enzyme preparations used in the study

Ферментный препарат Enzyme preparation	Т, °С		Оптимальное значение pH, ед. Optimal pH value, units	Амилолитическая активность, ед./мл Amylolytic activity, U/ml
	оптимальная optimal	рабочая working		
Termamyl® SC DS (Novozymes A/S, Дания)	80–85	30–100	5,0–9,0	1800
Альфалад БН (ООО Биопрепарат, Россия)	60–70	30–80	6,0–6,5	2000
Альфалад БТ (ООО Биопрепарат, Россия)	90–95	30–110	6,5–7,5	800
Амилоризин (ООО Биопрепарат, Россия)	30–75	30–75	5,0–6,0	2500 ед./г

Определение крахмала в нативном пюре тыквы и продуктах ферментализации проводили спектрофотометрически по [18], с использованием однолучевого сканирующего спектрофотометра Shimadzu UV1800 (Shimadzu, Япония).

Определение органолептических показателей нативного и ферментализованного тыквенного пюре проводили в условиях и в соответствии с рекомендациями, изложенными в ГОСТ 8756.1–2017 «Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Методы определения органолептических показателей, массовой доли составных частей, массы нетто или объема» (с поправкой).

Эффективность гидролиза крахмала мякоти тыквы оценивали по степени гидролиза крахмала (ЭГ, %), рассчитываемой по формуле:

$$\text{ЭГ} = \frac{C_{\text{ПГ}}}{C_{\text{НАТ}}} \cdot 100\%$$

где $C_{\text{ПГ}}$ – количество крахмала в мякоти тыквы после проведения ферментативного гидролиза, г/100 г; $C_{\text{НАТ}}$ – количество нативного крахмала в мякоти тыквы, г/100 г.

Результаты

Одним из факторов, влияющих на эффективность ферментативного гидролиза крахмала является температура его клейстеризации, при этом известно что для разных крахмалсодержащих культур температура клейстеризации крахмала различна [19, 20]. При анализе доступной научно-технической литературы не было найдено сведений о температуре клейстеризации тыквенного крахмала, поэтому в эксперименте необходимо установить не только дозировку фермента для гидролиза крахмала, но и подобрать минимальную температуру и продолжительность процесса.

На рисунке 1 показано изменение консистенции тыквенного пюре в зависимости от температуры нагрева массы.

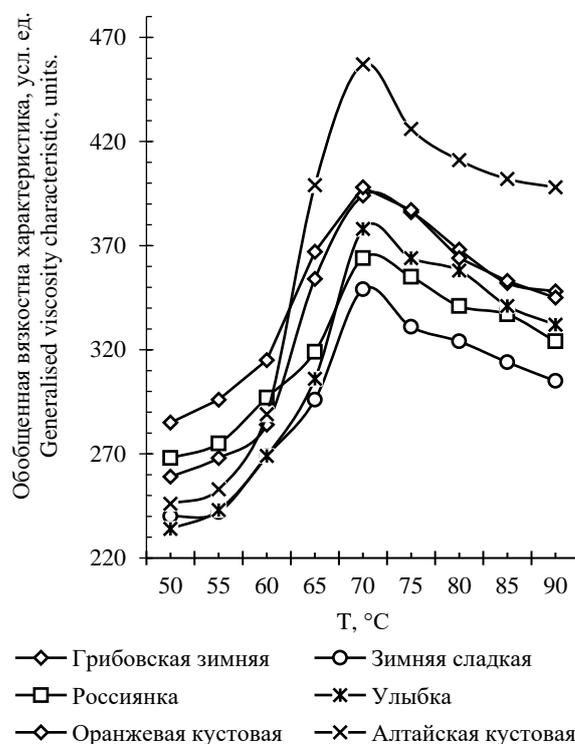


Рисунок 1. Кривые, демонстрирующие процесс клейстеризации крахмала тыквенного пюре

Figure 1. Curves showing the gelatinization process of pumpkin puree starch

Далее определяли минимальную дозировку ферментного препарата достаточную для полного гидролиза нативного крахмала тыквы в течение 60 минут при температуре 70 °С.

В опыте варьировали дозировку ферментных препаратов (на преобладающую α -амилазную активность) от 5 до 50 ед. АС/г сырья. Продолжительность ферментализации определяли по йодной пробе, проводимой при микроскопировании (400–600 крат).

Результаты экспериментов представлены на рисунках 2–5 (на примере тыквенного пюре из тыквы сорта «Грибовская зимняя»).

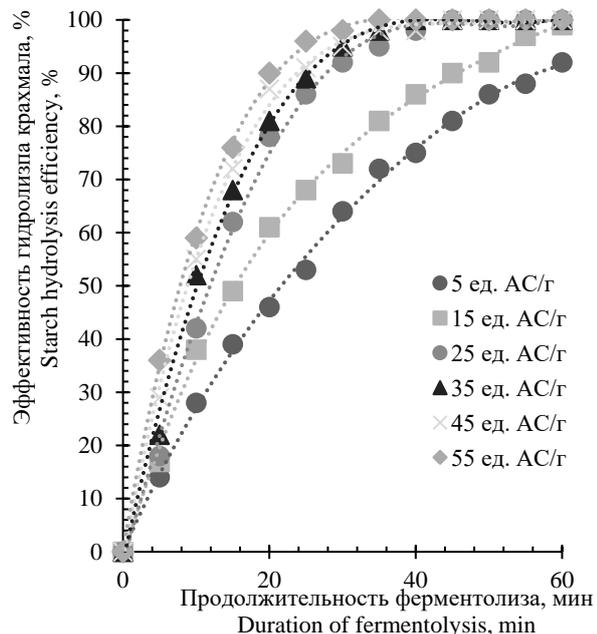


Рисунок 2. Эффективность гидролиза крахмала тыквы при использовании ферментного препарата Termamyl SC

Figure 2. Efficiency of hydrolysis of pumpkin starch using the enzyme preparation Termamyl SC

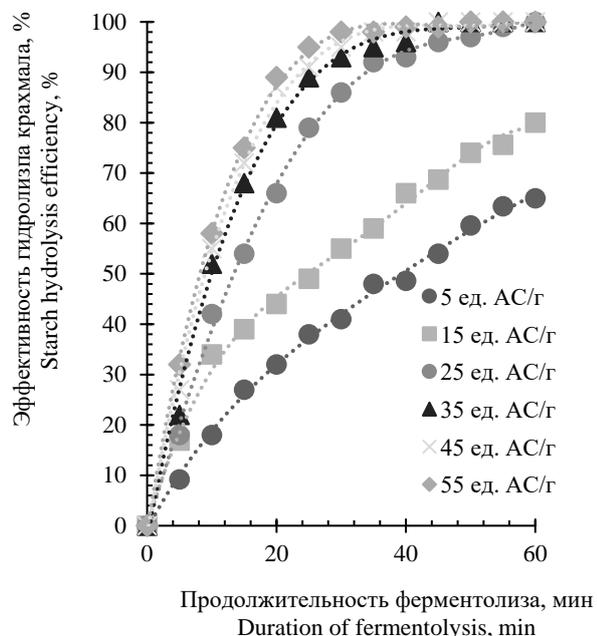


Рисунок 3. Эффективность гидролиза крахмала тыквы при использовании ферментного препарата Амилоризин

Figure 3. Efficiency of hydrolysis of pumpkin starch using the enzyme preparation Amylorizin

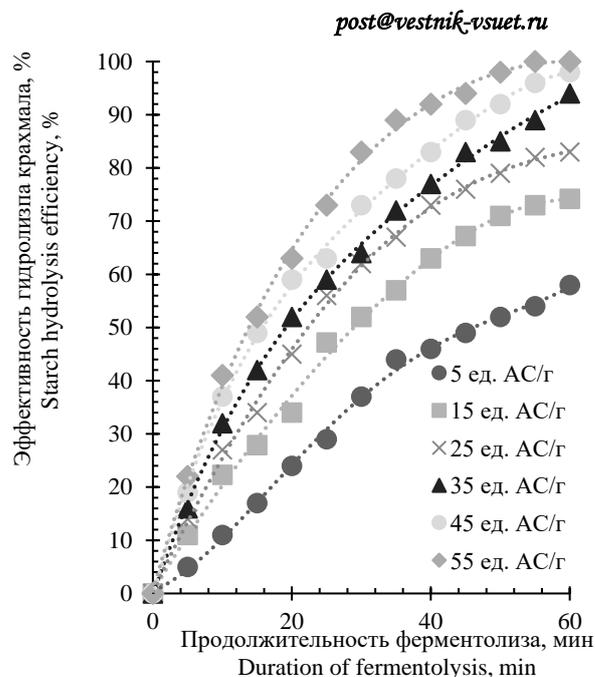


Рисунок 4. Эффективность гидролиза крахмала тыквы при использовании ферментного препарата Альфалад БТ

Figure 4. Efficiency of hydrolysis of pumpkin starch using the enzyme preparation Alfalad BT

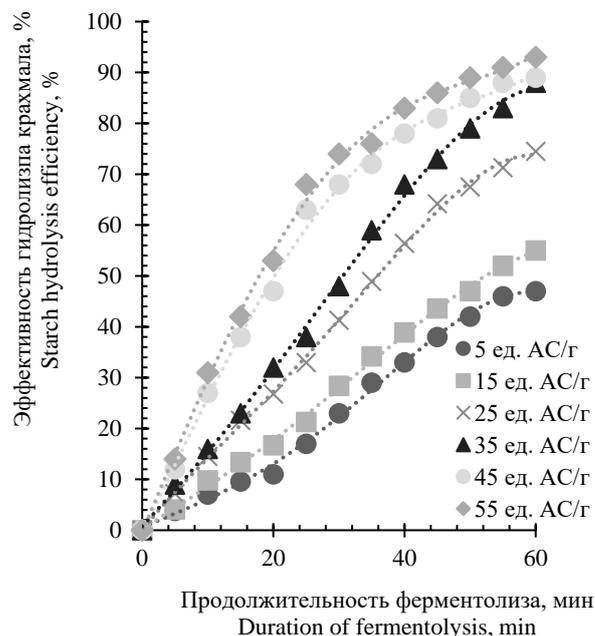


Рисунок 5. Эффективность гидролиза крахмала тыквы при использовании ферментного препарата Альфалад БН

Figure 5. Efficiency of hydrolysis of pumpkin starch using the enzyme preparation Alfalad BN

Образцы тыквенного пюре после ферментации охлаждали и проводили органолептическую оценку. Как показали результаты дегустационного анализа после ферментации амилолитическими

ферментными препаратами отмечаемый в нативном тыквенном пюре вкус сырых овощей и неприятный крахмальный привкус стали практически неощущаемыми, что доказывает эффективность предложенного метода направленного ферментолита для повышения качества полуфабриката из мякоти тыквы.

Обсуждение

Как показывают результаты, представленные на рисунке 1 температура клейстеризации тыквенного крахмала лежит в диапазоне от 65 до 75 °С для всех изучаемых сортов тыквы. При повышении температуры нагрева свыше 75 °С начинается процесс разваривания крахмала, что сопровождается снижением вязкости тыквенного пюре. Таким образом, этот температурный диапазон должен быть положен в основу при разработке промышленной технологии ферментолита тыквенного пюре при выработке полуфабрикатов для использования на предприятиях общественного питания.

По результатам выполненного комплекса исследований (рисунки 2–5) было установлено, что для полного гидролиза крахмала тыквы ферментным препаратом Termamyl SC достаточно дозировки препарата 25 ед. АС/г сырья и продолжительности ферментолита 40–45 минут. Практически аналогичные результаты были достигнуты при использовании ферментного препарата Амилоризин – полный гидролиз крахмала также достигался при дозировке ферментного препарата 25 ед. АС/г сырья, однако для этого требовалось не менее 50–55 минут. Использование препаратов Альфапад БН и Альфапад БТ показало более худшие результаты. При использовании Альфапад БТ полный гидролиз

крахмала тыквы достигался при дозировке препарата 45–55 ед. АС/г сырья и длительности ферментолита 55–60 минут. Эксперимент с использованием ферментного препарата Альфапад БН показал, что максимальная степень гидролиза крахмала, равная 89–93 % достигается при дозировках 45–55 ед. АС/г сырья и длительности ферментолита 60 минут. Полный гидролиз крахмала ферментным препаратом Альфапад БН достигнут не был, поэтому при проведении дальнейших исследований применение данного препарата α -амилазы является нецелесообразным.

Заключение

По результатам выполненных исследований были сделаны следующие основные выводы:

температура клейстеризации тыквенного крахмала находится в пределах 65–75 °С, что необходимо учитывать при разработке биотехнологических методов переработки тыквы;

наиболее подходящими ферментными препаратами для направленного ферментолита крахмалистой части тыквенного пюре являются препараты α -амилазы Termamyl SC и Амилоризин в дозировке 25 ед. АС/г сырья, обеспечивающие полный гидролиз крахмала в течение 40–55 минут

Представленные результаты исследований позволяют создать предпосылки для промышленной технологии переработки тыквы в полуфабрикаты с высокой пищевой и биологической ценностью за счет низко температурного воздействия на нативное сырье, что позволит повысить органолептические свойства готового продукта, а также сохранить каротиноиды тыквы в процессе переработки.

Литература

- 1 Лящева Л.В. Оценка хозяйственных признаков сортов тыквы, выращенных в условиях лесостепи Северного Зауралья // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 1 (75). С. 59–62.
- 2 Школьников М.Н., Аббазова В.Н. Исследование химического состава мякоти тыквы как основы для безалкогольных напитков // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2021. № 24 (4). С. 441–449.
- 3 Осмоловский П.Д., Пискунова Н.А., Воробьева Н.Н., Сычев Р.В. и др. Технологическая оценка современных сортов тыквы как сырья для производства варенья // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2019. № 7(2). С. 5–14.
- 4 Kleijn A.F. et al. Toxicological evaluation of a pumpkin-derived pectin preparation: in vitro genotoxicity studies and a 13-week oral toxicity study in Sprague-Dawley rats // Toxicology Research. 2024. V. 13. №. 1.
- 5 Abbas H.M.K. et al. Evaluation of metabolites and antioxidant activity in pumpkin species // Natural Product Communications. 2020. V. 15. №. 4. doi: 10.1177/1934578X209209
- 6 Ninčević Grassino A. et al. Carotenoid Content and Profiles of Pumpkin Products and By-Products // Molecules. 2023. V. 28. №. 2. P. 858.
- 7 Lemus-Mondaca R. et al. Pumpkin seeds (*Cucurbita maxima*): a review of functional attributes and by-products // Rev. chil. nutr. 2019. P. 783–791.
- 8 Kaur S. et al. Functional and nutraceutical properties of pumpkin—a review // Nutrition & Food Science. 2020. V. 50. №. 2. P. 384–401.
- 9 Kidoń M., Uwineza P.A. New Smoothie Products Based on Pumpkin, Banana, and Purple Carrot as a Source of Bioactive Compounds // Molecules. 2022. V. 27. №. 10. P. 3049.
- 10 Рожнов Е.Д. Подходы к разработке рецептур каротиноидосодержащих безалкогольных напитков // Индустрия питания // Food Industry. 2019. Т. 4. №. 4. С. 37–43.
- 11 Kampuse S. et al. The influence of processing and storage conditions on quality parameters of pumpkin puree // 13th Baltic Conference on Food Science and Technology “Food. Nutrition. Well-being. 2019. P. 137–142.

- 12 Piepiórka-Stepuk J. et al. The effect of heat treatment on bioactive compounds and color of selected pumpkin cultivars // LWT. 2023. V. 175. P. 114469.
- 13 Kim M.J. et al. Formation and reduction of furan in pumpkin puree by precursors, antioxidants, sterilization and reheating // Food Chemistry. 2023. V. 402. P. 134141.
- 14 Atencio S. et al. Impact of processing on the production of a carotenoid-rich Cucurbita maxima cv. Hokkaido pumpkin juice // Food Chemistry. 2022. V. 380. P. 132191.
- 15 Zhumaliyeva G. et al. Development of concentrate technology for puree // Journal of Hygienic Engineering & Design. 2023. V. 44. P. 173–177.
- 16 Yuan T. et al. Structural characteristics and physicochemical properties of starches from winter squash (Cucurbita maxima Duch.) and pumpkin (Cucurbita moschata Duch. ex Poir.) // Food Hydrocolloids. 2022. V. 122. P. 107115.
- 17 Przetaczek-Rożnowska I. Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches // International Journal of Biological Macromolecules. 2017. V. 101. P. 536–542.
- 18 Рачкова В.П., Сураева Н.М., Глазков С.В., Самойлов А.В. Спектрофотометрическое определение крахмала в томатных продуктах с антроновым реактивом // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 6 (141). С. 187–193.
- 19 Chakraborty I. et al. An insight into the gelatinization properties influencing the modified starches used in food industry: A review // Food and Bioprocess Technology. 2022. V. 15. №. 6. P. 1195–1223.
- 20 Liu Y. et al. New insights into starch gelatinization by high pressure: Comparison with heat-gelatinization // Food chemistry. 2020. V. 318. P. 126493.

References

- 1 Lyashcheva L.V. Evaluation of economic traits of pumpkin varieties grown in the forest-steppe conditions of the Northern Trans-Urals. Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. 2019. no. 1 (75). pp. 59–62. (in Russian).
- 2 Shkolnikova M.N., Abbazova V.N. Study of the chemical composition of pumpkin pulp as a basis for soft drinks. Bulletin of the Murmansk State Technical University. 2021. no. 24 (4). pp. 441–449. (in Russian).
- 3 Osmolovskiy P.D., Piskunova N.A., Vorobyova N.N., Sychev R.V. et al. Technological assessment of modern pumpkin varieties as raw materials for jam production. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2019. no. 7 (2). pp. 5–14. (in Russian).
- 4 Kleijn A.F. et al. Toxicological evaluation of a pumpkin-derived pectin preparation: in vitro genotoxicity studies and a 13 week oral toxicity study in Sprague-Dawley rats. Toxicology Research. 2024. vol. 13. no. 1.
- 5 Abbas H.M.K. et al. Evaluation of metabolites and antioxidant activity in pumpkin species. Natural Product Communications. 2020. vol. 15. no. 4. doi: 10.1177/1934578X209209
- 6 Ninčević Grassino A. et al. Carotenoid Content and Profiles of Pumpkin Products and By-Products. Molecules. 2023. vol. 28. no. 2. pp. 858.
- 7 Lemus-Mondaca R. et al. Pumpkin seeds (Cucurbita maxima): a review of functional attributes and by-products. Rev. chil. nutr. 2019. pp. 783–791.
- 8 Kaur S. et al. Functional and nutraceutical properties of pumpkin—a review. Nutrition & Food Science. 2020. vol. 50. no. 2. pp. 384–401.
- 9 Kidoń M., Uwineza P.A. New Smoothie Products Based on Pumpkin, Banana, and Purple Carrot as a Source of Bioactive Compounds. Molecules. 2022. vol. 27. no. 10. pp. 3049.
- 10 Rozhnov E.D. Approaches to the development of recipes for carotenoid-containing soft drinks. Food Industry. 2019. vol. 4. no. 4. pp. 37–43. (in Russian).
- 11 Kampuse S. et al. The influence of processing and storage conditions on quality parameters of pumpkin puree. 13th Baltic Conference on Food Science and Technology “Food. Nutrition. Well-being. 2019. pp. 137–142.
- 12 Piepiórka-Stepuk J. et al. The effect of heat treatment on bioactive compounds and color of selected pumpkin cultivars. LWT. 2023. vol. 175. p. 114469.
- 13 Kim M.J. et al. Formation and reduction of furan in pumpkin puree by precursors, antioxidants, sterilization and reheating. Food Chemistry. 2023. vol. 402. pp. 134141.
- 14 Atencio S. et al. Impact of processing on the production of a carotenoid-rich Cucurbita maxima cv. Hokkaido pumpkin juice. Food Chemistry. 2022. vol. 380. pp. 132191.
- 15 Zhumaliyeva G. et al. Development of concentrate technology for puree. Journal of Hygienic Engineering & Design. 2023. vol. 44. pp. 173–177.
- 16 Yuan T. et al. Structural characteristics and physicochemical properties of starches from winter squash (Cucurbita maxima Duch.) and pumpkin (Cucurbita moschata Duch. ex Poir.). Food Hydrocolloids. 2022. vol. 122. pp. 107115.
- 17 Przetaczek-Rożnowska I. Physicochemical properties of starches isolated from pumpkin compared with potato and corn starches. International Journal of Biological Macromolecules. 2017. vol. 101. pp. 536–542.
- 18 Rachkova V.P., Surava N.M., Glazkov S.V., Samoïlov A.V. Spectrophotometric determination of starch in tomato products with anthrone reagent. Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University. 2018. no. 6 (141). pp. 187–193. (in Russian).
- 19 Chakraborty I. et al. An insight into the gelatinization properties influencing the modified starches used in food industry: A review. Food and Bioprocess Technology. 2022. vol. 15. no. 6. pp. 1195–1223.
- 20 Liu Y. et al. New insights into starch gelatinization by high pressure: Comparison with heat-gelatinization. Food chemistry. 2020. vol. 318. pp. 126493.

Сведения об авторах

Евгений Д. Рожнов д.т.н., профессор, кафедра пищевой инженерии, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, г. Екатеринбург, 620144, Россия, red@bti.secna.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

Марина Н. Школьников д.т.н., профессор, кафедра технологии питания, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, Екатеринбург, 620144, Россия, shkolkov.m.n@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

Венера Н. Аббазова старший преподаватель, кафедра управления качеством и экспертизы товаров и услуг, Уральский государственный экономический университет, ул. 8 Марта/Народной Воли, 62/45, Екатеринбург, 620144, Россия, abbazova@usue.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2009-8856>

Елена В. Аверьянова д.т.н., доцент, кафедра биотехнологии, Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, ул. Героя Советского Союза Трофимова, 27, Бийск, 659305, Россия, bt@bti.secna.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

Татьяна И. Романюк к.т.н., доцент, кафедра технологии броидильных и сахаристых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tafursova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8813-9901>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Evgeny D. Rozhnov Dr. Sci. (Engin.), professor, food engineering department, Ural State Economic University, st. 8 March/Narodnaya Volya, 62/45, Ekaterinburg, 620144, Russia, red@bti.secna.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

Marina N. Shkolnikova Dr. Sci. (Engin.), professor, food technology department, Ural State Economic University, st. 8 March/Narodnaya Volya, 62/45, Ekaterinburg, 620144, Russia, shkolkov.m.n@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

Venera N. Abbazova senior lecturer, quality management and expertise of goods and services department, Ural State Economic University, st. 8 March/Narodnaya Volya, 62/45, Ekaterinburg, 620144, Russia, abbazova@usue.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2009-8856>

Elena V. Averyanova Dr. Sci. (Engin.), associate professor, biotechnology department, Biysk Technological Institute (branch) of Altai State Technical University, st. Hero of the Soviet Union Trofimova, 27, Biysk, 659305, Russia, bt@bti.secna.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

Tatiana I. Romanyuk Cand. Sci. (Engin.), associate professor, fermentation and sugar production technology department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tafursova@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-8813-9901>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/04/2024	После редакции 30/04/2024	Принята в печать 24/05/2024
Received 11/04/2024	Accepted in revised 30/04/2024	Accepted 24/05/2024

Effects of ultrasonic treatment on protein extractability during complex processing of sunflower seeds

Liliia O. Shaginova	¹	liliyashaginova@gmail.com	 0000-0001-9938-8962
Lyudmila A. Zabodalova	²	zabodalova@gmail.com	 0000-0002-2324-8311
Tatiana F. Demianenko	¹	tandem.50@list.ru	 0000-0002-4220-7224
Maria L. Domoroshchenkova	¹	mdomor@mail.ru	 0000-0003-4230-8372
Irina V. Krylova	^{1,2}	irinakrylova1987@gmail.com	 0000-0002-0132-2189

¹ ARSRIF, Chernyakhovskogo str., 10, St. Petersburg, 191119, Russia

² ITMO University, Kronverksky pr., 49, St. Petersburg, 197101, Russia

Abstract. In this study sunflower seed cake produced on a screw press by cold pressing of dehulled sunflower seeds of confectionery-type sunflower was used as a raw material for obtaining of sunflower protein preparations. Ultrasonic treatment of the phenol-free cake was applied for improvement of extractability of proteins after the removal of phenolic compounds by treatment of dehulled sunflower press cake with an aqueous ethyl alcohol solution. Sonification was accomplished by the generator at ultrasound frequency of 22.00 ± 1.65 kHz with a duration of ultrasonic treatment from 5 to 15 minutes. Extraction of proteins was carried out in a mild alkaline medium with 0.1 % sodium bicarbonate solution with a hydro module of 1: 5 and temperature of $45 \pm 2^\circ$ C. Protein and dry matter content of protein extracts proportionally increased after 5–12 minutes of ultrasonic treatment with the formation of homogeneous protein extracts stable to solid phase separation and characterized by a lighter colour in comparison with the control sample not subjected to ultrasonic processing. However, after 15 minutes of ultrasonic treatment protein extracts lost uniformity with sedimentation of a solid fraction. Studies demonstrated that application of ultrasonic treatment prior protein extraction resulted in a growth of dry matter and crude protein content of sunflower protein extracts correspondently to the duration of sonification. This effect might be beneficial for an increase of protein yields in processes of manufacturing of light-coloured sunflower protein concentrates and isolates and for manufacturing of functional protein drinks from sunflower seeds. Additionally, it has been shown that sonication of sunflower protein solutions obtained after extraction of protein substances with 0.1 % NaHCO_3 solution and removal of insoluble residue significantly improved their sedimentation stability and resulted in a lighter colour of resulted protein solutions in comparison with a conventional treatment by a high-speed disperser. Such treatment might be used in processes of manufacturing of dairy milk analogues from sunflower seeds.

Keywords: sunflower seeds, sunflower protein, protein extraction, phenolic compounds, ultrasonic treatment.

Introduction

Development of methods of production of edible protein supplements from non-traditional plant raw materials is one of the important objectives of avoiding protein deficiency, reducing dependence on proteins of animal origin and improving the structure of human nutrition. Replacing animal protein with vegetable protein in human diets is regarded as a perspective solution for achievement of more sustainable global agri-food systems and it is essential for improving the sustainability of diets [1]. According to the publication of "Agroinvestor" magazine dated 03/27/2021, by 2035 the market of products derived from plant raw materials will account 11% of the total protein market. It is forecasted that alternative plant products will have the fastest development in Russia which will allow Russia to strengthen its position as the largest agricultural supplier of plant products [2].

Nowadays all over the world research and commercial production of meat and dairy analogues are being actively developing using

vegetable proteins from soybeans, peas, wheat, oats and other crops. Sunflower seed occupies a more modest position in the world vegetable protein resources compared to other protein rich crops. But for Russia this oilseed is a promising raw material for production of vegetable protein ingredients and products. Sunflower is the main oilseed crop cultivated in Russia. Sunflower seed production in the country has grown significantly over the past 20 years from 2.7 million MT in 2001 to a record crop of 15.4 million MT in 2019.

The potential of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as a raw material for obtaining of vegetable proteins is significantly underestimated. The bulk of sunflower seed is crushed at oil mills with production of vegetable oil and fodder cakes and meal. Food utilization is mainly limited to sales of packaged sunflower seeds and kernels through retail networks and by usage of dehulled sunflower seeds and flour at confectionery and bakery enterprises.

Nitrogen-containing compounds rank on the second position after lipids in composition of

Для цитирования

Шагинова Л.О., Забодалова Л.А., Демьяненко Т.Ф., Доморошенкова М.Л., Крылова И.В. Влияние ультразвуковой обработки на экстрагируемость белков при комплексной переработке семян подсолнечника // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 255–261. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-255-261

For citation

Shaginova L.O., Zabodalova L.A., Demianenko T.F., Domoroshchenkova M.L., Krylova I.V. Effects of ultrasonic treatment on protein extractability during complex processing of sunflower seeds. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 255–261. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-255-261

sunflower seeds. Seeds of modern sunflower varieties and hybrids contain on average 45–52% fats and 17–22% proteins. Sunflower seed storage proteins have up to 70–80% of globulins and a high biological value.

Many research papers are devoted to development of methods for obtaining of protein products from sunflower seed [3–12]. The main problems for commercial production of sunflower proteins are connected with high fiber content of sunflower cakes and meals and with the presence of phenolic compounds. Polyphenols can oxidize during storage and processing especially during conventional alkaline or salt protein extraction. Besides it could decrease nutritional and functional properties of sunflower protein preparations. [13–18]. To devoid this problem we've introduced the stage of removing phenolic compounds with an aqueous solution of ethyl alcohol into the scheme of complex processing of sunflower seeds [19]. But treatment of sunflower raw material with a hydrophobic solvent resulted in a denaturation of proteins with a decrease of solubility of protein substances. It limits protein extractability with water and with aqueous solutions of electrolytes and will negatively impact on sunflower protein isolates and concentrates yields and functionality and on protein content in dairy milk analogues from sunflower seeds.

To develop an effective method of production of sunflower protein preparations and products it is important to use specially dehulled high-protein seed and deoiled feedstock as a raw material and to intensify the process of protein extraction after removal of phenolic compounds.

Physical methods are perspective for improvement of extractability of target components, such as high pressure treatment, sonification, exposure to microwaves. The main advantage of these methods is their environmental friendliness, avoiding of organic solvents and aggressive chemical media, absence of waste waters and et. These methods can increase the protein yield up to 80% [20]. Today a special attention is paid to ultrasonic processing which is absolutely harmless to the environment, requires less processing impact, less maintenance costs, and is easy to install and use [21].

In the current study confectionery-type sunflower seeds are used as a raw material to produce protein preparations. These seeds are characterized by a lower oil content compared to oil varieties of sunflower seeds and can be easier dehulled. An environmentally friendly mechanical pressing method is used to extract the oil. Removal of phenolic compounds is performed by treating the press cake with an aqueous ethyl alcohol solution. The experiments are performed to investigate effects of sonification on extractability of proteins from dehulled and mechanically deoiled sunflower seed after ethyl alcohol treatment. Additionally, the effect of ultrasonic

treatment of the protein solution after separation of the insoluble cake residue on its sedimentation stability is studied in comparison with conventional treatment in a disperser.

Materials and Methods

Two commercial batches of confectionery-type sunflower seeds with different protein content were selected for experiments. Two samples of dehulled seeds were obtained by mechanical separation and removal of hulls. Crude protein, fat and moisture content of dehulled seed samples # 1.1. and # 2.1. are presented in Table 1.

Table 1.
Chemical composition of dehulled sunflower seed samples

Parameters	Sample #1.1	Sample #2.1
Moisture and volatiles, %	4,13 ± 0,05	4,47 ± 0,03
Crude protein (Nx6.25), % m.f.b. *	26,79 ± 0,03	23,33 ± 0,02
Crude fat (ether extr.), % m.f.b.	44,42 ± 0,14	49,67 ± 0,15

* m.f.b. – moisture free basis

Source: Compiled by the authors

Sunflower oil was extracted by cold pressing of dehulled seeds at Akita jp AKJP 700 oil press professional screw oil press with capacity of 18 to 20 kg/h. Samples #1.2 and #2.2 of dehulled sunflower press cake with different crude protein content were obtained. The chemical composition of the samples is presented in Table 2.

Table 2
Chemical composition of dehulled sunflower press cake samples

Parameters	Sample #2.1	Sample #2.2
Moisture and volatiles, %	7,16 ± 0,03	7,48 ± 0,04
Crude protein (Nx6.25), % m.f.b.	46,63 ± 0,05	39,16 ± 0,02
Crude fat (ether extr.), % m.f.b.	9,5 ± 0,08	9,34 ± 0,06

Source: Compiled by the authors

For removal of phenolic compounds sunflower cake samples #1.2 and #2.2 were extracted by 70% aqueous ethyl alcohol solution followed by washing of a solid residue with acidified water [19]. Then 0.1% NaHCO₃ aqueous solution was used for extraction of proteins in an alkaline medium at a ratio of 1: 5 and temperature of 45 ± 2 °C for 30 minutes and a stirring speed of 1,000 rpm. Soluble protein extracts were separated from insoluble cake residues by centrifugation at 2,000 rpm.

Ultrasonic treatment was applied at two different stages of complex processing of sunflower seeds.

1. Ultrasonic treatment of de-phenolic sunflower press cake samples prior extraction of protein substances.

Ultrasonic treatment prior extraction of proteins by sodium bicarbonate solution was carried out at I100–6/4 ultrasonic generator (manufactured by LLC "Ultrasonic technology – INLAB", Russia) at a working ultrasound frequency of 22.00 ± 1.65 kHz; power consumption 100 W with a duration of

ultrasonic treatment from 5 to 15 minutes (samples #1.3 and #2.3). A sample of the protein extract not subjected to ultrasonic treatment was used as a control (0 minutes).

2. Ultrasonic treatment of protein solution after removal of insoluble cake residue.

Impact of sonification on the sedimentation stability of protein solutions was carried out by ultrasonic treatment for 4 minutes at a working ultrasound frequency of 22.00 ± 1.65 kHz (sample #1.4) and compared with processing of protein solution in a laboratory disperser T25 digital ULTRATURRAX®, IKA, Germany at 13.5 thousand rpm for 30 minutes (sample #1.5).

To avoid overheating of materials during sonification and to maintain the optimum temperature, an ice bath was used in both cases of ultrasound treatment.

The protocol followed for the complex processing of sunflower seed including ultrasonic treatment stages is illustrated in figure 1.

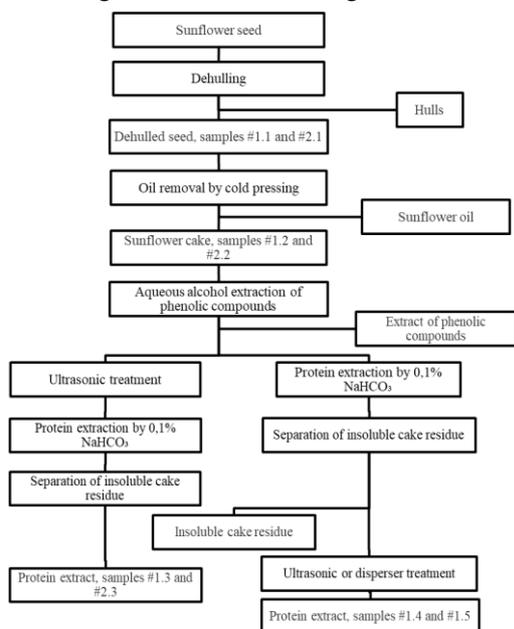


Figure 1. Flow diagram of stages of complex processing of sunflower seed. Source: Compiled by the authors

Dry matter content, crude protein and crude fat content were analyzed in sunflower raw materials, control and experimental samples.

Dry matter contents were determined gravimetrically at 105 °C following the protocol of the Russian state standard GOST 13979.1.

Crude protein contents of samples were calculated based on their nitrogen content (Nx6.25) as determined by Kjeldahl method using Protein/Nitrogen analyzer KjelFlex K-360 of BUCHI following the protocol of the Russian state standard GOST 13496.4.

Crude fat contents of samples were determined by extraction of oil from samples by diethyl ether using the Soxhlet apparatus and method following the protocol of the Russian state standard GOST R 53153.

Sedimentation stability and colour of resulting protein solutions were evaluated visually.

Distribution of fat globules in protein solutions before and after ultrasonic treatment was observed at Axio Lab. A1 laboratory microscope (manufactured by Carl Zeiss, Germany) with magnification 63x.

All experiments were carried out in three replicates.

Results

The effect of ultrasonic treatment of dephenolic sunflower press cake samples that was applied prior the extraction of protein substances with 0.1% NaHCO₃ solution on dry matter and crude protein content of protein extracts (samples #1.3 and #2.3) is shown in Table 3.

The growth of crude protein and dry matter content in protein extracts produced with ultrasonic treatment expressed as a percent to the corresponding parameters of the control extract without ultrasonic treatment is shown in Fig. 2.1 and 2.2. The content of crude protein and dry matter in the control (0 minutes) sample is taken as 100%.

Table 3.

Effect of ultrasonic treatment on crude protein and dry matter content of protein extracts in sodium bicarbonate solution

Duration of treatment	Crude protein, %		Dry matter content, %	
	Sample #1.3	Sample #2.3	Sample #1.3	Sample #2.3
Control – 0 min.	2,23 ± 0,005	1,57 ± 0,002	2,56 ± 0,014	2,01 ± 0,002
5 minutes	2,64 ± 0,021	1,65 ± 0,005	2,9 ± 0,07	2,19 ± 0,04
10 minutes	2,88 ± 0,003	1,71 ± 0,004	3,3 ± 0,05	2,21 ± 0,08
12 minutes	-	1,98 ± 0,006	-	2,77 ± 0,09
15 minutes	3,69 ± 0,006	3,05 ± 0,004	4,5 ± 0,02	4,28 ± 0,04

Source: Compiled by the authors

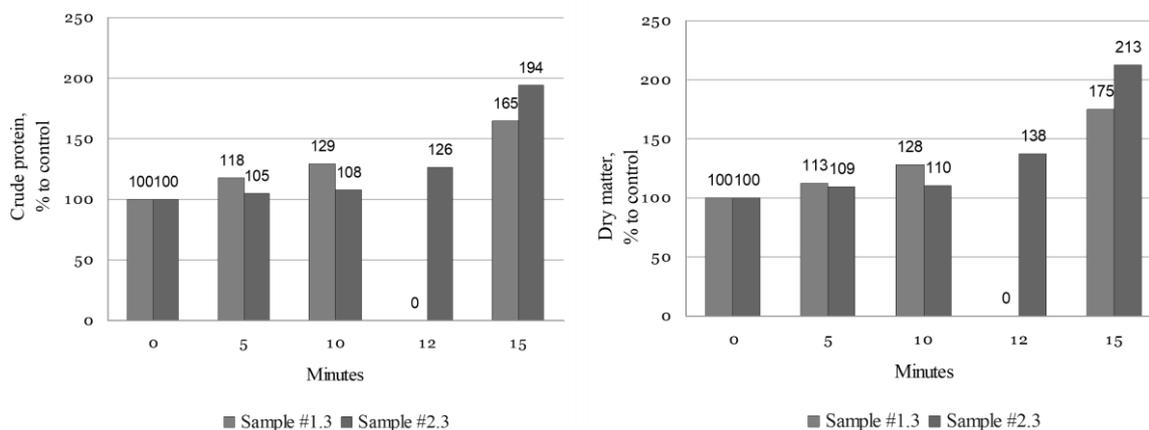


Figure 2. Growth of crude protein and dry matter content in protein extracts after ultrasonic treatment in percent to corresponding control sample levels expressed as 100%. Source: Compiled by the authors

The effect of the duration of ultrasonic treatment of sample #1.3 on the appearance of the protein extracts is shown in Figure 3.



Figure 3. Photo of protein extracts in 0,1% NaHCO₃ solution without ultrasonic treatment (control) and with duration of ultrasonic treatment of de-phenolic sample #1.2 during 5, 10 and 15 minutes. Source: Taken by the authors

The effect of ultrasonic treatment on the distribution and size of fat globules in sample #1.3 under a microscope in comparison with the control protein extract without ultrasonic treatment is shown in Figure 4.

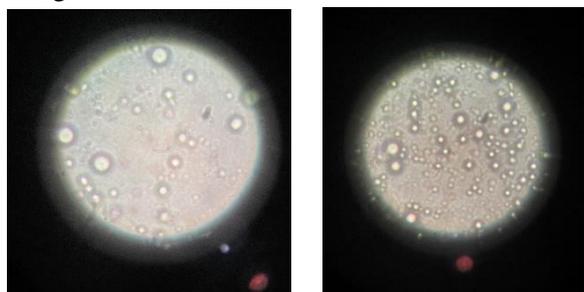


Figure 4. Photo of protein extracts taken with microscope magnification. Left – control sample without ultrasonic treatment. Right – sample after sonification. Source: Taken by the authors

The effect of ultrasonic treatment of protein solutions obtained after extraction of protein substances with 0.1% NaHCO₃ solution and separation of insoluble residue on their appearance in comparison with processing in a disperser is shown in figure 5.



Figure 5. Photo of protein solutions after treatment by 2 – ultrasound generator (sample #1.4) and 1 – disperser (sample #1.5)

Discussion

The results of experiments demonstrate that introduction of the sonification stage prior the extraction of protein substances from the material treated with alcohol the content of dry matter and crude protein in protein extracts (samples #1.3 and #2.3) grows with an increase of sonification time (Table 3). During the first 10 minutes of sonification the protein concentration in the extracted solution proportionally increases by 29% for sample #1.3 and by 8% for sample #2.3, the concentration of dry substances in the extracts increases by 28% for sample #1.3 and 10% for sample #2.3 respectively (Figure 2).

Protein extracts obtained from de-phenolic sunflower press cake sample #1.2 after sonification for 15 minutes quickly lost uniformity with sedimentation of a solid fraction while such effects didn't occur during sonification for 10 minutes or less. In experiments with de-phenolic sample #2.2 the effect of the additional sonification time of 12 minutes was studied. It was observed that such treatment didn't cause phase separation of the resulted protein extract. After sonification for 15 minutes, the crude protein content in the extracted solutions obtained from

both samples of de-phenolic sunflower press cakes increased sharply – by 65% (sample #1.3) and 94% (sample #2.3) compared to the crude protein content in the control extracts without sonification (Figure 2). However, these protein extracts were unstable forming a precipitate during the day storage at a room temperature. Perhaps 15 minutes sonification will have a positive effect on yields of protein isolates and concentrates but may lead to the loss of their functional properties. Protein extracts after sonication had a lighter colour in comparison with the control sample (Figure 3). Apparently, after ultrasonic treatment during time up to 10–12 minutes there is a change in the size of the fat globules and formation of a more uniform distribution of protein and fat molecules preventing coalesation. Microscopic examination of the structure of the protein solution showed a significant reduction the size of fat globules and a more uniform distribution after sonication (Figure 4), which positively influenced the system's sedimentation stability.

After 15 minutes of sonification more drastic structural changes could occur with the loose of the system stability and formation of a precipitate. We consider that for methods of production of functional protein drinks with an increased protein content from sunflower seeds the sonification stage should be less than 15 minutes to prevent separation of the product during storage which will negatively affect the consumer perception of the sunflower drink.

In the 2nd series of experiments introduction of the 4 minutes sonication treatment of the protein solutions obtained after extraction of protein substances with 0.1% NaHCO₃ and removal of cake

insoluble residue resulted in a significant improvement in their sedimentation stability and appearance compared with a conventional treatment in a disperser during 30 minutes. In protein solutions treated with ultrasound a precipitate was formed on the 2nd day of storage compared to the formation of the precipitate during the 1st day in samples treated in a disperser stored at the same storage conditions in a refrigerator at a temperature of 4 ± 2 °C. Another positive result was that when the samples were sonicated, the protein solution had a lighter colour compared to the treatment in a disperser (Figure 5). These effects are very promising for development of dairy milk analogues from sunflower seeds with introduction of an ultrasound treatment.

Conclusion

The experiments have demonstrated that introduction of the stage of ultrasonic treatment after alcohol extraction of phenolic compounds from the dehulled sunflower press cake seed in complex processing of confectionery-type sunflower seeds significantly increases the protein extractability with 0.1% NaHCO₃ solution. The growth of crude protein extractability after sonication will have a positive effect on protein yields in conventional methods of production of sunflower protein concentrates and isolates by alkaline and salt extraction. In addition, sonication is a promising treatment for increasing of the protein concentration in functional protein drinks from sunflower seeds.

Sonication of sunflower protein solutions improves their sedimentation stability and forms a lighter coloured finished product compared to conventional treatment in a disperser.

References

- 1 Aiking H., de Boer J. The next protein transition. Trends in Food Science and Technology. 2020. vol. 105. pp. 515–522.
- 2 Agroinvestor. Available at: <https://www.agroinvestor.ru/markets/news/35506-alternativnye-moloko-i-myaso-mogut-zanyat-11-rynka-belkov-k-2035-godu/>
- 3 Taha F.S., Abbasy M., El Nockrashy A.S., Shoeb Z.E. Countercurrent extraction and isoelectric precipitation of sunflower seed protein isolates. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1981. vol. 32. no. 2. pp. 166–174.
- 4 Parrado J., Bautista J., Machado A. Production of soluble enzymic protein hydrolyzate from industrially defatted nondehulled sunflower meal. Journal of agricultural and food chemistry. 1991. vol. 39. no. 3. pp. 447–450.
- 5 González-Pérez S., Merck K.B., Vereijken J.M. et al. Isolation and characterization of undenatured chlorogenic acid free sunflower (*Helianthus annuus*) proteins. Journal of Agricultural Food Chemistry. 2002. vol. 50. no. 6. pp. 1713–1719.
- 6 Ivanova P., Chalova V., Koleva L., Pishtiyski I. et al. Optimization of protein extraction from sunflower meal produced in Bulgaria. Bulg. J. Agric. Sci. 2012. vol. 18. pp. 153–160.
- 7 Shirokoryadova O.V. et al. Sunflower meal is an economically promising raw material for the production of food protein and carbohydrate products Izvestiya vuzov. Food technology. 2009. vol. 5. no. 6. pp. 45–48.
- 8 Pickardt C., Hager T., Eisner P., Carle R. et al. Isoelectric protein precipitation from mild-acidic extracts of de-oiled sunflower (*Helianthus annuus* L.) press cake. Eur Food Res Technol. 2011. vol. 233. pp. 31–44.
- 9 Voichenko O.N. et al. Evaluation of sunflower seed processing products as alternative sources of dietary protein. Izvestiya vuzov Food technology. 2013. vol. 4. no. 334. pp. 88–90.
- 10 Shchekoldina T.V. Technology for production of protein-containing raw materials from the products of sunflower seeds. Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2015. vol. 109. no. 05. pp. 360–378.
- 11 Domoroshchenkova M.L., Demianenko T.F., Krylova I.V. Prospects for obtaining proteins from sunflower meal. Oils and Fats. 2016. vol. 5–6. pp. 22–23.

12 Ovsiannikova O.V., Frantseva T.P. Development of technology for obtaining food protein products from sunflower seeds. Saint-Petersburg, Lan, 2017.

13 Cater C.M., Gheyasuddin S., Mattil K.F. The effect of chlorogenic, quinic and caffeic acids on the solubility and color of protein isolates, especially from sunflower seed. *Cereal Chem.* 1972. vol. 49. pp. 508–514.

14 Vedernikova E.I. Phenolic compounds of sunflower protein isolates. *Applied Biochemistry and Microbiology.* 1974. vol. 10. no. 06. pp. 897–905.

15 Sabir M.A., Sosulski F.W., Finlayson A.J. Chlorogenic acid-protein interactions in Sunflower. *J. Agric. Food Chem.* 1974. vol. 22. no. 4. pp. 575–578.

16 Leung J., Fenton T.W., Clandinin D.R. Phenolic components of sunflower flour. *J. Food Sci.* 1981. vol. 46. no. 5. pp. 1386–1388.

17 Sripad G., Prakash V., Narasinga Rao M.S. Extractability of polyphenols of sunflower seed in various solvents. *J. Biosci.* 1982. vol. 4. no. 2. pp. 145–152.

18 Weisz G.M., Kammerer D.R., Carle R. Identification and quantification of phenolic compounds from sunflower (*Helianthus annuus* L.) kernels and shells by HPLC/DAD/ESI-MSn. *Food Chem.* 2009. vol. 115. no. 2. pp. 758–765.

19 Shaginova L.O., Krylova I.V., Demianenko T.F., Domoroshchenkova M.L. Research of the process of obtaining protein preparation from sunflower seeds for food industry. *New technologies.* 2021. vol. 17. no. 3. pp. 41–50.

20 Pojić M., Mišan A., Tiwari B. Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin. *Trends in Food Science and Technology.* 2018. vol. 75. pp. 93–104.

21 Rahman M.M., Lamsal B.P. Ultrasound-assisted extraction and modification of plant-based proteins: Impact on physicochemical, functional, and nutritional properties. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2021. vol. 20. pp. 1457–1480.

Information about authors

Contribution

Liliia O. Shaginova junior researcher, production of food vegetable proteins and biotechnology department, All-Russian Research Institute of Fats, Chernnyakhovskiy st., 10, St. Petersburg, 191119, Russia, liliyashaginova@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0001-9938-8962>

Lyudmila A. Zabolalova Dr. Sci. (Engin.), associate professor, faculty of biotechnology, ITMO University, Kronverkskiy av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, zabolalova@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-2324-8311>

Tatiana F. Demianenko Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, production of food vegetable proteins and biotechnology department, All-Russian Research Institute of Fats, Chernnyakhovskiy st., 10, St. Petersburg, 191119, Russia, tandem.50@list.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-4220-7224>

Maria L. Domoroshchenkova Cand. Sci. (Engin.), head of department, production of food vegetable proteins and biotechnology department, All-Russian Research Institute of Fats, Chernnyakhovskiy st., 10, St. Petersburg, 191119, Russia, mdomor@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4230-8372>

Irina V. Krylova graduate student, ITMO University, Kronverkskiy av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, research assistant, production of food vegetable proteins and biotechnology department, All-Russian Research Institute of Fats, Chernnyakhovskiy st., 10, St. Petersburg, 191119, Russia irinakrylova1987@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-0132-2189>

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

consultation during the study, review of the literature

wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

consultation during the study, performed computations

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 25/04/2024

Accepted in revised 14/05/2024

Accepted 31/05/2024

Влияние ультразвуковой обработки на экстрагируемость белков при комплексной переработке семян подсолнечника

Аннотация. В данном исследовании в качестве сырья для получения белковых препаратов подсолнечника использовали шрот семян подсолнечника, полученный на шнековом прессе путем холодного прессования лущеных семян подсолнечника кондитерского типа. Ультразвуковую обработку безфенольного жмыха применяли для улучшения экстрагируемости белков после удаления фенольных соединений путем обработки обрушенного подсолнечного жмыха водным раствором этилового спирта. Озвучивание осуществлялось генератором на частоте ультразвука $22,00 \pm 1,65$ кГц с длительностью ультразвуковой обработки от 5 до 15 минут. Экстракцию белков проводили в слабощелочной среде 0,1 % раствором бикарбоната натрия с гидромодулем 1:5 и температурой $45 \pm 2^\circ\text{C}$. Содержание белка и сухого вещества в белковых экстрактах пропорционально увеличивалось через 5–12 мин. ультразвуковая обработка с образованием гомогенных белковых экстрактов, устойчивых к разделению твердых фаз и характеризующихся более светлой окраской по сравнению с контрольным образцом, не подвергнутым ультразвуковой обработке. Однако уже через 15 минут ультразвуковой обработки белковые экстракты теряли однородность с выпадением в осадок твердой фракции. Исследования показали, что применение ультразвуковой обработки перед экстракцией белка приводило к увеличению содержания сухого вещества и сырого белка в экстрактах белков подсолнечника соответственно продолжительности обработки ультразвуком. Этот эффект может быть полезен для увеличения выхода белка в процессах производства светлых белковых концентратов и изолятов подсолнечника, а также для производства функциональных белковых напитков из семян подсолнечника. Кроме того, показано, что обработка ультразвуком растворов белков подсолнечника, полученных после экстракции белковых веществ 0,1 % раствором NaHCO_3 и удаления нерастворимого остатка, существенно улучшала их седиментационную устойчивость и приводила к более светлой окраске полученных белковых растворов по сравнению с традиционной обработкой высокоскоростной диспергатор. Такая обработка может быть использована в процессах производства аналогов молочного молока из семян подсолнечника

Ключевые слова: семена подсолнечника, белок подсолнечника, экстракция белка, фенольные соединения, ультразвуковая обработка.

Лилия О. Шагинова младший научный сотрудник, отдел производства пищевых растительных белков и биотехнологии, ВНИИЖиров, ул. Черняховского, 10, г. Санкт-Петербург, 191119, Россия, liliyashaginova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9938-8962>

Людмила А. Забодалова д.т.н, доцент, факультет биотехнологий, Университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, zabolalova@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2324-8311>

Татьяна Ф. Демьяненко к.т.н., ведущий научный сотрудник, отдел производства пищевых растительных белков и биотехнологии, ВНИИЖиров, ул. Черняховского, 10, г. Санкт-Петербург, 191119, Россия, tandem.50@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4220-7224>

Мария Л. Доморощенкова к.т.н., заведующий отделом, отдел производства пищевых растительных белков и биотехнологии, ВНИИЖиров, ул. Черняховского, 10, г. Санкт-Петербург, 191119, Россия mdomog@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4230-8372>

Ирина В. Крылова аспирант, Университет ИТМО, Кронверкский пр., 49, г. Санкт-Петербург, 197101, Россия, отдел производства пищевых растительных белков и биотехнологии, научный сотрудник, отдел производства пищевых растительных белков и биотехнологии, ВНИИЖиров, ул. Черняховского, 10, г. Санкт-Петербург, 191119, Россия, irinakrylova1987@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0132-2189>

Разработка и реализация цифровой системы управления форматором-вулканизатором

Михаил В. Алексеев	¹	mwa1976@mail.ru	 0000-0001-7768-8550
Владимир С. Кудряшов	¹	kudryashovvs@mail.ru	 0000-0001-6237-0881
Игорь А. Авцинов	¹	igor.awtzinov@yandex.ru	 0000-0002-2528-0905
Александр Н. Гаврилов	¹	ganivrn@mail.ru	 0000-0002-0132-4563
Андрей В. Иванов	¹	andrious@rambler.ru	 0000-0002-6034-9672
Иван А. Козенко	¹	kosenko211986@mail.ru	 0000-0002-1508-9875
Артем В. Медведев	²	artem_medvedev_1995@inbox.ru	 0009-0004-8529-2483

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² ЗАО «Воронежский шинный завод», ул. Ростовская, 41, г. Воронеж, 394074, Россия

Аннотация. При модернизации системы управления процессом вулканизации шин на ЗАО «Воронежский шинный завод» требовалось обеспечить контроль и регулирование технологических параметров, а также управление оборудованием вулканизатора на базе управляющего контроллера. Разработана структура автоматизированной системы управления, подобраны датчики температуры и давления, исполнительное устройство, модули ввода и вывода, а также управляющий контроллер SIMATIC S7-1500. В среде WinCC разработан проект автоматизированного рабочего места оператора участка вулканизации для сенсорной панели SIMATIC 6AV6647-0AF11-3AX0. В рамках проекта сформированы информационные каналы данных, разработаны мнемосхемы узлов вулканизации шин, реализованы логические зависимости для захвата и перемещения шин, а также алгоритмы цифрового регулирования температуры плит при вулканизации (программирование контроллера выполнено в среде TIA Portal). При этом архивируется информация о выполненных операциях, а также фиксируются возникающие аварийные ситуации. Выполнен синтез алгоритма цифрового каскадного регулирования давления (промежуточный управляемый параметр) расходом пара с коррекцией по температуре плит. Настройки цифровых регуляторов внутреннего и внешнего контуров рассчитывались с помощью программ оптимизации численным градиентным методом по критерию минимум интегрально-квадратичной ошибки по полученным в результате идентификации дискретным динамическим моделям каналов объекта управления (по экспериментальным кривым разгона). Расчет на моделях показал более высокую эффективность алгоритма каскадного регулирования по сравнению с одноконтурной схемой стабилизации температуры плит (колебания температуры при регулировании снизились на 5-7 °С). Система введена в эксплуатацию.

Ключевые слова: форматор-вулканизатор, система управления, управляющий контроллер, рабочее место, цифровые регуляторы, оптимизация, градиентный метод.

Development and implementation of a digital control system for a former-vulcanizer

Mikhail V. Alekseev	¹	mwa1976@mail.ru	 0000-0001-7768-8550
Vladimir S. Kudryashov	¹	kudryashovvs@mail.ru	 0000-0001-6237-0881
Igor A. Avtsinov	¹	igor.awtzinov@yandex.ru	 0000-0002-2528-0905
Alexander N. Gavrilov	¹	ganivrn@mail.ru	 0000-0002-0132-4563
Andrey V. Ivanov	¹	andrious@rambler.ru	 0000-0002-6034-9672
Ivan A. Kozenko	¹	kosenko211986@mail.ru	 0000-0002-1508-9875
Artem V. Medvedev	²	artem_medvedev_1995@inbox.ru	 0009-0004-8529-2483

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² CJSC «Voronezh Tire Plant», 41 Rostovskaya str., Voronezh, 394074, Russia

Abstract. When modernizing the control system for the tire vulcanization process at CJSC «Voronezh Tire Plant», it was necessary to ensure control and regulation of technological parameters, as well as control of the vulcanizer equipment based on a control controller. The structure of an automated control system was developed, temperature and pressure sensors, an actuator, input and output modules, as well as a SIMATIC S7-1500 control controller were selected. A project for an automated workstation for a vulcanization section operator for the SIMATIC 6AV6647-0AF11-3AX0 touch panel was developed in the WinCC environment. As part of the project, information data channels were formed, mnemonic diagrams of tire vulcanization units were developed, logical dependencies for picking up and moving tires were implemented, as well as an algorithm for digital control of the temperature of the slabs during vulcanization (the controller programming was performed in the TIA Portal environment). At the same time, information about completed operations is archived, and emerging emergency situations are recorded. A synthesis of an algorithm for digital cascade pressure control (an intermediate controlled parameter) with steam flow with correction for plate temperature has been carried out. The settings of the digital controllers of the internal and external loops were calculated using optimization programs using the numerical gradient method according to the criterion of minimum integral-square error based on the discrete dynamic models of the channels of the control object obtained as a result of identification (according to experimental acceleration curves). Calculation using models showed a higher efficiency of the cascade control algorithm compared to a single-circuit scheme for stabilizing the temperature of the plates (temperature fluctuations during regulation decreased by 5-7 °C). The system has been put into operation.

Keywords: formatter-vulcanizer, control system, control controller, workplace, digital regulators, optimization, gradient method.

Для цитирования

Алексеев М.В., Кудряшов В.С., Авцинов И.А., Гаврилов А.Н., Иванов А.В., Козенко И.А., Медведев А.В. Разработка и реализация цифровой системы управления форматором-вулканизатором // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 262–268. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-262-268

For citation

Alekseev M.V., Kudryashov V.S., Avtsinov I.A., Gavrilov A.N., Ivanov A.V., Kozenko I.A., Medvedev A.V. Development and implementation of a digital control system for a former-vulcanizer. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 262–268. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-262-268

Введение

Современные форматоры-вулканизаторы – это полностью автоматизированные объекты, в которых все технологические операции выполняются без вмешательства человека, а оператор лишь изначально устанавливает необходимые параметры и контролирует технологический процесс с панели оператора через программируемый контроллер. Основными параметрами вулканизации являются температура и давление в пресс-форме, диафрагме и плитах [1–6].

Перед ЗАО «Воронежский шинный завод» стояла задача модернизации системы управления участком вулканизации (форматор КНР48). Целью модернизации является повышение эффективности управления процессом в соответствии с технологическим регламентом, а также создание условий, гарантирующих снижение затрат на содержание и ремонт оборудования [7–9]. Это также позволит улучшить условия труда обслуживающего персонала.

Решение задачи модернизации достигается путем замены устаревших технических средств автоматизации на более современные, а также корректировкой программного обеспечения цифровой системы управления (ЦСУ).

Результаты

Для технической реализации системы выбраны датчики технологических параметров (для измерения температуры GHM 8100/A, давления Метран 150 TG), исполнительное устройство (клапан Globe Valve ASCO Numatics R298A643) и управляющий контроллер SIMATIC S7–1500 с модулями ввода/вывода SM 521, SM 531, SM 522, SM 532, а также сенсорная панель SIMATIC 6AV6647–0AF11–3AX0 для визуализации процесса управления. Технические средства для захвата и перемещения шины не заменялись. Разработана структура системы управления (рисунок 1) [10].

ЦСУ представляет собой централизованную систему с управляющим контроллером, а также аналоговыми и дискретными модулями ввода/вывода, располагающимися в шкафу управления. Управление в штатном режиме обеспечивается с панели оператора.

Взаимодействие модулей ввода / вывода, управляющего контроллера и автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора реализовано посредством цифровых интерфейсов. Между полевыми средствами автоматизации (датчиками, исполнительными устройствами и модулями ввода/вывода) обеспечивается передача аналоговых и дискретных сигналов. Аппаратура комплекса полностью гальванически развязана от управляемого электрооборудования.

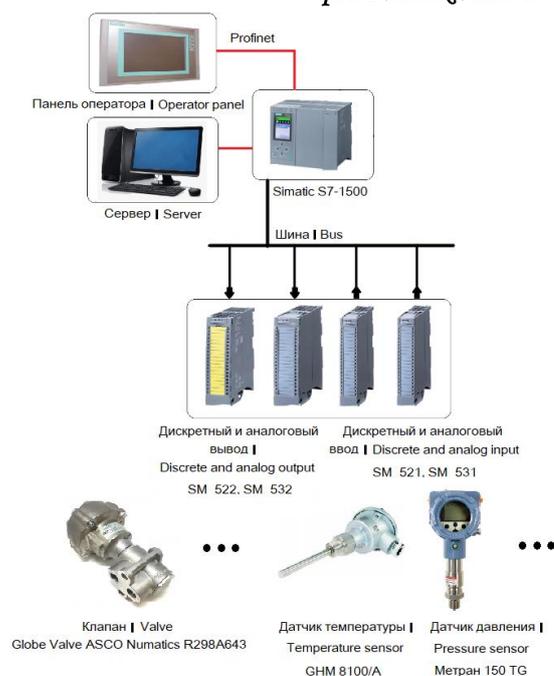


Рисунок 1. Схема комплекса технических средств ЦСУ
Figure 1. Diagram of the complex of technical means of the DCS

В среде WinCC разработан проект АРМ оператора (рисунок 2) [11,12]. В рамках проекта АРМ сформированы информационные каналы данных, разработаны мнемосхемы процесса вулканизации, включающего захват и перемещение шины, а также варку шины.

Алгоритм управления реализуется следующим образом. Управляющий контроллер отправляет сигнал для загрузки шины. Если шина присутствует, то происходит считывание ее штрихкода и запускается цикл вулканизации (загрузка шины в пресс-форму, подпрессовка, подача греющего пара, азота). Если технологические параметры во время варки шины не были нарушены, то цикл завершается успешно и происходит разгрузка шины.

Важнейшим параметром, определяющим качество и эффективность процесса вулканизации, является температура процесса и точность ее поддержания.

При варке шины реализуется одноконтурная система регулирования температуры плит расходом греющего пара по ПИД-закону (рисунок 3) [13,14]:

$$u(t) = PID_P \cdot e(t) + PID_I \cdot \int_0^t e(t) dt + PID_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие регулятора; PID_P – пропорциональная настройка регулятора; PID_I – интегральная настройка; PID_D – дифференциальная настройка; $e(t)$ – ошибка регулирования.

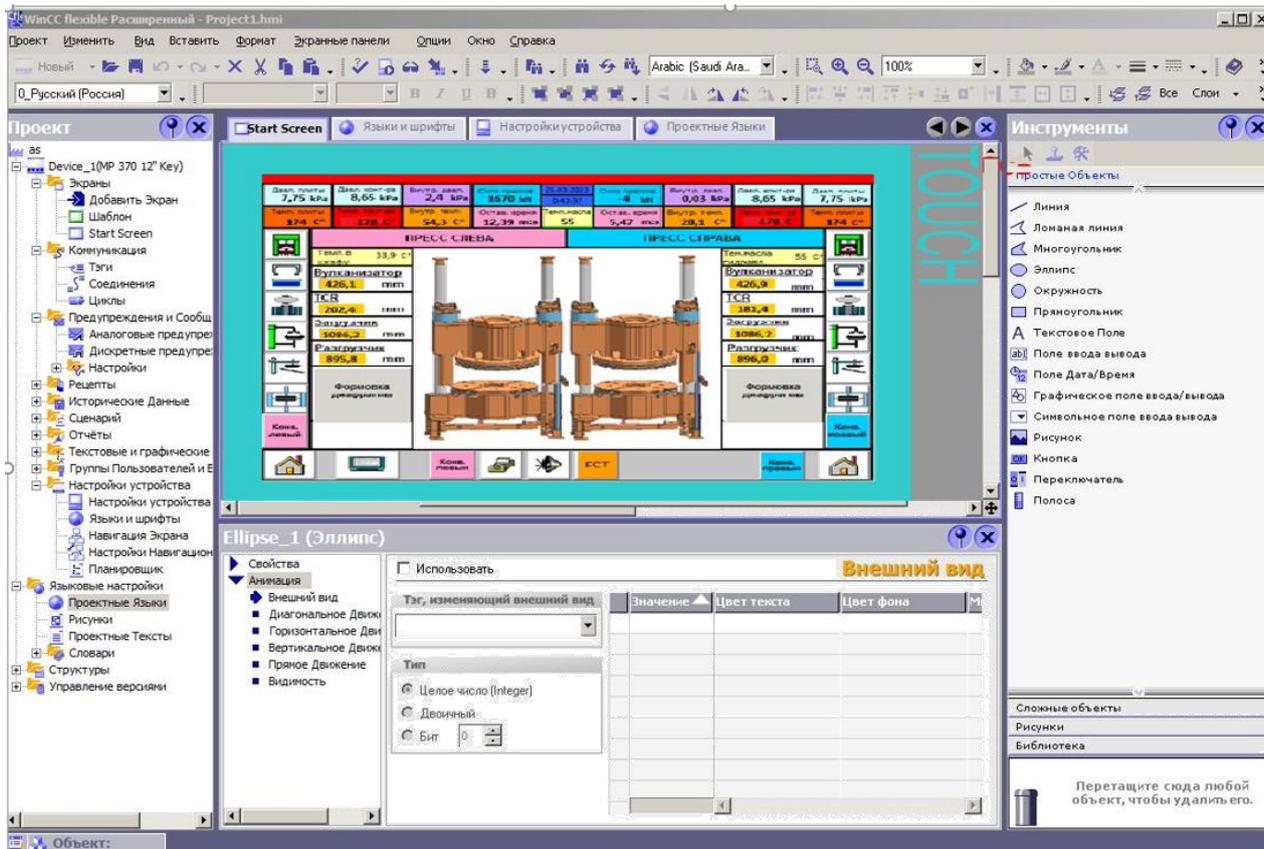


Рисунок 2. Фрагмент программы по разработке АРМ оператора
 Figure 2. Fragment of the program for the development of an automated operator workstation

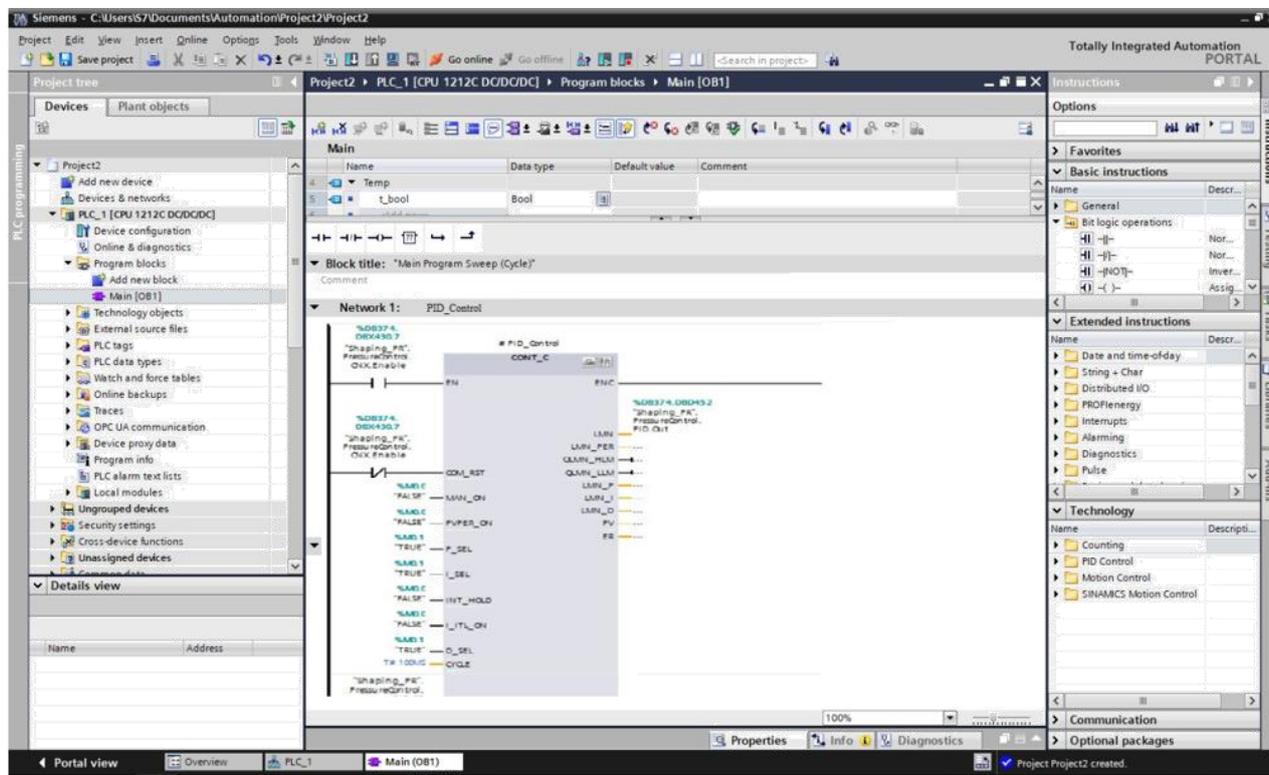


Рисунок 3. Фрагмент управляющей программы по цифровому ПИД-регулированию температуры плит (экранная форма в среде TIA Portal)
 Figure 3. Fragment of a control program for digital PID temperature control of plates (screen form in the TIA Portal environment)

Зачастую при регулировании температуры плит в одноконтурной схеме (по отклонению) возникают колебания до 8–15 °С (рисунок 4), что может негативно влиять на качество шин.

Предлагается для управления процессом вулканизации реализовать схему каскадного регулирования давления с коррекцией по температуре плит. Более быстродействующий внутренний контур регулирования давления должен обеспечить снижение колебаний температуры (внешний регулируемый параметр в каскадной системе).

Для синтеза алгоритма каскадного управления сначала проведена идентификация дискретных динамических моделей внутреннего (“расход пара – давление в плитах”) и внешнего (“давление в плитах – температура в плитах”) каналов регулирования.

Идентификация моделей каналов выполнена по полученным экспериментальным данным на объекте (форматор КНР48) с помощью метода наименьших квадратов (МНК) [15].

Для расчета настроек ПИД-регуляторов внутреннего и внешнего контуров применен численный градиентный метод оптимизации [15,16–20].

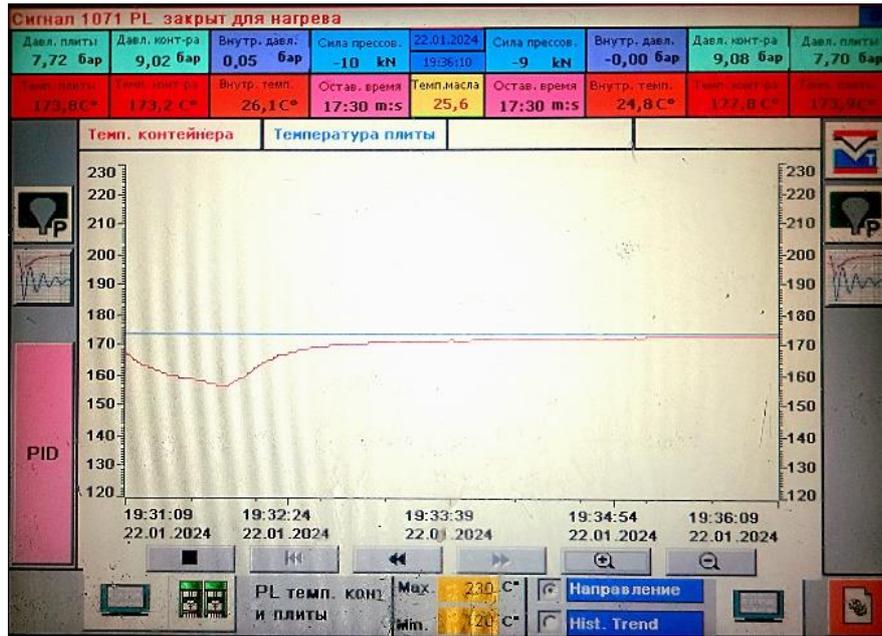


Рисунок 4. Температурные тренды (экранный форма на сенсорной панели)

Figure 4. Temperature Trends (Touchpad Display)

Сначала рассчитаны настройки ПИД-регулятора давления в составе одноконтурной схемы по дискретной динамической модели объекта (по каналу “расход пара – давление в плитах”). Затем выполнен расчет корректирующего ПИД-регулятора температуры в составе цифровой каскадной системы управления (длительность такта квантования i при моделировании составила 0,1 с).

Каскадная ЦСУ описана следующей системой конечно-разностных уравнений:

$$\begin{aligned}
 u_i^2 &= u_{i-1}^2 + q_0^2 (y_i^3 - y_i^2) + \\
 &+ q_1^2 (y_{i-1}^3 - y_{i-1}^2) + q_2^2 (y_{i-2}^3 - y_{i-2}^2), \\
 u_i^1 &= u_{i-1}^1 + q_0^1 (u_i^2 - y_i^1) + \\
 &+ q_1^1 (u_{i-1}^2 - y_{i-1}^1) + q_2^1 (u_{i-2}^2 - y_{i-2}^1),
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 y_{i+d1+1}^1 &= a_1^1 y_{i+d1}^1 + a_2^1 y_{i+d1+1}^1 + b^1 u_i^1, \\
 y_{i+d1+d2+2}^2 &= a_1^2 y_{i+d1+d2+1}^2 + a_2^2 y_{i+d1+d2}^2 + b^2 y_{i+d1+1}^1
 \end{aligned}$$

где $u_i^2, y_i^2, u_i^1, y_i^1$ – выходы регуляторов и моделей каналов объекта внешнего (верхний индекс

в обозначении параметров – 2) и внутреннего (верхний индекс в обозначении параметров – 1) контуров на i – том такте квантования; q_0^2, q_1^2, q_2^2 и q_0^1, q_1^1, q_2^1 – настройки ПИД-регуляторов в дискретной форме; $a_1^2, a_2^2, b^2, d2$ и $a_1^1, a_2^1, b^1, d1$ – коэффициенты дискретных динамических моделей каналов регулирования, идентифицированные по экспериментальным данным.

Оптимизация настроек ПИД-регулятора выполнена градиентным методом по критерию минимум интегрально-квадратичной ошибки:

$$S = \int_0^t (e^2)^2(t) dt \approx \sum_i^N (y_i^3 - y_i^2)^2, \tag{3}$$

где t – время регулирования; N – число тактов квантования, соответствующее времени регулирования; e^2 – величина рассогласования между заданием (уставкой) y_i^3 и текущим значением температуры y_i^2 на i – том такте.

Поиск оптимума критерия (3) проводится в два этапа. Сначала определяются численные значения частных производных критерия по каждой настройке регулятора внешнего контура $\partial S^j / \partial q_0^2, \partial S^j / \partial q_1^2, \partial S^j / \partial q_2^2$ на j -той итерации приближения к оптимуму.

Далее выполняется шаг по каждой настройке в направлении уменьшения критерия:

$$\begin{aligned} q_0^{2j+1} &= q_0^{2j} - H_0^j \frac{\partial S^j}{\partial q_0^2} / \nabla^j \\ q_1^{2j+1} &= q_1^{2j} - H_1^j \frac{\partial S^j}{\partial q_1^2} / \nabla^j, \\ q_2^{2j+1} &= q_2^{2j} - H_2^j \frac{\partial S^j}{\partial q_2^2} / \nabla^j \end{aligned} \quad (4)$$

где H_0^j, H_1^j, H_2^j – переменные коэффициенты шага; $\nabla^j = \sqrt{(\partial S^j / \partial q_0^2)^2 + (\partial S^j / \partial q_1^2)^2 + (\partial S^j / \partial q_2^2)^2}$ – норма градиента.

Алгоритм изменения переменных коэффициентов шага по каждой настройке:

$$\bar{H}^j = \begin{cases} k_1 \cdot \bar{H}^{j-1}, & \frac{\partial S^j}{\partial \bar{q}^2} \cdot \frac{\partial S^{j-1}}{\partial \bar{q}^2} > 0 \\ k_2 \cdot \bar{H}^{j-1}, & \frac{\partial S^j}{\partial \bar{q}^2} \cdot \frac{\partial S^{j-1}}{\partial \bar{q}^2} < 0 \end{cases}, \quad (5)$$

где k_1, k_2 – константы, которые можно задавать в следующих диапазонах: $1 < k_1 < 2$; $0 < k_2 < 1$.

Предлагаемый алгоритм изменения коэффициентов шага обеспечивает значительное снижение количества итераций j приближения к оптимуму в процессе вычислений. Коэффициенты шага увеличиваются на крутых участках изменения критерия (3), а при смене знака производных (в окрестности оптимума) коэффициенты шага уменьшаются.

Момент окончания поиска оптимума определяется при выполнении заданного условия:

$$\nabla^j < \varepsilon, \quad (6)$$

где ε – заданная точность определения оптимума критерия ($\varepsilon = 0,001 \div 0,1$).

В процессе оптимизации настроек ПИД-регулятора в дискретной форме соблюдались ограничения для пересчета настроек в непрерывную форму (1).

В результате оптимизации по критерию (3) рассчитаны настройки ПИД-регулятора внешнего контура регулирования температуры и динамические характеристики каскадной системы управления (рисунок 5).

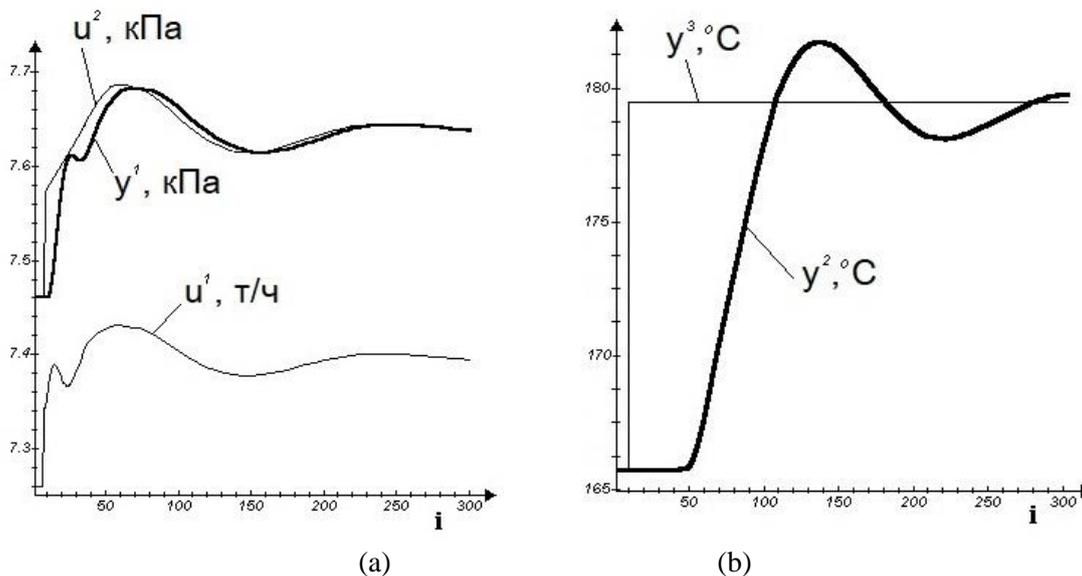


Рисунок 5. Динамические характеристики каскадной цифровой системы регулирования: (a) u^2 – давление плит (корректирующий сигнал внешнего регулятора), кПа; u^1 – расход пара (управляющее воздействие внутреннего регулятора), т/ч; y^1 – давление плит (промежуточный регулируемый параметр), кПа; (b) y^3 – задание (уставка) по температуре плит, °C; y^2 – регулируемая температура плит (основной параметр), °C

Figure 5. Dynamic characteristics of a cascade digital control system: (a) u^2 – plate pressure (correction signal from external regulator), kPa; u^1 – steam consumption (control action of the internal regulator), t/h; y^1 – plate pressure (intermediate adjustable parameter), kPa; (b) y^3 – task (setpoint) for plate temperature, °C; y^2 – adjustable plate temperature (main parameter), °C

Заключение

При модернизации ЦСУ участком вулканизации для ЗАО «Воронежский шинный завод» проведён анализ процесса и оборудования как объекта управления, предложена структура системы управления, разработана документация для реализации системы и выбраны современные технические средства автоматизации. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение системы управления. В частности, реализовано АРМ оператора установки и алгоритм захват и перемещение шины, а также регулирование температуры плит при вулканизации для управляющего контроллера SIMATIC S7-1500 (программирование контроллера выполнено в среде

TIA Portal). Для управления процессом вулканизации предложено реализовать схему каскадного регулирования давления (промежуточный параметр) расходом пара с коррекцией по температуре. Выполнен синтез каскадной ЦСУ и проведены модельные эксперименты, которые показали, что применение данного алгоритма снижает колебание температуры до 3–8 °С. Для синтеза алгоритма применялись авторские программы идентификации дискретных динамических моделей каналов объекта с помощью МНК и оптимизации настроек цифровых ПИД-регуляторов с помощью численного градиентного метода по критерию минимум интегрально-квадратичной ошибки. Система введена в эксплуатацию.

Литература

- 1 Дик Дж.С. Технология резины: рецептуростроение и испытания. СПб.: НОТ, 2010. 620 с.
- 2 Резниченко С.В., Морозов Ю.Л. Большой справочник резинщика. Том 1. Каучуки и ингредиенты. М.: Техинформ, 2012. 744 с.
- 3 Резниченко С.В., Морозов Ю.Л. Большой справочник резинщика. Том 2. Каучуки и ингредиенты. М.: Техинформ, 2012. 648 с.
- 4 Ikeda Y., Kato A., Kohjiya S., Nakajima Y. Rubber Science A Modern Approach. Springer, Singapore. 2018. 226 p.
- 5 Bhowmick A.K., Mangaraj D. Vulcanization and curing techniques // Rubber Products Manufacturing Technology. 2018. P. 315-396.
- 6 Ridha R.A., Curtiss W.W. Developments in tire technology // Rubber Products Manufacturing Technology. 2018. P. 533-564.
- 7 Забаев А.П., Савчиц А.В., Ефремкин С.И. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом вулканизации покрышек // Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития: материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 26–28.
- 8 Митрохин А.А., Гусев К.Ю., Бурковский В.Л. Управление потенциально опасным процессом вулканизации производства автомобильных шин // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2017: Сб. трудов II Международной научно-технической и научно-методической конференции. 2017. С. 50–52.
- 9 Альбеков Д.К., Путилов М.В. Автоматизация технологического процесса вулканизации // Научные достижения и открытия современной молодежи: Актуальные вопросы и инновации: Сб. статей победителей международной научно-практической конференции. 2017. С. 70–74.
- 10 Медведев А.В., Алексеев М.В. Разработка и реализация алгоритма цифрового управления температурой плит в процессе вулканизации шин: материалы студенческой научной конференции за 2023 г. Воронеж, 2023. С. 149–150.
- 11 WinCC flexible 2005 Компактная\Стандартная\Расширенная. Руководство пользователя. Siemens AG, 2005. 146 с.
- 12 Das R., Dutta S., Sarkar A., Samanta K. Automation of tank level using Plc and establishment of Hmi by Scada // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE). 2013. V. 7. №. 2. P. 61-67.
- 13 Программирование с помощью STEP 7 V5.3: Руководство. Siemens AG, 2004. 602 с.
- 14 Zamzow A. TIA Portal V16: Grundkurs. Vogel Communications Group, 2022. 290 p.
- 15 Кудряшов В.С., Алексеев М.В. Моделирование систем. Воронеж, 2012. 208 с.
- 16 Kudryashov V.S., Ivanov A.V., Chertov E.D., Ryazantsev S.V. et al. Design of a Robust Digital Control System for the Rectification Column Used in the Production of Divinyl // Chemical and Petroleum Engineering. 2018. V. 53. P. 668-673.
- 17 Ge X., Yang F., Han Q.L. Distributed networked control systems: A brief overview // Information Sciences. 2017. V. 380. P. 117-131.
- 18 Zheng Y., Yang S., Cheng H. An application framework of digital twin and its case study // Journal of ambient intelligence and humanized computing. 2019. V. 10. P. 1141-1153.
- 19 Afram A., Janabi-Sharifi F. Theory and applications of HVAC control systems—A review of model predictive control (MPC) // Building and Environment. 2014. V. 72. P. 343-355.
- 20 Nise N.S. Control systems engineering. John Wiley & Sons, 2020.

References

- 1 Dick J.S. Rubber Technology: Formulation and Testing. SPb., NOT, 2010. 620 p. (in Russian).
- 2 Reznichenko S.V., Morozov Yu.L. The Big Handbook of the Rubber Maker. Volume 1. Rubbers and Ingredients. Moscow, Tekhinform, 2012. 744 p. (in Russian).
- 3 Reznichenko S.V., Morozov Yu.L. The Big Handbook of the Rubber Maker. Volume 2. Rubbers and Ingredients. Moscow, Tekhinform, 2012. 648 p. (in Russian).
- 4 Ikeda Y., Kato A., Kohjiya S., Nakajima Y. Rubber Science A Modern Approach. Springer, Singapore. 2018. 226 p.
- 5 Bhowmick A.K., Mangaraj D. Vulcanization and curing techniques. Rubber Products Manufacturing Technology. 2018. pp. 315-396.
- 6 Ridha R.A., Curtiss W.W. Developments in tire technology. Rubber Products Manufacturing Technology. 2018. pp. 533-564.
- 7 Zabaev A.P., Savchits A.V., Efremkin S.I. Development of an automated control system for the technological process of tire vulcanization. Science today: global challenges and development mechanisms: materials of the international scientific and practical conference. 2018. pp. 26–28. (in Russian).

8 Mitrokhin A.A., Gusev K.Yu., Burkovsky V.L. Management of a potentially dangerous vulcanization process in the production of automobile tires. Modern technologies in science and education – STNO 2017: Collection of works of the II International scientific, technical and scientific and methodological conference. 2017. pp. 50–52. (in Russian).

9 Albekov D.K., Putilov M.V. Automation of the vulcanization technological process. Scientific achievements and discoveries of modern youth: Current issues and innovations: Collection of articles of the winners of the international scientific and practical conference. 2017. pp. 70–74. (in Russian).

10 Medvedev A.V., Alekseev M.V. Development and implementation of an algorithm for digital control of plate temperature during tire vulcanization: Proceedings of the student scientific conference for 2023. Voronezh, 2023. pp. 149–150. (in Russian).

11 WinCC flexible 2005 Compact\Standard\Extended. User's Guide. Siemens AG, 2005. 146 p. (in Russian).

12 Das R., Dutta S., Sarkar A., Samanta K. Automation of tank level using Plc and establishment of Hmi by Scada. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE). 2013. vol. 7. no. 2. pp. 61-67.

13 Programming with STEP 7 V5.3: Manual. Siemens AG, 2004. 602 p. (in Russian).

14 Zamzow A. TIA Portal V16: Grundkurs. Vogel Communications Group, 2022. 290 p.

15 Kudryashov V.S., Alekseev M.V. Systems modeling. Voronezh, 2012. 208 p. (in Russian).

16 Kudryashov V.S., Ivanov A.V., Chertov E.D., Ryazantsev S.V. et al. Design of a Robust Digital Control System for the Rectification Column Used in the Production of Divinyl. Chemical and Petroleum Engineering. 2018. vol. 53. pp. 668-673.

17 Ge X., Yang F., Han Q.L. Distributed networked control systems: A brief overview. Information Sciences. 2017. vol. 380. pp. 117-131.

18 Zheng Y., Yang S., Cheng H. An application framework of digital twin and its case study. Journal of ambient intelligence and humanized computing. 2019. vol. 10. pp. 1141-1153.

19 Afram A., Janabi-Sharifi F. Theory and applications of HVAC control systems—A review of model predictive control (MPC). Building and Environment. 2014. vol. 72. pp. 343-355.

20 Nise N.S. Control systems engineering. John Wiley & Sons, 2020.

Сведения об авторах

Михаил В. Алексеев к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, mwa1976@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7768-8550>

Владимир С. Кудряшов д.т.н., профессор, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kudryashovvs@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6237-0881>

Игорь А. Авцинов д.т.н., профессор, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, igor.awtznov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2528-0905>

Александр Н. Гаврилов д.т.н., профессор, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ganivm@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0132-4563>

Андрей В. Иванов к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, andrious@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6034-9672>

Иван А. Козенко к.т.н., доцент, кафедра автоматизированных систем управления процессами и производствами, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kosenko211986@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1508-9875>

Артем В. Медведев магистрант, техник-электроник, ЗАО “Воронежский шинный завод”, ул. Ростовская, 41, г. Воронеж, 394074, Россия, artem_medvedev_1995@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0004-8529-2483>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Mikhail V. Alekseev Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, mwa1976@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7768-8550>

Vladimir S. Kudryashov Dr. Sci. (Engin.), professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, kudryashovvs@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6237-0881>

Igor A. Avtsinov Dr. Sci. (Engin.), professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, igor.awtznov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2528-0905>

Alexander N. Gavrilo Dr. Sci. (Engin.), professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, ganivm@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0132-4563>

Andrey V. Ivanov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, andrious@rambler.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6034-9672>

Ivan A. Kozenko Cand. Sci. (Engin.), associate professor, automated control systems for processes and productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19, Voronezh, 394036, Russia, kosenko211986@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1508-9875>

Artem V. Medvedev graduate student, electronics technician, CJSC “Voronezh Tire Factory”, 41 Rostovskaya str., Voronezh, 394074, Russia, artem_medvedev_1995@inbox.ru
<https://orcid.org/0009-0004-8529-2483>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 11/03/2024	После редакции 10/04/2024	Принята в печать 26/04/2024
Received 11/03/2024	Accepted in revised 10/04/2024	Accepted 26/04/2024

Низкомолекулярный полиизобутилен (PIB): производственно-экономическое назначение, анализ рынка

Марина В. Филатова	¹	fltvmrn@rambler.ru	 0000-0002-3553-741X
Юрий В. Шевцов	²	promexhim@gmail.com	 0000-0001-9612-7011
Тимур И. Казаков	²	kazakov.timur@gmail.ru	 0009-0007-2344-6944
Екатерина А. Саввина	¹	katenok2207@ya.ru	 0000-0002-4610-103X
Сергей В. Олейников	¹	serega_olenik@list.ru	 0009-0005-1007-397X

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

² Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова Воронежский филиал

Аннотация. В статье рассмотрен один из наиболее востребованных полимеров на сегодняшний день - низкомолекулярный полиизобутилен (PIB). Раскрыто его производственно-экономическое назначение, а также проведен анализ рынка данного полимера. Низкомолекулярный полиизобутилен является одним из наиболее востребованных материалов в сфере производства и может использоваться в различных отраслях промышленности. Низкомолекулярный полиизобутилен идеален для использования в различных отраслях промышленности, таких как производство ленточных конвейеров, уплотнительных материалов, клеев, герметиков, эмульгаторов и многих других. Низкомолекулярный полиизобутилен также широко используется в производстве эластомеров, которые находят применение в автомобильной, аэрокосмической и нефтегазовой промышленности. Эластомеры, содержащие PIB, обладают высокой эластичностью и устойчивостью к различным видам воздействий, таким как высокая температура, нефтепродукты и другие химические вещества. Рынок низкомолекулярного полиизобутилена – один из самых динамично развивающихся в мире, мощности по производству PIB (низкомолекулярного, среднемолекулярного, высокомолекулярного) составляют более 1 млн тонн в год. Доля импорта полиизобутилена в России на сегодняшний день составляет 99%, а доля поставщиков, прекративших поставки в Россию в связи с санкциями в общем объеме импорта – порядка 85%. Единственным производителем высокомолекулярного и низкомолекулярного PIB в России является ОАО «Ефремовский завод синтетического каучука», производящий около 4000MT полимера. Учитывая большую долю поставщиков, ушедших с российского рынка встала острая необходимость в поиске альтернативных поставщиков, а также импортозамещения. Российский рынок низкомолекулярного полиизобутилена является конкурентным и динамичным сектором, который в настоящее время испытывает рост спроса со стороны потребителей. С учетом санкций основным регионом поставки становится Азиатский, при этом российские производители активно инвестируют в создание отечественного производства низкомолекулярного полиизобутилена. Российский рынок полиизобутилена продолжает расти, и спрос на этот материал остается стабильным.

Ключевые слова: проектное управление, цифровизация, информационные технологии, цифровые технологии.

Low molecular weight polyisobutylene (PIB): industrial and economic applications, market analysis

Marina V. Filatova	¹	fltvmrn@rambler.ru	 0000-0002-3553-741X
Yuri V. Shevtsov	²	promexhim@gmail.com	 0000-0001-9612-7011
Timur I. Kazakov	²	kazakov.timur@gmail.ru	 0009-0007-2344-6944
Ekaterina A. Savvinay	¹	katenok2207@ya.ru	 0000-0002-4610-103X
Sergey V. Oleynikov	¹	serega_olenik@list.ru	 0009-0005-1007-397X

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

² Plekhanov Russian University of Economics Voronezh Branch, 1 V, Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The article discusses one of the most popular polymers today - low molecular weight polyisobutylene (PIB). Its production and economic purpose is revealed, and an analysis of the market for this polymer is carried out. Low molecular weight polyisobutylene is one of the most popular materials in manufacturing and can be used in various industries. Low molecular weight polyisobutylene is ideal for use in a variety of industries such as conveyor belts, sealing materials, adhesives, sealants, emulsifiers and many others. Low molecular weight polyisobutylene is also widely used in the production of elastomers, which find applications in the automotive, aerospace and oil and gas industries. Elastomers containing PIB are highly elastic and resistant to various types of influences, such as high temperature, petroleum products and other chemicals. The low molecular weight polyisobutylene market is one of the most dynamically developing in the world; the production capacity of PIB (low molecular weight, medium molecular weight, high molecular weight) is more than 1 million tons per year. The share of polyisobutylene imports in Russia today is 99%, and the share of suppliers who have stopped supplies to Russia due to sanctions in the total volume of imports is about 85% (1). The only manufacturer of high-molecular and low-molecular PIB in Russia is JSC Efremov Synthetic Rubber Plant, which produces about 4000 MT of polymer. Considering the large share of suppliers who left the Russian market, there was an urgent need to find alternative suppliers, as well as import substitution. The Russian low molecular weight polyisobutylene market is a competitive and dynamic sector that is currently experiencing increased demand from consumers. Taking into account the sanctions, the main supply region is becoming Asian, while Russian manufacturers are actively investing in the creation of domestic production of low molecular weight polyisobutylene. The Russian polyisobutylene market continues to grow, and the demand for this material remains stable.

Keywords: project management, digitalization, information technology, digital technologies.

Для цитирования

Филатова М.В., Шевцов Ю.В., Казаков Т.И., Саввина Е.А., Олейников С.В. Низкомолекулярный полиизобутилен (PIB): производственно-экономическое назначение, анализ рынка // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 269–276. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-269-276

For citation

Filatova M.V., Shevtsov Yu.V., Kazakov T.I., Savvina E.A., Oleynikov S.V. Low molecular weight polyisobutylene (PIB): industrial and economic applications, market analysis. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 269–276. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-269-276

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Полимеры – это макромолекулы, состоящие из многих повторяющихся молекулярных единиц, называемых мономерами. Они могут быть естественного или синтетического происхождения, их свойства разнообразны и зависят от структуры и состава мономеров.

Полимеры имеют огромное экономическое значение в жизни общества и производства. Они используются в производстве многих предметов нашей жизни, таких как пластиковые бутылки, упаковочные материалы, автомобильные детали, мебель и т. д. Благодаря своей легкости, прочности, устойчивости к воздействию внешней среды и другим свойствам, они упрощают и удешевляют производство, делают продукты более доступными для потребителей.

Кроме того, полимеры имеют большое значение в медицине и фармацевтике. Например, медицинские биополимеры используются для создания имплантатов, костных заместителей, а также для создания прочных и герметичных материалов для хранения крови и медицинских препаратов.

Развитие полимерной промышленности является важным фактором экономического роста многих стран. Данный сектор промышленности создает рабочие места, генерирует высокую добавленную стоимость и является важным источником экспорта. Например, согласно отчету Международной ассоциации полимерной промышленности (IAP), в 2021 году мировой рынок полимеров составил более 600 миллиардов долларов США.

Таким образом, полимеры являются важным элементом современной экономики и обеспечивают производство многих предметов нашей жизни. Одним из таких полимеров является полиизобутилен (PIB), имеющий большое производственно-экономическое значение на рынке.

Материалы и методы

Полиизобутилен (PIB) – это полимер, получаемый из изобутилена. Он имеет хорошие физические и химические свойства, такие как высокая устойчивость к коррозии, герметичность, стойкость к воздействию ультрафиолетовых лучей и других внешних факторов.

PIBSA представляет собой продукт сукцинирования низкомолекулярного полиизобутилена с молекулярной массой от 400 до 2500, обычно в присутствии малого количества металлического катализатора. PIBSA имеет основной функциональный фрагмент – сукцининовый ангидрид, который является ключевым элементом в его свойствах и применениях.

Существует два основных вида полиизобутилена: высокомолекулярный полиизобутилен (HM-PIB) и низкомолекулярный полиизобутилен (LM-PIB).

Высокомолекулярный полиизобутилен обладает высокой вязкостью, что делает его идеальным для использования в качестве добавок в моторное масло и другие жидкости, чтобы улучшить их вязкость и снизить износ.

Низкомолекулярный полиизобутилен, как уже упоминалось ранее, имеет хорошие физические и химические свойства, такие как устойчивость к коррозии, герметичность и стойкость к воздействию ультрафиолетовых лучей. Это делает его идеальным для использования в различных отраслях промышленности, таких как производство ленточных конвейеров, уплотнительных материалов, клеев, герметиков, эмульгаторов и многих других.

Таким образом, полиизобутилен является универсальным полимером, который может использоваться в различных отраслях промышленности благодаря своим хорошим физическим и химическим свойствам.

Низкомолекулярный полиизобутилен – это полимер, получаемый путем полимеризации изобутилена. PIB обладает рядом уникальных свойств, которые делают его одним из наиболее востребованных материалов в сфере производства. Он обладает отличной химической устойчивостью, защищает от воздействия кислорода и ультрафиолетовых лучей, а также обладает высокой эластичностью и прочностью.

Одним из основных применений PIB является производство клеев. Благодаря своей химической устойчивости и адгезионным свойствам, PIB используется в качестве основного компонента в различных клеевых составах. Кроме того, PIB используется в производстве герметиков, масел, смазок, эмульгаторов и других продуктов.

PIB также широко используется в производстве эластомеров, которые находят применение в автомобильной, аэрокосмической и нефтегазовой промышленности. Эластомеры, содержащие PIB, обладают высокой эластичностью и устойчивостью к различным видам воздействий, таким как высокая температура, нефтепродукты и другие химические вещества.

Таким образом, низкомолекулярный полиизобутилен является важным компонентом в производстве клеев, герметиков, эластомеров и других продуктов, используемых в различных отраслях промышленности. Благодаря своим уникальным свойствам, PIB позволяет создавать продукты высокого качества и увеличивать их срок службы.

Производство PIBSA осуществляется путем прямого сукцинирования низкомолекулярного полиизобутилена с использованием реакционных условий, оптимизированных для получения желаемого продукта. Катализаторы и условия реакции могут варьироваться в зависимости от требуемых свойств и применений PIBSA.

Основное промышленное назначение:

PIBSA является многофункциональным продуктом, который может использоваться в различных областях промышленности. Некоторые из основных применений PIBSA включают:

1. Диспергатор и диспергирующий агент: PIBSA обладает высокой аффинностью к минеральным и органическим наполнителям, что делает его эффективным диспергатором в различных композиционных материалах, таких как каучуковые смеси, лаки, краски и пластификаторы.

2. Эмульгатор и стабилизатор: PIBSA может быть использован в производстве эмульсионных полимеров и смазочных материалов. Он обладает эмульгирующей способностью и может стабилизировать эмульсии, улучшая их структуру и стабильность.

3. Подтверждающий и модифицирующий агент: PIBSA может использоваться для повышения свойств некоторых материалов, таких как прокладочные материалы, например, для улучшения их влагостойкости, адгезии и старения.

4. Помогающий в расконсервации: PIBSA является эффективным ингибитором коррозии и может использоваться для защиты оборудования и материалов от окисления и деградации.

Преимущества использования PIBSA:

– улучшение диспергирования и стабильности в композиционных материалах.

– повышение адгезии и стойкости к воздействию окружающей среды.

– защита от коррозии и окисления.

– расширение функциональности и спектра применения основного полимера PIB.

Полиизобутилен сукцининовый ангидрид (PIBSA) играет важную роль в горнодобывающей промышленности в современном мире. Его применение связано с его химическими и физическими свойствами, которые делают его ценным инструментом в различных процессах горнодобывающей промышленности.

Одним из основных применений PIBSA в этой сфере является его использование как компонента, обеспечивающего стабильность и стойкость эмульсии, для производства поверхностно-активных веществ (эмульгаторов), применяющихся для изготовления промышленных взрывчатых веществ эмульсионного типа, которые необходимы для добычи больших запасов минерального сырья, добываемых взрывным способом.

Так же PIBSA используется в процессе флотации.

Флотация – это процесс разделения руды и нежелательных примесей с помощью воздушных пузырьков. PIBSA применяется в качестве флотационного реагента и поверхностно-активного вещества в этом процессе. Он образует пленку на поверхности руды и примесей, что улучшает их способность привлекать воздушные пузырьки. Это помогает отделять ценные минералы от нежелательных примесей и повышает эффективность флотационного процесса.

PIBSA также может использоваться в качестве моющего средства для очистки оборудования и трубопроводов в горнодобывающей промышленности. Он обладает эмульгирующими свойствами, что позволяет эффективно удалять загрязнения, такие как масла, грязь и другие органические вещества. Это особенно важно для обслуживания и поддержания работоспособности оборудования в условиях высокой интенсивности эксплуатации и разнообразных составов горнодобывающей среды.

Еще одним применением PIBSA является его использование в качестве антипенанта. В процессе горнодобычи могут возникать пены, которые могут затруднить работу оборудования и ухудшить качество продукции. PIBSA эффективно препятствует образованию пен и помогает поддерживать стабильность и эффективность процессов горнодобывающей промышленности.

Обсуждение

Полиизобутилен сукцининовый ангидрид (PIBSA) играет значительную роль в горнодобывающей промышленности в современном мире. Его химические и физические свойства делают его ценным инструментом в процессах добычи больших запасов минерального сырья, добываемого взрывным способом, флотации, очистки оборудования и поддержания эффективности процессов горнодобывающей промышленности.

Сырьевая составляющая мирового рынка полиизобутилена (PIB) включает в себя несколько ключевых компонентов, которые обеспечивают производство и поставку этого полимера на мировом уровне.

Одним из основных сырьевых материалов для производства PIB является изобутилен (IB), который представляет собой газообразное вещество, получаемое в результате деструкции нефти или газа. Он также может быть получен в ходе процессов нефтепереработки, таких как каталитический крекинг. Изобутилен является основным строительным блоком для синтеза полиизобутилена.

Другим важным компонентом в производстве PIB является катализатор. Катализаторы используются для стимулирования химической реакции полимеризации изобутилена, которая приводит к формированию длинной цепи полимера PIB. Катализаторы могут включать в себя различные металлы или соединения, такие как алюминий, титан или цирконий, которые способны активировать процесс полимеризации.

Однако необходимо отметить, что производство PIB также требует использования дополнительных добавок и стабилизаторов, которые обеспечивают желаемые свойства и качество полимера. Эти добавки могут включать в себя антиоксиданты, анти-прожигатели, антикоррозионные добавки и другие химические соединения, которые улучшают производственные процессы и функциональные характеристики PIB.

Важно отметить, что мировой рынок полиизобутилена сильно зависит от доступности и стабильности поставок сырьевых материалов. Периодические изменения в нефтяной и газовой промышленности, а также влияние геополитической ситуации, могут оказывать влияние на цены и поставки сырья, что влияет на мировой рынок PIB.

В целом, сырьевая составляющая мирового рынка полиизобутилена играет ключевую роль в обеспечении производства и поставки этого полимера. Источники изобутилена, катализаторы и другие добавки являются важными компонентами, которые обуславливают функциональность, качество и доступность PIB на мировом рынке.

На мировом рынке полиизобутилена (PIB) основными производителями являются следующие компании:

INEOS Oligomers: INEOS Oligomers является частью глобальной компании INEOS и является одним из крупнейших производителей полиизобутилена (PIB) на мировом рынке. Компания предлагает PIB-продукты под брендами PARALOID и INDOPOL, которые используются в различных отраслях, включая автомобильную, строительную, а также в производстве клеев, смазочных материалов и битумных модификаторов.

Lubrizol Corporation: Lubrizol Corporation является современным производителем полиизобутилена и предлагает широкий спектр продуктов под брендом TurboSet. Они широко используются в прокладках трубопроводов, уплотнительных материалах, клеях, прокладках кабелей и других промышленных приложениях. Lubrizol Corporation специализируется на инновационных решениях и работает над разработкой новых градаций PIB с новыми свойствами и функциональностями.

Infinium International: Infinium International является глобальным производителем специальных химических добавок и смазочных материалов, включая полиизобутилен. Они предлагают различные градации PIB, которые применяются в автомобильной и промышленной отраслях, таких как уплотнения, клеи и присадки для моторных масел.

DAELIM: DAELIM – южнокорейская компания, производящая полиизобутилен. Они предлагают широкий ассортимент PIB-продуктов, которые применяются в различных областях, включая уплотнения, смазочные материалы, клеи и другие промышленные приложения.

Shandong Hongrui Petrochemical: Shandong Hongrui Petrochemical – китайская компания, специализирующаяся на производстве полимеров, включая полиизобутилен. Они предлагают различные градации PIB с различными характеристиками и применениями, включая уплотнения, клеи и смазочные материалы. Компания активно развивается и стремится удовлетворить растущий спрос на полиизобутилен на рынке Китая и за его пределами.

ExxonMobil Chemical: Компания Exxon Mobil Chemical является одним из лидирующих производителей полиизобутилена. Они предлагают широкий спектр PIB-продуктов, включая различные степени вязкости и функциональности, которые применяются во многих отраслях, таких как автомобильная, строительная и промышленная.

BASF SE: Компания BASF SE также является одним из крупнейших производителей полиизобутилена. Они предлагают продукты под брендом Orpanol, которые используются в прокладках трубопроводов, уплотнительных материалах, битумных модификаторах и других приложениях.

TPC Group: Компания TPC Group является ведущим производителем полиизобутилена в Северной Америке. Их продукт, брендированный под названием Raffinate, является широко используемым в прокладках трубопроводов, уплотнениях и других промышленных приложениях.

Chevron Phillips Chemical Company: Компания Chevron Phillips Chemical Company также производит полиизобутилен под брендом Marflex. Их продукты широко используются в различных областях, включая изоляцию электрических проводов и кабелей, уплотнительные и клеевые материалы.

Lanxess AG: Компания Lanxess AG предлагает полиизобутиленовые продукты под брендом Orpanol для различных промышленных приложений. Они предлагают широкий ассортимент градаций продукта, от низкой до высокой вязкости.

Это некоторые из основных производителей полиизобутилена на мировом рынке, но существует и другие компании, которые также производят этот материал, такие как PJSC «Нижекамскнефтехим», Shandong Hongrui Petrochemical Co., Ltd и др.

Объем мирового производства полиизобутилен (PIB)

Рынок полиизобутилена (PIB) – один из самых динамично развивающихся в мире, мощности по производству PIB (низкомолекулярного, среднемолекулярного, высокомолекулярного) составляют более 1 млн. тонн в год.

Максимальный объем производства приходится на Северную Америку, Европу и Азию.

Мировой рынок PIB почти равно делится между тремя регионами: Северной Америкой, Европой и Азиатско-Тихоокеанским регионом, по следующим параметрам: объемы производства, производственные мощности или уровень потребления (рисунок 1).

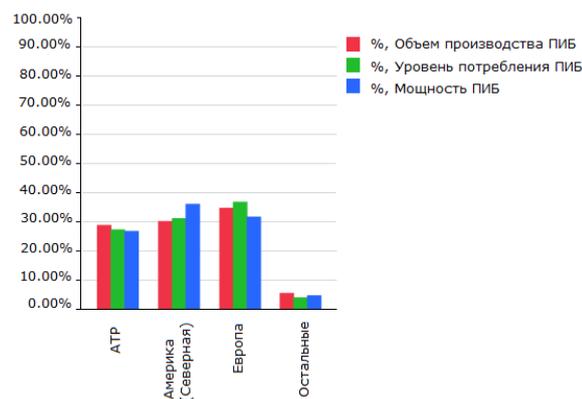


Рисунок 1. Мировой рынок PIB

Figure 1. The global PIB market

Этот объем производства продолжает расти с каждым годом почти на 5%, поскольку спрос на PIB увеличивается в различных отраслях, таких как автомобильная, строительная, электронная и промышленная.

Рост производства полиизобутилена обусловлен его уникальными свойствами и широким спектром применений. PIB обладает отличными химическими и механическими свойствами, такими как низкая проницаемость к газам, хорошая устойчивость к окислению и высокая ударная вязкость. Это делает его идеальным материалом для применения в автомобильной промышленности, производстве уплотнителей, клеев, смазочных материалов, модификаторов битума и других приложений.

Крупные производители полиизобутилена инвестируют в увеличение производственных мощностей, чтобы удовлетворить растущий спрос на этот материал. Ожидается, что в ближайшие годы объем производства полиизобутилена

будет продолжать расти, поскольку разработка новых технологий и открытие новых рынков будут стимулировать спрос на этот материал. Например, растущая потребность в энергосберегающих материалах и полимерах, способных снизить выбросы парниковых газов, ожидается, что будет способствовать росту спроса на полиизобутилен.

Доля импорта полиизобутилена в России на сегодняшний день составляет 99%, а доля поставщиков, прекративших поставки в Россию в связи с санкциями в общем объеме импорта – порядка 85% (1).

Среди ведущих мировых производителей PIB на российском рынке представлены такие компании, как Shandong Hongrui Petrochemical, INEOSO ligomers, BASF, DAELIM. Объем российского рынка экспортируемого полиизобутилена (PIB) по итогам 2012 года составил около 1740MT, в то время как за 1–3 квартал 2013 года эта отметка уже достигла 1730MT. Рынок растущий и мы ожидаем прирост данного рынка в 2013 году, как минимум 25% по сравнению с 2012 годом.

Безусловным лидером по экспорту низкомолекулярного PIB в Россию является корейская компания DAELIM с долей рынка > 50%, далее следуют BASF и INEOS. Необходимо отметить, что компания Shandong Hongrui Petrochemical с 2013 года запустила проект поставки низкомолекулярного PIB в Россию, который до сих пор был доступен и пользовался большим спросом только на внутреннем рынке Китая. На сегодняшний день компания «Руспласт» может поставлять низкомолекулярную марку PIB HRD-24 производства Shandong Hongrui Petrochemical на российский рынок, так как только эта марка доступна на экспорт.

Два сильных китайских игрока ведут борьбу за лидерство на российском рынке по поставкам среднемолекулярного PIB: Shandong Hongrui Petrochemical и Zhejiang Shunda New Material, доля рынка каждого составляет около 50%, как и на рынке Китая. Компания BASF экспортирует менее 2% среднемолекулярного PIB в Россию. На мировом рынке среднемолекулярного PIB ситуация немного иная: BASF занимает 1 место, Shandong Hongrui Petrochemical – 2 место, JX Nippon Oil & Energy Corporation – 3 место, Zhejiang Shunda New Material – 4 место. Необходимо отметить, что только BASF и Shandong Hongrui Petrochemical могут производить среднемолекулярную марку PIB HRD-950 и её аналог, а в Китае только Shandong Hongrui Petrochemical может производить среднемолекулярную марку PIB с молекулярным весом выше 65,000 (HRD-700, HRD-750, HRD-850, HRD-950) у остальных китайских производителей несовершенная технология.

В России ПИБ-мембраны представлены материалом ГМП (Завод пластмасс) и ПГС (ООО «Химстройресурс»).

ГК «Титан» направит 900 млн руб. на создание производства низкомолекулярного полиизобутилена на площадке завода «Омский каучук» К строительству установки мощностью 10 тыс. тонн компания приступила на площадке «Омского каучука» в июне 2023 года.

«В связи с высокой импортозависимостью России по низкомолекулярному полиизобутилену мы планируем ввести в эксплуатацию 10 тысяч тонн данного продукта, с дальнейшим расширением мощностей до 20 тысяч тонн», – сказал председатель совета директоров ГК «Титан» Михаил Сутягинский.

Единственным производителем высокомолекулярного и низкомолекулярного ПИБ в России является ОАО «Ефремовский завод синтетического каучука», производящий около 4000MT полимера.

НЕО Кемикал Основной профиль – поставка химической продукции производства Европы, Азии, Америки для различных отраслей промышленности.

Также существуют российские поставщики ПИБ:

Telko занимается поставкой полимеров и пластмасс для производства товаров широкого потребления, а также материалов специального назначения.

Транскул. Рус Миссия компании: поставка высококачественных и современных материалов в удобной упаковке Клиентам в любую точку России.

Бенефит-Хим – поставщик химического сырья для различных областей промышленности, в том числе продукции собственного производства.

ООО НПП «ПромЭксХим» – так же является поставщик химического сырья для различных областей промышленности, в том числе продукции собственного производства.

Учитывая большую долю поставщиков, ушедших с российского рынка встала острая необходимость в поиске альтернативных поставщиков, а также импортозамещения.

Как указано выше, некоторые производители уже запускают проекты по созданию производств полиизобутилена.

Основные сложности запуска такого производства заключаются в следующем: необходимость больших финансовых вложений в технологическое оборудование, поиск поставщиков и налаживание логистики для поставки сырья, привлечение редких и дорогостоящих специалистов для

запуска производства. В том числе это рождает комплексные проблемы управления таким производством, что влечет за собой длительный цикл запуска производства.

Все же российский рынок имеет хорошие возможности для запуска производства и перестройки процессов импортирования ПИБ. Так как указанные выше поставщики специализировались на поставках их Европы и США, они все же имели связи в Азиатском регионе и могут возможность перестроить свой процесс на увеличение поставок из этого региона.

Активная позиция многих компаний в части инвестирования, а также государственная поддержка химического производства, как указано выше, создают возможность увеличения российского производства до 50 млн тонн в год.

Заключение

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что низкомолекулярный полиизобутилен (PIB) имеет широкое производственно-экономическое назначение в различных отраслях, включая горно-рудную, автомобильную, строительную, электронную и промышленную.

Российский рынок низкомолекулярного полиизобутилена является конкурентным и динамичным сектором, который в настоящее время испытывает рост спроса со стороны потребителей. С учетом санкций основным регионом поставки становится Азиатский, при этом российские производители активно инвестируют в создание отечественного производства низкомолекулярного полиизобутилена (PIB). Российский рынок полиизобутилена продолжает расти, и спрос на этот материал остается стабильным. Однако страна также стремится развивать собственное производство полиизобутилена для снижения зависимости от импорта. И все же, российский рынок нуждается в активной поддержке государства в этом направлении.

Главными факторами, поддерживающими рост спроса на низкомолекулярный полиизобутилен, являются его отличные химические и механические свойства, а также разнообразие его применений.

На российском рынке импорт низкомолекулярного полиизобутилена играет важную роль в обеспечении спроса на этот материал, поскольку производство его в стране ограничено.

В целом, низкомолекулярный полиизобутилен является важным полимерным материалом со множеством применений. Постоянный рост спроса и развитие производства позволяют удовлетворить потребности рынка и спровоцировать дальнейшее развитие отрасли на 5–10% в год.

Литература

- 1 Белова Л. Создание производства полиизобутилена // Коммерсантъ. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6070727/29.06.2023>
- 2 Возможность увеличения строящихся мощностей низкомолекулярного ПИБ // Нефтехимия. URL: <https://www.mrc.ru/news/409343-gruppa-kompaniy-titan-rassmatrivaet-vozmozhnost-uvelicheniya-stroyaschihsyamoschnostey-nizkomolekulyarnogo-pib/> 18.09.2023
- 3 Якубовский Ю.Е., Хайруллина Л.Б. Развитие технологий с использованием малотоннажной химии в переработке термопластичных полимеров // Перспективные технологии и материалы: материалы Международной научно-практической конференции. Севастополь, 2022. С. 430–432.
- 4 Глебова А.Г. Разработка вопросов обеспечения безопасности технологического процесса производства композитных материалов // Сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурса НИР): материалы Молодежной программы 26 ой Международной специализированной выставки и Форума. Москва, 2023. С. 144–145.
- 5 Шпанцева Л.В., Тюленцева Л.Е., Иванченко Н.И., Чибизов С.В. и др. Синтез низкомолекулярного высокореактивного полиизобутилена // Химическая технология и биотехнология новых материалов и продуктов: тезисы докладов IV Международной конференции Российского химического общества им. Д.И. Менделеева, посвящённой 80 летию со дня рождения П.Д. Саркисова. Москва, 2012. С. 338–340.
- 6 Маркова Ю. Обзор рынка ПИБ // Руспласт. URL: <https://rusplast.com/articles/7480/> / 2022
- 7 Колганов Е.В., Соснин В.А. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. 1 я книга (Составы и свойства). Дзержинск: Кристалл, 2009. 592 с.
- 8 Колганов Е.В., Соснин В.А. Эмульсионные промышленные взрывчатые вещества. 2 я книга (Технология и безопасность). Дзержинск: Кристалл, 2009. 336 с.
- 9 Доля России, Китая и США в мировой экономике. URL: https://zen.yandex.ru/media/show_me_world/dolia-rossii-kitaia-i-ssha-v-mirovoy-ekonomike-5edb8acd75cc013417183211?utm_source=serp
- 10 Хайбуллова К.М., Сергин Н.А., Закирова Л.Ю. Высоконаполненные композиции на основе низкомолекулярного полиизобутилена для временной герметизации холодильного оборудования // Нефтегазохимия – 2023: материалы VI Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 1–3 ноября 2023 г. Минск: БГТУ, 2023. С. 68-71.
- 11 Yang B. Polyisobutylene telechelic prepolymers by in situ end-quenching and post-polymerization modifications. The University of Southern Mississippi, 2017. URL: <https://aquila.usm.edu/dissertations/1327>
- 12 Пат. № 2485139, RU, C08F 110/10, C08F 10/10. Способ получения высокореактивного низкомолекулярного полиизобутилена / Шпанцева Л.В., Аксёнов В.И., Тюленцева Л.Е. и др. № 2012113319/04; Заявл. 05.04.2012; Опубл. 20.06.2013, Бюл. № 17.
- 13 Solutions. URL: <https://en.mesnac.com/solutions.html>
- 14 Пат. № 6613858, US, Solution of dilithium polymerization initiator / Sasagawa M., Hofmans J., Van Beylen M. 2003.
- 15 Sun L., Wang Y., Li Y., Zhang C. Study on a novel N-functionalized multilithium initiator and its application for preparing star-shaped N-functionalized styrene-butadiene rubber // Journal of applied polymer science. 2008. V. 109. №. 2. P. 820-824. doi: 10.1002/app.28165
- 16 Peter M. Mechanism for anionic butadiene polymerization with alkyl lithium species // NRC Research press. 2009. P. 7-13.
- 17 Пат. № 2001/0046938, US. Synthesis of dilithium initiator / Halasa A.F., Wen-Liang Hsu.
- 18 Пат. № 2351580, RU, C07C 11/09, 11/20, B01J 29/04. Способ получения изобутилена / Гулиянц С.Т., Александрова И.В. № 2007138498/04; Заявл. 16.10.2007; Опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10.
- 19 Пат. № 2319686, RU, C07C 11/09, 41/06, 43/04. Способ переработки изобутенсодержащей углеводородной смеси / Шпанцева Л.В., Аксёнов В.И. и др. № 2005135587/04; Заявл. 16.11.2005; Опубл. 20.03.2008, Бюл. № 8.
- 20 Полиизобутилен. Обзор мирового производства // Евразийский химический рынок. 2009. № 1 (49). С. 2-7.

References

- 1 Belova L. Creation of polyisobutylene production. Kommersant. Available at: <https://www.kommersant.ru/doc/6070727/06/29/2023> (in Russian).
- 2 Possibility of increasing the construction capacity of low-molecular PIB. Petrochemistry. Available at: <https://www.mrc.ru/news/409343-gruppa-kompaniy-titan-rassmatrivaet-vozmozhnost-uvelicheniya-stroyaschihsyamoschnostey-nizkomolekulyarnogo-pib/> 09/18/2023 (in Russian).
- 3 Yakubovsky Yu.E., Khairullina L.B. Development of technologies using low-tonnage chemistry in the processing of thermoplastic polymers. Advanced technologies and materials: materials of the International scientific and practical conference. Sevastopol, 2022. pp. 430–432. (in Russian).
- 4 Glebova A.G. Development of safety issues for the technological process of composite materials production. Collection of works of the Research and Development Competition (R&D Competition): materials of the Youth Program of the 26th International Specialized Exhibition and Forum. Moscow, 2023. pp. 144–145. (in Russian).
- 5 Shpantseva L.V., Tyulentseva L.E., Ivanchenko N.I., Chibizov S.V. et al. Synthesis of low-molecular highly reactive polyisobutylene. Chemical technology and biotechnology of new materials and products: abstracts of reports of the IV International Conference of the Russian Chemical Society named after D.I. Mendeleev, dedicated to the 80th anniversary of P.D. Sarkisov. Moscow, 2012. pp. 338–340. (in Russian).
- 6 Markova Yu. Review of the PIB market. Rusplast. Available at: <https://rusplast.com/articles/7480/> / 2022 (in Russian).

- 7 Kolganov E.V., Sosnin V.A. Emulsion industrial explosives. 1st book (Compositions and properties). Dzerzhinsk, Crystal, 2009. 592 p. (in Russian).
- 8 Kolganov E.V., Sosnin V.A. Emulsion industrial explosives. 2nd book (Technology and safety). Dzerzhinsk, Crystal, 2009. 336 p. (in Russian).
- 9 The share of Russia, China and the USA in the world economy. Available at: [url://https://zen.yandex.ru/media/show_me_world/dolia-rossii-kitaia-i-ssha-v-mirovoi-ekonomike-5edb8acd75cc013417183211?utm_source=serp](https://zen.yandex.ru/media/show_me_world/dolia-rossii-kitaia-i-ssha-v-mirovoi-ekonomike-5edb8acd75cc013417183211?utm_source=serp) (in Russian).
- 10 Khaibullova K.M., Sergin N.A., Zakirova L.Yu. Highly filled compositions based on low molecular weight polyisobutylene for temporary sealing of refrigeration equipment. Oil and Gas Chemistry - 2023: Proceedings of the VI International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Refining, Minsk, November 1-3, 2023. Minsk: BSTU, 2023. pp. 68-71. (in Russian).
- 11 Yang B. Polyisobutylene telechelic prepolymers by in situ end-quenching and post-polymerization modifications. The University of Southern Mississippi, 2017. Available at: <https://aquila.usm.edu/dissertations/1327>
- 12 Shpantseva L.V., Aksenov V.I., Tyulentseva L.E. et al. Method for producing highly reactive low-molecular polyisobutylene. Patent RF, no. 2485139, 2013.
- 13 Solutions. Available at: <https://en.mesnac.com/solutions.html>
- 14 Sasagawa M., Hofmans J., Van Beylen M. Solution of dilithium polymerization initiator. Patent US, no. 6613858, 2003.
- 15 Sun L., Wang Y., Li Y., Zhang C. Study on a novel N-functionalized multilithium initiator and its application for preparing star-shaped N-functionalized styrene-butadiene rubber. Journal of applied polymer science. 2008. vol. 109. no. 2. pp. 820-824. doi: 10.1002/app.28165
- 16 Peter M. Mechanism for anionic butadiene polymerization with alkyl lithium species. NRC Research press. 2009. pp. 7-13.
- 17 Halasa A.F., Wen-Liang Hsu. Synthesis of dilithium initiator. Patent US, no. 2001/0046938.
- 18 Guliyants S.T., Aleksandrova I.V. Method for producing isobutylene. Patent RU, no. 2351580, 2009.
- 19 Shpantseva L.V., Aksonov V.I. et al. Method for processing an isobutene-containing hydrocarbon mixture. Patent RU, no. 2319686, 2008.
- 20 Polyisobutylene. Review of world production. Eurasian chemical market. 2009. no. 1 (49). pp. 2-7. (in Russian).

Сведения об авторах

Марина В. Филатова к.э.н., доцент, кафедра корпоративных информационных систем и программирования, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, flvmrn@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3553-741X>

Юрий В. Шевцов аспирант, кафедра управления социально-экономическими системами и бизнес-процессами, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова Воронежский филиал, ул. Карла Маркса, 67А г. Воронеж, 394030, Россия, promexhim@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9612-7011>

Тимур И. Казаков аспирант, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова Воронежский филиал, ул. Карла Маркса, 67А г. Воронеж, 394030, Россия, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kazakov.timur@gmail.ru

<https://orcid.org/0009-0007-2344-6944>

Екатерина А. Саввина к.т.н., доцент, кафедра корпоративных информационных систем и программирования, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, katnok2207@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4610-103X>

Сергей В. Олейников к.э.н., старший преподаватель, кафедра торгового дела и товароведения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, serega_olenik@list.ru

<https://orcid.org/0009-0005-1007-397X>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Marina V. Filatova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, corporate information systems and programming department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, flvmrn@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3553-741X>

Yuri V. Shevtsov graduate student, management of socio-economic systems and business processes department, Plekhanov Russian University of Economics Voronezh Branch, Karl Marx str., 67A Voronezh, 394030, Russia, promexhim@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9612-7011>

Timur I. Kazakov graduate student, management of socio-economic systems and business processes department, Plekhanov Russian University of Economics Voronezh Branch, Karl Marx str., 67A Voronezh, 394030, Russia, kazakov.timur@gmail.ru

<https://orcid.org/0009-0007-2344-6944>

Ekaterina A. Savvinay Cand. Sci. (Engin.), associate professor, corporate information systems and programming, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, katnok2207@ya.ru

<https://orcid.org/0000-0002-4610-103X>

Sergey V. Oleynikov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, trade and commodity science department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, serega_olenik@list.ru

<https://orcid.org/0009-0005-1007-397X>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 17/04/2024	После редакции 15/05/2024	Принята в печать 03/06/2024
Received 17/04/2024	Accepted in revised 15/05/2024	Accepted 03/06/2024

Изучение фазовых превращений в процессе твердофазного синтеза диопсида на основе золы рисовой шелухи

Илья Д. Твердов	¹	idtverdov@gmail.com	 0000-0002-7524-3088
Екатерина С. Ямалеева	²	curls888@yandex.ru	 0000-0002-5754-205X
Елена М. Готлиб	²	egotlib@yandex.ru	 0000-0003-2318-7333
Кирилл В. Холин	²	KholinKV@corp.knrtu.ru	 0000-0003-2551-5505
Тимур П. Султанов	²	sultanovtp05@mail.ru	 0009-0005-1298-2245

1 АНО ВО «Университет Иннополиса», Университетская, 1, г. Казань, 420500, Россия

2 Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, г. Казань, 420015, Россия

Аннотация. Для оптимизации процесса синтеза диопсида необходимо изучить фазовые превращения, происходящие в результате взаимодействия золы рисовой шелухи и доломита на разных стадиях обжига. *Цель.* Изучение фазовых превращений в процессе твердофазного синтеза диопсида для обеспечения его максимального выхода. *Методы.* Комплексный дифференциально-термический анализ (ДТА), рентгенографический количественный фазовый анализ (РКФА). *Результаты.* Методом ДТА обнаружено, что на ДТА-кривой в области 621–761 °С фиксируется эндотермический эффект, с максимумом при температуре 740 °С, связанный с распадом кальций-магниевого карбоната (доломита) и образованием оксидов кальция и магния, с выделением углекислого газа. Два экзотермических эффекта наблюдаются в интервалах температур 982–1281 °С и 1281–1345 °С, с соответствующими максимумами при 1152 и 1301 °С, характерными для превращения оксидов кальция, магния и кремния в кальций-магний-силикат – диопсид. Методом РКФА показано, что действительно при обжиге исходных компонентов при 1000 °С образуется в основном фаза монтичеллита, остается некоторое количество не прореагировавшего оксида кремния, и начинается процесс формирования диопсида и акерманита. При повышении температуры обжига от 1100 до 1150 °С (первый экзотермический пик на ДТА-кривой) происходит не только перекристаллизация монтичеллита в диопсид, но и выделение форстерита, как отдельной фазы. Температура обжига исходных компонентов при 1300 °С (второй экзотермический пик на ДТА-кривой), соответствует окончательному переходу всех силикатов в диопсид. *Выводы.* Процесс синтеза диопсида из золы рисовой шелухи и доломита проходит через стадии распада доломита с образованием оксидов кальция и магния, затем появления фазы монтичеллита, потом выделения форстерита в виде отдельной фазы. При температуре 1300 °С окончательно происходит переход всех ранее образованных силикатов в диопсид.

Ключевые слова: зола, рисовая шелуха, доломит, фазообразование, твердофазный синтез, диопсид.

Study of phase transformations in the process of solid-phase synthesis of diopside based on rice husk ash

Ilya D. Tverdov	¹	idtverdov@gmail.com	 0000-0002-7524-3088
Ekaterina S. Yamaleeva	²	curls888@yandex.ru	 0000-0002-5754-205X
Elena M. Gotlib	²	egotlib@yandex.ru	 0000-0003-2318-7333
Kirill V. Kholin	²	KholinKV@corp.knrtu.ru	 0000-0003-2551-5505
Timur P. Sultanov	²	sultanovtp05@mail.ru	 0009-0005-1298-2245

1 Innopolis University, Kazan, Universitetskaya, 1, Kazan, 420500, Russia

2 Kazan National Research Technological University, Karl Marx, 68, Kazan, 420015, Russia

Abstract. To optimize the diopside synthesis process, it is necessary to study the phase transformations that occur as a result of the interaction of rice husk ash and dolomite at different stages of firing. *Target.* Study of phase transformations in the process of solid-phase synthesis of diopside to ensure its maximum yield. *Methods.* Complex differential thermal analysis (DTA), X-ray quantitative phase analysis (XQFA). *Results.* Using the DTA method, it was discovered that the DTA curve in the region of 621–761 °C shows an endothermic effect, with a maximum at a temperature of 740 °C, associated with the decomposition of calcium-magnesium carbonate (dolomite) and the formation of calcium and magnesium oxides, with the release of carbon dioxide. Two exothermic effects are observed in the temperature ranges 982–1281 °C and 1281–1345 °C, with corresponding maxima at 1152 and 1301 °C, characteristic of the transformation of calcium, magnesium and silicon oxides into calcium-magnesium silicate - diopside. The XRD method has shown that, indeed, when the initial components are fired at 1000 °C, the monticellite phase is mainly formed, a certain amount of unreacted silicon oxide remains, and the process of formation of diopside and ackermanite begins. When the firing temperature increases from 1100 to 1150 °C (the first exothermic peak on the DTA curve), not only the recrystallization of monticellite into diopside occurs, but also the separation of forsterite as a separate phase. The firing temperature of the initial components at 1300 °C (the second exothermic peak on the DTA curve) corresponds to the final transition of all silicates to diopside. *Conclusions.* The process of synthesis of diopside from rice husk ash and dolomite goes through the stages of dolomite decomposition with the formation of calcium and magnesium oxides, then the appearance of the monticellite phase, then the separation of forsterite as a separate phase. At a temperature of 1300 °C, all previously formed silicates finally transform into diopside.

Keywords: ash, rice husk, dolomite, phase formation, solid-phase synthesis, diopside.

Для цитирования

Твердов И.Д., Ямалеева Е.С., Готлиб Е.М., Холин К.В., Султанов Т.П. Изучение фазовых превращений в процессе твердофазного синтеза диопсида на основе золы рисовой шелухи // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 277–283. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-277-283

For citation

Tverdov I.D., Yamaleeva E.S., Gotlib E.M., Kholin K.V., Sultanov T.P. Study of phase transformations in the process of solid-phase synthesis of diopside based on rice husk ash. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 277–283. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-277-283

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Для оптимизации процесса синтеза диопсида необходимо изучить фазовые превращения, происходящие в результате взаимодействия золы рисовой шелухи и доломита на разных стадиях обжига. Это важно, так как температура обжига определяет скорость спекания компонентов и выход диопсида, которые можно направленно регулировать также изменением состава исходного сырья и выбором типа и количества плавня [1, 2].

Механизмы синтеза диопсида из разных видов сырья изучены недостаточно. Поэтому исследование процессов фазообразования при получении этого продукта из золы рисовой шелухи и доломита является актуальным, так как эти данные в литературе практически отсутствуют.

Скорость твердофазной реакции лимитируется двумя факторами: на начальных этапах процесса она определяется скоростью химического взаимодействия компонентов, которая зависит от дисперсности сырьевых материалов и степени их перемешивания. На следующей стадии преобладающей становится роль скорости диффузии, которая усиливается по мере роста толщины слоя получаемых продуктов [3–6].

Материалы и методы

Диопсид синтезировали твердофазным методом на основе золы [7], полученной сжиганием рисовой шелухи в муфельной печи при температуре 500 °С в течение 3 часов, и доломита (ГОСТ 23672–2020).

Рентгенографический количественный фазовый анализ синтезированных образцов диопсида проводился на дифрактометре многофункционального типа Rigaku SmartLab при следующих параметрах – угловой интервал 3–65°, шаг сканирования 0,02.

Комплексный дифференциальный термический анализ (ТГ-ДТГ, ДТА) осуществлялся на синхронном термоанализаторе SDT Q600 в интервале температур $T = 20–1400$ °С в среде воздуха, со скоростью нагрева 10 °С /мин.

Результаты и обсуждение

Теоретическое уравнение реакции (1) синтеза диопсида $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ выглядит [8] следующим образом:



где $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – это доломит, SiO_2 – это диоксид кремния из золы рисовой шелухи.

В реальных условиях твердофазного синтеза реакция протекает ступенчато, а формулу $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ имеет целый ряд минеральных компонентов, которые могут быть получены в ходе синтеза.

Для оценки хода реакции исходную смесь компонентов проанализировали методом термогравиметрии и дифференциального термического анализа.

На графике (рисунок 1) наблюдаются экзо- и эндо – эффекты, связанные с фазовыми переходами. На термогравиметрической кривой между температурами 621 и 761 °С наблюдается значительная потеря массы, которая составляет 27,02%.

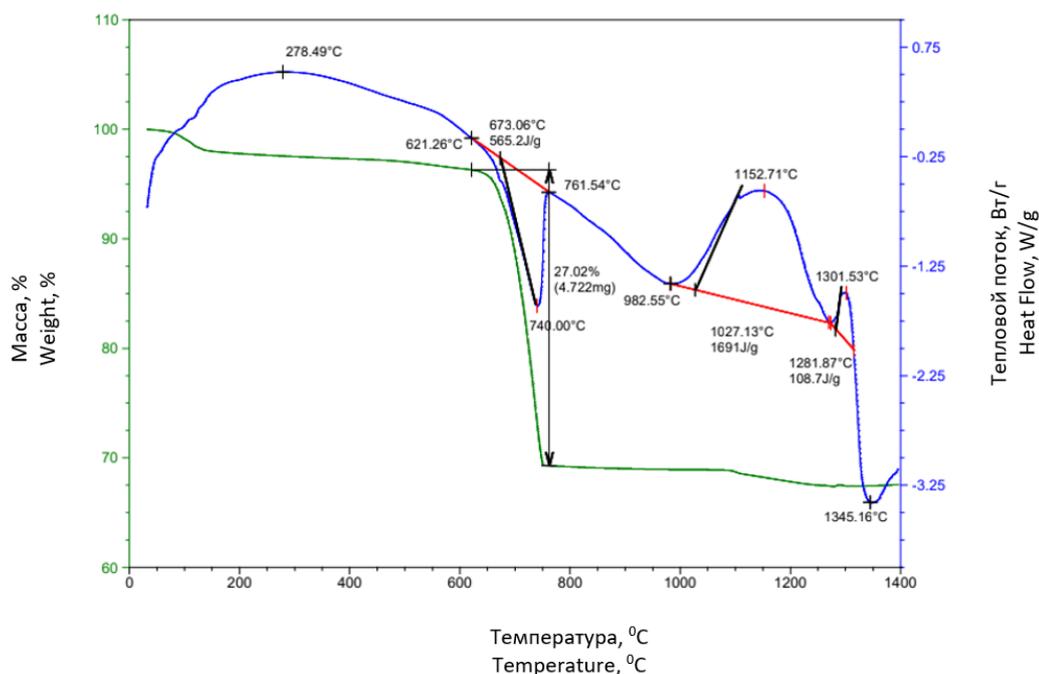


Рисунок 1. Результаты комплексного дифференциально-термического анализа

Figure 1. Results of complex differential thermal analysis

В данном температурном интервале на ДТА-кривой фиксируется эндотермический эффект, с максимумом при температуре 740 °С. Данный эффект характеризует первую стадию реакции, а именно – распад кальций-магниевого карбоната (доломита), в связи с чем и происходит потеря массы: из-за выделения углекислого газа (2) [9].



Далее, на ДТА-кривой в интервале от 982 °С до 1281 °С фиксируется широкий экзотермический эффект с двумя максимумами при температурах 1152 °С и примерно при 1110 °С. С повышением температуры до 1345 °С регистрируется узкий экзотермический эффект с максимумом 1301 °С.

Именно в этих температурных интервалах происходят превращения оксидов кальция, магния и кремния в кальций-магниевый силикат [10]. Наиболее интересными здесь являются следующие температурные точки: 1000 °С – начало синтеза; 1150 °С – максимум эффекта и 1300 °С – окончательный этап.

Можно было бы рассмотреть на последнем этапе две точки – 1280 °С и 1300 °С, но при столь высоких температурах разницу в 20 °С будет достаточно тяжело зафиксировать, и даже если провести отдельный обжиг, переход всё равно случится в момент остывания пробы, которая будет ещё иметь остаточную температуру.

Также интерес вызывает ярко выраженный экзо эффект при 1110 °С [11].

Для более детального рассмотрения реакции золы рисовой шелухи и доломита в области этих температурных эффектов, был проведён обжиг их исходной смеси при данных температурах, а затем полученные образцы были изучены методом рентгенографического количественного фазового анализа (РКФА) (рисунки 2–4, таблица 1).

Результаты РКФА позволяют смоделировать процесс синтеза из оксидов кальция, магния и кремния кальций-магниевых силикатов.

Как следует из данных рисунок 2 и таблица 1, на первом этапе (при 1000⁰С) образуется фаза монтichelита (3).

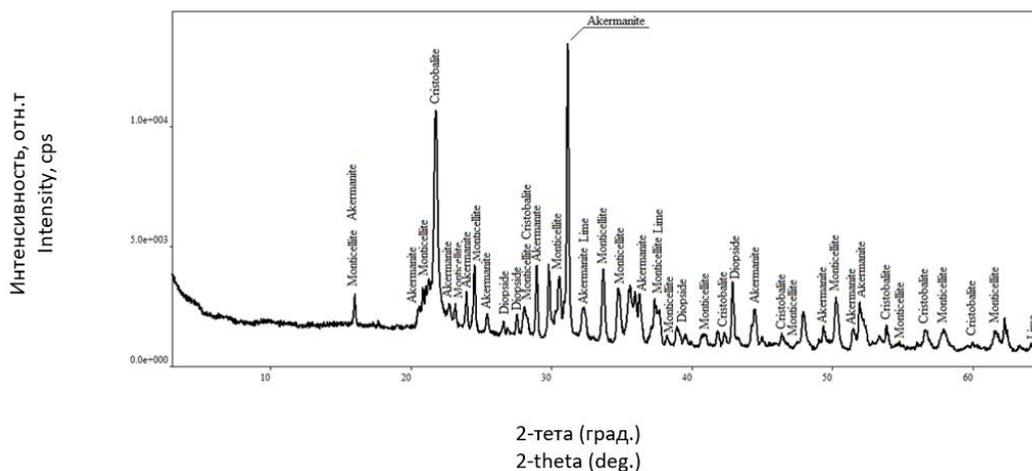
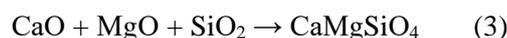


Рисунок 2. Дифрактограмма образца, обожжённого при 1000 °С

Figure 2. X-ray diffraction pattern of a sample fired at 1000 °С

Таблица 1.

Результаты рентгенофазового анализа

Table 1.

Results of X-ray phase analysis

Температура обжига Firing temperature	Фазовый состав Phase composition	Содержание, % Content, %
1000 °С	Монтичели Monticellite	69
	Диопсид Diopside	17
	Акерманит Akermanite	10
	Кристаллит Cristobalite	4
	Лайм Lime	<1
1110 °С	Акерманит Akermanite	43
	Диопсид Diopside	37
	Форстерит Forsterite	14
	Кристаллит Cristobalite	6
1150 °С	Диопсид Diopside	40
	Акерманит Akermanite	37
	Форстерит Forsterite	15
	Кристаллит Cristobalite	8
1300 °С	Диопсид Diopside	99
	Оливин и Волластонит Olivine and Wollastonite	1

Так же остается некоторое количество не прореагировавшего оксида кремния, и начинается процесс формирования диопсида и акерманит [12]. Этот результат подтверждает то, что температура 1000 °С является промежуточной, и окончательный синтез диопсида проходит при более высоких температурах.

Далее рассмотрен обжиг при температуре 1100 °С (рисунок 3), при которой на ДТА кривых имеется небольшой экзотермический эффект (рисунок 1).

При повышении температуры происходит не только перекристаллизация монтичеллита в диопсид, но и выделение форстерита (Mg_2SiO_4) как отдельной фазы (4). Возможно, именно возникновение форстерита и вызвало этот эффект.

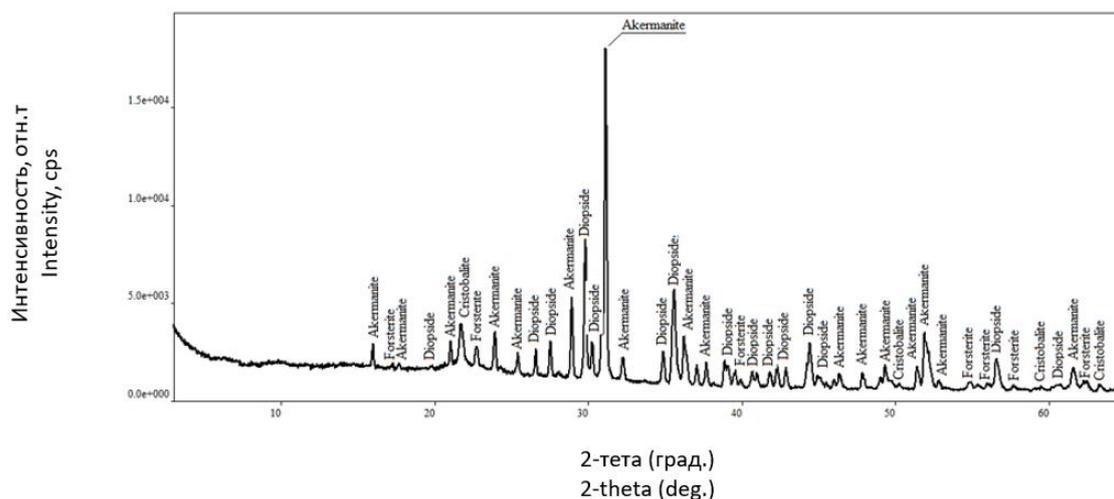
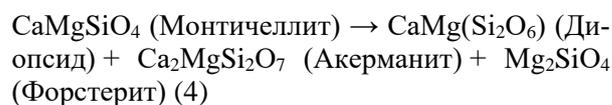


Рисунок 3. Дифрактограмма образца, обожжённого при 1100 °С.

Figure 3. X-ray diffraction pattern of a sample fired at 1100 °C

На максимуме этого эффекта (1150 °С) наблюдается примерно равное содержание диопсида и акерманита (таблица 1). Содержание

кристобаллита остаётся практически прежним, то есть он не вступает в дальнейшую реакцию (рисунок 4).

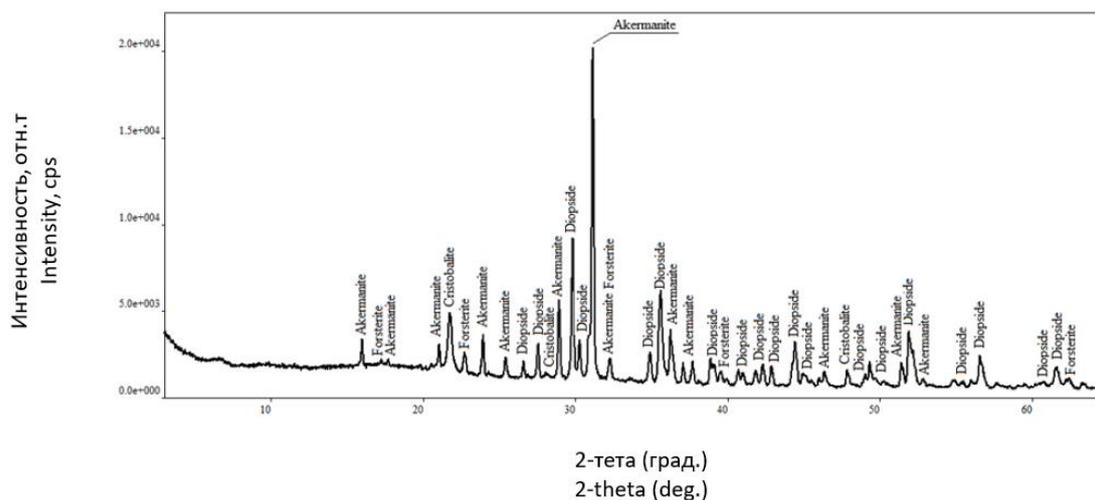
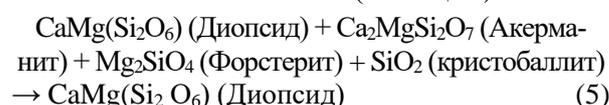


Рисунок 4. Дифрактограмма образца, обожжённого при 1150 °С.

Figure 4. X-ray diffraction pattern of a sample fired at 1150 °C

При температуре 1300 °С (рисунок 5) окончательно происходит переход всех силикатов [13] в диопсид (5), а также расходуется не использованный ранее кристобаллит. Остаточными сопутствующими продуктами волластонитом и оливином

можно пренебречь, так как их суммарное содержание составляет всего 1% (таблица 1).



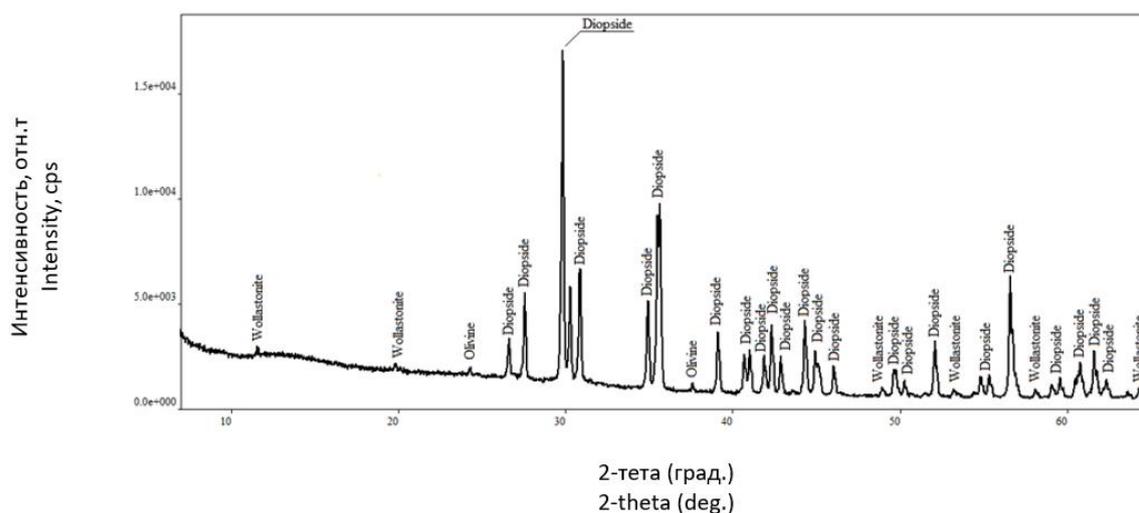


Рисунок 5. Дифрактограмма образца, обожжённого при 1300 °С.

Figure 5. X-ray diffraction pattern of a sample fired at 1300 °C

Так как уже на первом этапе при 1000 °С мы видим образование диопсида, в целях обеспечения энергоэффективности твердофазного синтеза, считаем, что реакцию золы рисовой шелухи [14] и доломита оптимально проводить при 1100 °С. Однако, при этом, необходима достаточно большая временная выдержка, которая составляет 3 часа, и использовании плавня (борной кислоты) [15, 16]. В результате достигается [17–20] высокий выход целевого продукта – диопсида (свыше 95%).

Заключение

Процесс синтеза диопсида из золы рисовой шелухи и доломита проходит через стадии распада кальций-магниевого карбоната с образованием оксидов кальция и магния, затем появления фазы монтичелита, потом выделения форстерита в виде отдельной фазы. При температуре 1300 °С окончательно происходит переход всех ранее образованных силикатов в диопсид. Для снижения этой температуры получения данного продукта предлагается использование плавня.

Литература

- 1 Верещагин В.И., Могилевская Н.В., Сафонова Т.В. Спекание и прочность стеновой керамики и фаянса из композиций глинистого и диопсидсодержащего сырья // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т.21. № 6. С. 122–133.
- 2 Меньшикова В.К., Демина Л.Н. Керамические строительные материалы с использованием нетрадиционного вида сырья // Строительные материалы и изделия. 2020. Т. 3. № 3. С. 40–46.
- 3 Сагун А.И. Фазообразование при синтезе диопсида из природного сырья // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы Международной конференции молодых ученых имени профессора Л.П. Кулева и Н.М. Кижнера. Томск, 2020. С. 122–123.
- 4 Лохова Н.А., Цинделиани М.И. Фазообразование в золекремнеземистом керамическом материале // Системы. Методы. Технологии. 2013. Т. 17. № 1. С. 81–85.
- 5 López-Cuevas J., López-Badillo C.M., Méndez-Nonell J. Synthesis and phase evolution of a glass-ceramic biomaterial with near-eutectic composition of the pseudo-binary system diopside–tricalcium phosphate // Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. 2021. V. 60. № 2. P. 74–82. doi: 10.1016/j.bsecv.2020.01.008
- 6 Srinath P.A., Azeem P.V., Reddy K., Chiranjeevi P.B. et al. A novel cost-effective approach to fabricate diopside bioceramics // Advanced powder technology. 2021. V. 32. P. 875–884. doi: 10.1016/j.appt.2021.01.038
- 7 Готлиб Е.М., Твердов И.Д., Ха Т.Н.Ф., Ямалева Е.С. Волластонит и диопсид, содержащие наполнители эпоксидных материалов на основе сельскохозяйственных и техногенных отходов // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25. № 8. С. 164–173.
- 8 Твердов И.Д., Готлиб Е.М., Нцуму Р.Ш., Ямалева Е.С. Диопсид как наполнитель эпоксидных полимеров // Южно-сибирский научный вестник. 2023. № 4. С. 11–15.
- 9 Lakov L., Jivov B., Aleksandrova M., Yordanov S., Toncheva K. Synthesis, phase composition and microstructure of colored ceramic materials based on diopside // Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations. 2020. V.6. № 3. P. 77–79.
- 10 Titorenkova A., Kostov-Kytin V., Dimitrov Ts. Synthesis, phase composition and characterization of Co-diopside ceramic pigments // Ceramic international. 2022. V.48. № 24. P. 36781–36788. doi: 10.1016/j.ceramint.2022.08.242
- 11 Zadehnajar P., Hussein M., Fiocco L., Colombo P. Recent advances on akermanite calcium-silicate ceramic for biomedical applications // Applied ceramics technology. 2021. V. 18. № 6. P. 1901–1920. doi: 10.1111/ijac.13814
- 12 Arastouei M., Khodaei M., Mohammad Atyabi S., Nodoushan M.J. Improving the Properties of the Porous Polylactic Acid Scaffold by Akermanite Nanoparticles for Bone Tissue Engineering // Journal of Advanced Materials and Processing. 2020. V. 8. № 2. P. 11–19.

- 13 Lakov L., Jivov B., Aleksandrova M., Yordanov S., Toncheva K. Non-Equilibrium Phase Transformations // *Materials Science*. 2022. V. 6. № 3. P. 77–79. doi: 10.1016/j.physa.2006.04.007
- 14 Nayak P., Kumar S., Bera J. Sol–gel synthesis of bioglass-ceramics using rice husk ash as a source of silica and its characterization // *Journal of non-crystalline solids*. 2010. V. 356. № 28–30. P. 1447–1451. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2010.04.041
- 15 Si V., Li S. Crystallization kinetics of diopside glass ceramics // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. P. 1676. doi: 10.1088/1742-6596/1676/1/012150
- 16 Otto K., Wisniewski W., Rüssel C. Growth mechanisms of surface crystallized diopside // *CrystEngComm*. 2013. V. 15. № 32. P. 6389–6394.
- 17 Готлиб Е.М., Ямалеева Е.С., Твердов И.Д., Мишагин К.А. и др. Применение рисовой шелухи как сырья для получения wollastonит- и диопсидсодержащих наполнителей // *Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Киров, 2023. С. 418–421.
- 18 Пат. № 2801146, RU, C04B 35/20, C01B 33/24. Способ получения диопсида / Твердов И.Д., Галимов Э.Р., Готлиб Е.М., Ямалеева Е.С. № 2022131067; Заявл. 29.11.2022; Опубл. 02.08.2023, Бюл. № 22.
- 19 Sobhani A., Salimi E. Low temperature preparation of diopside nanoparticles: in-vitro bioactivity and drug loading evaluation // *Scientific Reports*. 2023. V. 13. doi: 10.1038/s41598-023-43671-0
- 20 Nicoara A.I., Alecu A.E., Balaceanu G-C, Puscasu E.M. et al. Fabrication and Characterization of Porous Diopside/Akermanite Ceramics with Prospective Tissue Engineering Applications // *Materials*. 2023. V. 16. № 16. P. 5548. doi: 10.3390/ma16165548

References

- 1 Vereshchagin V.I., Mogilevskaya N.V., Safonova T.V. Sintering and strength of wall ceramics and faience from compositions of clay and diopside-containing raw materials. *Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2019. vol. 21. no. 6. pp. 122–133. (in Russian).
- 2 Menshikova V.K., Demina L.N. Ceramic building materials using non-traditional raw materials. *Construction materials and products*. 2020. vol. 3. no. 3. pp. 40–46. (in Russian).
- 3 Sagun A.I. Phase formation during the synthesis of diopside from natural raw materials. *Chemistry and chemical technology in the XXI century: materials of the International Conference of Young Scientists named after Professor L.P. Kuleva and N.M. Kizhner*. Tomsk, 2020. pp. 122–123. (in Russian).
- 4 Lakhova N.A., Tsindeliani M.I. Phase formation in ash-silica ceramic material. *Systems. Methods. Technologies*. 2013. vol. 17. no. 1. pp. 81–85. (in Russian).
- 5 López-Cuevas J., López-Badillo C.M., Méndez-Nonell J. Synthesis and phase evolution of a glass-ceramic biomaterial with near-eutectic composition of the pseudo-binary system diopside–tricalcium phosphate. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*. 2021. vol. 60. no. 2. pp. 74–82. doi: 10.1016/j.bsecv.2020.01.008
- 6 Srinath P.A., Azeem P.V., Reddy K., Chiranjeevi P.B. et al. A novel cost-effective approach to fabricate diopside bioceramics. *Advanced powder technology*. 2021. vol. 32. pp. 875–884. doi: 10.1016/j.apt.2021.01.038
- 7 Gotlib E.M., Tverdov I.D., Kha T.N.F., Yamaleeva E.S. Wollastonite and diopside containing fillers of epoxy materials based on agricultural and technogenic waste. *Bulletin of the Technological University*. 2022. vol. 25. no. 8. pp. 164–173. (in Russian).
- 8 Tverdov I.D., Gotlib E.M., Ntsumu R.Sh., Yamaleeva E.S. Diopside as a filler for epoxy polymers. *South Siberian Scientific Bulletin*. 2023. no. 4. pp. 11–15. (in Russian).
- 9 Lakov L., Jivov B., Aleksandrova M., Yordanov S. et al. Synthesis, phase composition and microstructure of colored ceramic materials based on diopside. *Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations*. 2020. vol. 6. no. 3. pp. 77–79.
- 10 Titorenkova A., Kostov-Kytin V., Dimitrov Ts. Synthesis, phase composition and characterization of Co-diopside ceramic pigments. *Ceramic international*. 2022. vol. 48. no. 24. pp. 36781–36788. doi: 10.1016/j.ceramint.2022.08.242
- 11 Zadehnajar P., Hussein M., Fiocco L., Colombo P. Recent advances on akermanite calcium-silicate ceramic for biomedical applications. *Applied ceramics technology*. 2021. vol. 18. no. 6. pp. 1901–1920. doi: 10.1111/ijac.13814
- 12 Arastouei M., Khodaei M., Mohammad Atyabi S., Nodoushan M.J. Improving the Properties of the Porous Polylactic Acid Scaffold by Akermanite Nanoparticles for Bone Tissue Engineering. *Journal of Advanced Materials and Processing*. 2020. vol. 8. no. 2. pp. 11–19.
- 13 Lakov L., Jivov B., Aleksandrova M., Yordanov S. et al. Non-Equilibrium Phase Transformations. *Materials Science*. 2022. vol. 6. no. 3. pp. 77–79. doi: 10.1016/j.physa.2006.04.007
- 14 Nayak P., Kumar S., Bera J. Sol–gel synthesis of bioglass-ceramics using rice husk ash as a source of silica and its characterization. *Journal of non-crystalline solids*. 2010. vol. 356. no. 28–30. pp. 1447–1451. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2010.04.041
- 15 Si V., Li S. Crystallization kinetics of diopside glass ceramics. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. pp. 1676. doi: 10.1088/1742-6596/1676/1/012150
- 16 Otto K., Wisniewski W., Rüssel C. Growth mechanisms of surface crystallized diopside. *CrystEngComm*. 2013. vol. 15. no. 32. pp. 6389–6394.
- 17 Gotlib E.M., Yamaleeva E.S., Tverdov I.D., Mishagin K.A. et al. The use of rice husk as a raw material for the production of wollastonite – and diopside-containing fillers. *Ecology of the native land: problems and ways to solve them: materials of the XVIII All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation*. Kirov, 2023. pp. 418–421. (in Russian)
- 18 Tverdov I.D., Galimov E.R., Gotlib E.M., Yamaleeva E.S. Method of obtaining diopside. Patent RF, no. 2801146, 2023.
- 19 Sobhani A., Salimi E. Low temperature preparation of diopside nanoparticles: in-vitro bioactivity and drug loading evaluation // *Scientific Reports*. 2023. vol. 13. doi: 10.1038/s41598-023-43671-0
- 20 Nicoara A.I., Alecu A.E., Balaceanu G-C, Puscasu E.M. et al. Fabrication and Characterization of Porous Diopside/Akermanite Ceramics with Prospective Tissue Engineering Applications. *Materials*. 2023. vol. 16. no. 16. pp. 5548. doi: 10.3390/ma16165548

Сведения об авторах

Илья Д. Твердов аналитик, институт дополнительного образования, Университет Иннополис, Университетская, 1, г. Иннополис, 420500, Россия, idtverdov@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7524-3088>

Екатерина С. Ямалеева к.т.н., доцент, кафедра Медицинской инженерии, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, curls888@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5754-205X>

Елена М. Готлиб д.т.н., профессор, кафедра технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, egotlib@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2318-7333>

Кирилл В. Холин к.х.м., заведующий кафедрой, кафедра физики, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, KholinKV@corp.knrtu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2551-5505>

Тимур П. Султанов ассистент, инженер 2 категории, кафедра физики, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Карла Маркса, 68, Казань, 420015, Россия, sultanovtp05@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-1298-2245>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ilya D. Tverdov analyst, Institute of Further Education, Innopolis University, Universitetskaya, 1, Innopolis, 420500, Russia, idtverdov@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-7524-3088>

Ekaterina S. Yamaleeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, medical engineering department, Kazan National Research, Karl Marx Av., 68 Kazan, 420015, Russia, curls888@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-5754-205X>

Elena M. Gotlib Dr. Sci. (Engin.), professor, synthetic rubber technology department, Kazan National Research Technological, Karl Marx Av., 68 Kazan, 420015, Russia, egotlib@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2318-7333>

Kirill V. Kholin Cand. Sci. (Chem), head of department, physics department, Kazan National Research Technological, Karl Marx Av., 68 Kazan, 420015, Russia, KholinKV@corp.knrtu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2551-5505>

Timur P. Sultanov assistant, engineer 2nd category, physics department, Kazan National Research Technological, Karl Marx Av., 68 Kazan, 420015, Russia, sultanovtp05@mail.ru

 <https://orcid.org/0009-0005-1298-2245>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 04/04/2024	После редакции 23/04/2024	Принята в печать 20/05/2024
Received 04/04/2024	Accepted in revised 23/04/2024	Accepted 20/05/2024

Технологические аспекты получения материалов на основе термопластичного крахмала

Любовь Н. Студеникина	¹	lubov-churkina@ya.ru	 0000-0001-6613-4974
Игорь В. Коленко	¹	kolenko.igor.55@gmail.com	
Вероника Е. Углова	¹	veronika200312@gmail.com	
Александр А. Мельников	²	melnikov.shura@inbox.ru	

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Разработка материалов на основе термопластичного крахмала актуальна при создании экобезопасной упаковки, а также перспективна для получения функциональных материалов в других отраслях. Крахмал является одним из самых доступных и дешевых природных полисахаридов, но получение на его основе пленок и корпусных изделий осложняется процессами ретроградации, для решения данной проблемы необходимы технологические приемы пластификации, сшивки и компаундирования. Целью исследования является разработка рецептуры для получения пленочного материала на основе крахмала, обладающего удовлетворительными физико-механическими показателями. Объектами исследования были выбраны два вида крахмала – картофельный и кукурузный, в качестве связующих полимеров использовали поливиниловый спирт (ПВС) и желатин, в качестве комплексного пластификатора – смесь мочевины и глицерина в различных соотношениях. Пленки получали методом жидкофазного компаундирования 5% раствора крахмала и 5% раствора связующего полимера, с последующей отливкой и обезвоживанием на воздухе. Прочностные показатели полученных пленок определяли по ГОСТ 11262-2017 (с использованием разрывной машины РМ-50 с программным обеспечением StretchTest), водорастворимость оценивали визуально, сорбционные свойства оценивали через набухаемость по массе (при экспозиции в эксикаторе с водой, $t = 20^\circ\text{C}$). Установлено, что использование комплексного пластификатора «глицерин+мочевина» эффективно снижает ретроградационные процессы при получении пленок из крахмала (предпочтительнее использовать картофельный крахмал ввиду большего содержания амилопектина, повышающего эластичность пленок), оптимальное содержание пластификатора составляет 30 масс.ч на 100 масс.ч крахмала, повышение количества мочевины увеличивает прочность материала, минимальное количество связующего агента (полимера) составляет 20 масс.ч на 100 масс.ч крахмала, при этом пленки приобретают гибкость (стойкость к излому), фрагментация пленок при экспозиции в воде начинается при достижении температуры 60°C (до этого пленки набухают, но сохраняют целостность формы), скорость фрагментации максимальна для образцов, содержащих желатин в качестве связующего, сорбционная емкость экспериментальных образцов для водяного пара достигает 120–200 масс.%, при этом у образцов, содержащих в качестве связующего ПВС, наблюдается лучшая влагоудерживающая способность.

Ключевые слова: крахмал, экоупаковка, ретроградация, пластификатор, прочностные показатели, сорбционная емкость.

Technological aspects of obtaining materials based on thermoplastic starch

Lyubov N. Studenikina	¹	lubov-churkina@ya.ru	 0000-0001-6613-4974
Igor V. Kolenko	¹	kolenko.igor.55@gmail.com	
Veronika E. Uglova	¹	veronika200312@gmail.com	
Alexandr A. Melnikov	²	melnikov.shura@inbox.ru	

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The development of materials based on thermoplastic starch is relevant when creating eco-safe packaging, as well as promising for obtaining functional materials in other industries. Starch is one of the most affordable and cheap natural polysaccharides, but the production of films and body products based on it is complicated by retrogradation processes, and technological methods of plasticization, crosslinking and compounding are necessary to solve this problem. The aim of the study is to develop a formulation for obtaining a starch-based film material with satisfactory physical and mechanical properties. The objects of the study were two types of starch – potato and corn, polyvinyl alcohol (PVA) and gelatin were used as binding polymers, and a mixture of urea and glycerin in various ratios was used as a complex plasticizer. The films were obtained by liquid-phase compounding of 5% starch solution and 5% binder polymer solution, followed by casting and dewatering in air. The strength parameters of the obtained films were determined according to GOST 11262-2017 (using a RM-50 bursting machine with StretchTest software), water solubility was assessed visually, sorption properties were assessed through swelling by weight (when exposed in a desiccator with water, $t = 20^\circ\text{C}$). It was found that the use of the complex plasticizer "glycerin + urea" effectively reduces retrogradation processes in the production of films from starch (it is preferable to use potato starch due to the higher content of amylopectin, which increases the elasticity of films), the optimal content of the plasticizer is 30 wt.h per 100 wt.h. starch, increasing the amount of urea increases the strength of the material, the minimum amount of binder (polymer) is 20 wt.h. per 100 wt.h. starch, while the films acquire flexibility (resistance to fracture), fragmentation of films during exposure in water begins when the temperature reaches 60°C (before that, the films swell, but retain the integrity of the shape), the fragmentation rate is maximum for samples containing gelatin as a binder, the sorption capacity of experimental samples for water vapor reaches 120–200 wt.%, while samples containing PVA as a binder have a better moisture retention capacity.

Keywords: starch, eco-packaging, retrogradation, plasticizer, strength characteristics, sorption capacity.

Для цитирования

Студеникина Л.Н., Коленко И.В., Углова В.Е., Мельников А.А. Технологические аспекты получения материалов на основе термопластичного крахмала // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 2. С. 284–289. doi:10.20914/2310-1202-2024-2-284-289

For citation

Studenikina L.N., Kolenko I.V., Uglova V.E., Melnikov A.A. Technological aspects of obtaining materials based on thermoplastic starch. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 2. pp. 284–289. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-2-284-289

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Разработка биоразлагаемых (компостируемых) и водорастворимых материалов на основе природных возобновляемых полимеров актуальна для решения проблемы накопления синтетических неразлагаемых отходов в окружающей среде, а также перспективна для создания функциональных материалов не только в упаковочной индустрии, но и сельском хозяйстве, медицине, гигиене и пр. [1, 2]

Водорастворимые материалы являются трендом современной упаковочной индустрии, но водорастворимая упаковка на основе синтетических полимеров имеет ряд недостатков, в первую очередь – недоказанную эффективность биоразложения в естественных условиях, дороговизну, исчерпаемость сырья для производства и пр. [3, 4].

Крахмал – природный полисахарид, который является одним из наиболее доступных, дешевых, биоразлагаемых полимеров, он может быть получен из различных легко возобновляемых видов сельскохозяйственных культур, и поэтому привлекателен в качестве сырья для создания экоупаковки [5]. В то же время высокая гидрофильность крахмала, низкие механические свойства и способность к ретроградации делают его непригодным для получения пленок в чистом виде [6, 7].

Крахмал можно получить из большого количества растительных культур: кукуруза, картофель, горох, тапиока и т. д. Крахмалы различных культур отличаются соотношением амилозы и амилопектина, что влияет на ряд технологических параметров переработки и на прочностные показатели получаемых пленок [8]. Содержание амилопектина очень важно для пленкообразующей способности крахмала, т. к. линейная амилоза образует более кристаллическую структуру пленок, которые имеют весьма низкую прочность на изгиб, в то время как разветвленный амилопектин придает аморфность, что сопровождается повышением эластичности материала, однако при этом растворы крахмала с высоким содержанием амилопектина более вязкие и требуют больших энергозатрат при переработке [9].

Модифицированные крахмалы (которые классифицируют на набухающие, расщепленные, стабилизированные и сшитые) обладают некоторыми преимуществами перед нативными, но при этом они более дорогостоящие [10]. При получении пленок из крахмала следует учитывать его способность к ретроградации. Ретроградация – это перестроение амилозы и линейной части амилопектина в кристаллическую структуру при охлаждении раствора (расплава) [11].

Параллельно выстроенные молекулы образуют слабые водородные связи, из-за чего плёнки ломаются без внешних воздействий.

В работе [7] авторами отмечено, что низкая технологичность крахмала из-за наличия водородных связей и межмолекулярных взаимодействий препятствует его переработке и применению, решением является пластификация. В разных источниках пластифицированный крахмал может называться термопластичным, но следует понимать, что процесс пластификации не превращает крахмал в термопластичный материал до тех пор, пока его не смешают с «упрочняющим» полимером. Т.о. термопластичный крахмал (TPS) – это композит пластифицированного крахмала и какого-либо полимера, обеспечивающего прочность материала. Надо отметить, что TPS производится достаточно давно за рубежом и представлен на рынке такими торговыми марками как Novamont, Sphere, Plantic и др. [12].

В качестве «упрочняющего» полимера при получении пленок TPS могут применяться: поливиниловый спирт (ПВС) [13], желатин [14], полилактид [15, 16], полигидроксибутират [17] и др. Соотношение крахмала и упрочняющего полимера может быть различным. В качестве пластификатора применяют глицерин, гликоль, сорбит и т. д. [18]. Пластификаторы обеспечивают текучесть крахмала, но не обеспечивают стойкость пленок к ретроградации. «Подшивка» крахмала помогает добиться долговечности пленок [19]. Технологически получить пленки на основе крахмала возможно двумя способами – отливкой из раствора или экструзией пластифицированной смеси. Оба метода имеют свои достоинства и недостатки [20].

Цель работы – разработка рецептуры для получения пленочного материала на основе крахмала, обладающего удовлетворительными физико-механическими показателями.

Материалы и методы

Объектами исследования были плёнки из картофельного и кукурузного крахмала с добавлением комплексного пластификатора (глицерин + мочевины, в разном соотношении), а также комплексного пластификатора в разном соотношении и связующего агента – полимера (ПВС и желатина). Рецептурная нумерация экспериментальных образцов отражена в таблице 1.

Пленки получали методом жидкофазного компаундирования 5% раствора крахмала, пластификатора и 5% раствора связующего полимера, с последующей отливкой и обезвоживанием на воздухе.

Методы исследования: прочностные показатели пленок определяли по ГОСТ 11262–2017

(с помощью разрывной машины РМ-50 с программным обеспечением StretchTest), водорастворимость пленок оценивали визуально при экспозиции в воде с различной температурой (20 ÷ 80 °С), сорбционные свойства по отношению к водяному пару оценивали через набухаемость по массе (эксикаторным методом, t = 20 °С).

Отмечено повышение прочностных показателей в 1,5÷2 раза при введении связующего полимера в крахмальные пленки.

Таблица 1. Рецептурная нумерация образцов

Table 1. Prescription numbering of samples

№	Основа (100 мас. ч.) Base (100 wt.h.)	Связующий агент (20 мас. ч.) Binding agent (20 wt.h.)	Комплексный пластификатор «глицерин: мочеви́на» (30 мас. ч.), в соотношении "glycerin: urea" (30 wt.h.), in the ratio
1	Крахмал картофельный	—	20:10
2			15:15
3			10:20
4		ПВС 17–88	20:10
5			15:15
6			10:20
7		желатин	20:10
8			15:15
9			10:20

Результаты

На рисунке 1 показаны образцы пленок на основе кукурузного и картофельного крахмала при различном соотношении компонентов комплексного пластификатора (без связующего полимера). Ретроградация кукурузного крахмала (верхний ряд) приводит к значительным дефектам пленочного материала, чего не наблюдается для образцов на основе картофельного крахмала (нижний ряд).

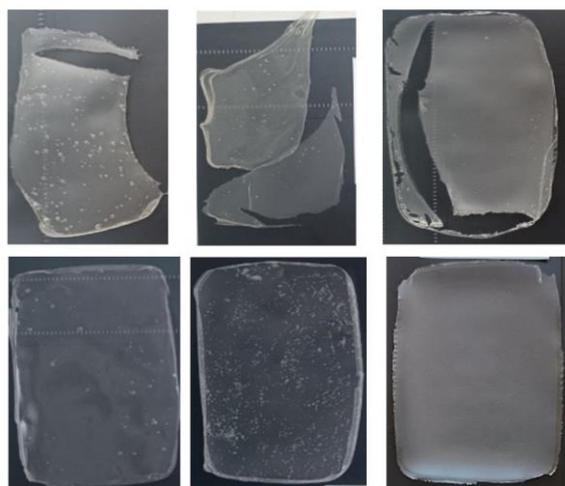


Рисунок 1. Образцы на основе кукурузного (верхний ряд) и картофельного (нижний ряд) крахмала
Figure 1. Samples based on corn starch (top row) and potato starch (bottom row)

Таблица 2. Прочностные показатели образцов

Table 2. Strength characteristics of samples

№	Модуль Юнга Young's module	Прочность при разрыве, МПа Tensile strength, MPa	Относит. удлинение, % Relative elongation, %
1	3.3	20	6
2	3.4	24	7
3	3.1	25	8
4	6.3	38	6
5	5.8	46	8
6	4.4	22	5
7	5.4	27	5
8	4.3	39	9
9	6.8	55	8

На рисунке 2 представлены результаты оценки растворимости исследуемых пленок в воде с температурой 40 и 60 °С.

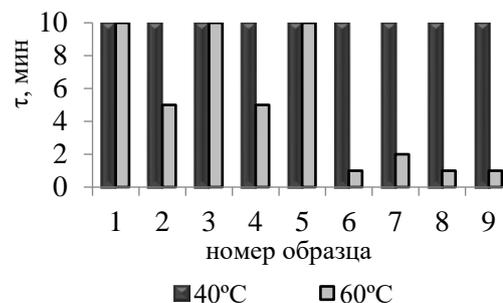


Рисунок 2. Время растворения экспериментальных образцов в воде с различной температурой
Figure 2. The time of dissolution of experimental samples in water with different temperatures

При оценке растворимости отмечено, что все исследуемые образцы не подвергались растворению в воде с температурой 20 °С, при достижении температуры 40 °С время растворения составляло не менее 10 минут для всех образцов. В воде с температурой 60 °С максимальная скорость растворения у образцов, содержащих желатин в качестве связующего.

Сорбция воды набухающими полярными полимерами зависит как от плотности упаковки макромолекул (или степени кристалличности), так и от термодинамического сродства к воде.

На рисунке 3 показаны результаты оценки сорбционных свойств пленок по отношению к водяному пару (температура 20 °С). Среди исследуемых образцов максимальной сорбцией водяного пара обладают пленки, содержащие желатин (№ 7–9). Отмечен однотипный характер динамики сорбции для всех образцов: достижение максимума набухаемости за 2000 мин, с последующим плавным снижением массы до достижения сорбционного равновесия.

Результаты оценки прочностных показателей образцов № 1–9 представлены в таблице 2.

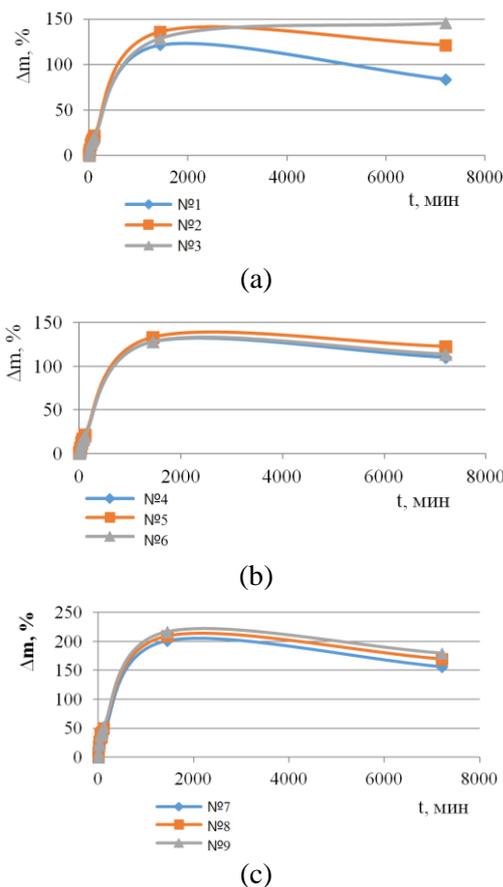


Рисунок 3. Динамика сорбции водяного пара пленками: (а) № 1–3; (б) № 4–6; (с) № 7–9

Figure 3. Dynamics of water vapor sorption by films: (a) № 1–3; (b) № 4–6; (c) № 7–9

Заключение

Установлено, что использование комплексного пластификатора «глицерин + мочеви́на» эффективно снижает ретроградационные процессы при получении пленок из крахмала (предпочтительнее использовать картофельный крахмал ввиду большего содержания амилопектина, повышающего эластичность пленок), оптимальное содержание пластификатора составляет 30 масс. ч на 100 мас. ч. крахмала, повышение количества мочевины увеличивает прочность материала, минимальное количество связующего агента (полимера) составляет 20 масс. ч. на 100 мас. ч. крахмала, при этом пленки приобретают гибкость (стойкость к излому), фрагментация пленок при экспозиции в воде начинается при достижении температуры 60 °С (до этого пленки набухают, но сохраняют целостность формы), скорость фрагментации максимальна для образцов, содержащих желатин в качестве связующего, сорбционная емкость экспериментальных образцов для водяного пара достигает 120–200 мас.%, при этом у образцов, содержащих в качестве связующего ПВС, наблюдается лучшая влагоудерживающая способность.

Литература

- 1 Студеникина Л.Н., Домарева С.Ю., Голенских Ю.Е., Матвеева А.В. Особенности высоконаполненных композитов на основе различных марок поливинилового спирта // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 1 (87). С. 316–322.
- 2 Хабибуллина Л.Ф., Сидоров Ю.Д., Поливанов М.А., Василенко С.В. Свойства композиционных плёночных материалов на основе поливинилового спирта. Вестник Казанского технологического университета. 2016. № 21. С. 109–113.
- 3 Студеникина Л.Н., Корчагин В.И., Попова Л.В., Саввин П.Н. Биodeградация бинарных композитов на основе поливинилового спирта // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2021. Т. 14. № 1. С. 111–119.
- 4 Julinová M., Vaňharová L., Jurca M. Water-soluble polymeric xenobiotics – Polyvinyl alcohol and polyvinylpyrrolidone – And potential solutions to environmental issues. A brief review // Journal of Environmental Management. 2018. № 228. P. 213–222.
- 5 Подденежный Е.Н., Бойко А.А., Алексеенко А.А., Дробышевская Н.Е. и др. Прогресс в получении биоразлагаемых композиционных материалов на основе крахмала (обзор) // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. 2015. № 2. С. 31–41.
- 6 Kabdrakhmanova Sana K. et al. Synthesis, characteristics and antibacterial activity of polymeric films based on starch and polyvinyl alcohol // Journal of chemical technology and metallurgy. 2018. № 1. P.50–60.
- 7 Surendren A., Mohanty A.K., Liu Q., Misra M. A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives // Green Chem. 2022. № 24. P. 8606–8636.
- 8 Литвяк В. и др. Исследование особенностей механизма химической модификации крахмала // Наука и инновации. 2012. № 9. С. 64–69.
- 9 Palviainen P. et al. Corn starches as film formers in aqueous-based film coating // Pharm Dev Technol. 2001. № 6(3). P. 353–361.
- 10 Соломин Д.А. Целесообразность и эффективность производства модифицированных крахмалов // Пищевая промышленность. 2013. № 7. С. 54–56.
- 11 Степычева Н.В., Кучеренко П.Н. Использование амилолитических ферментных препаратов для замедления ретроградации крахмала // Химия и химическая технология. 2013. Т. 56 (8). С. 3–10.
- 12 European Bioplastics // Bioplastics market development update. 2021.

- 13 Мирзозирова В.А., Мухамедиев М.Г. Получение биоразлагаемых композиционных пленок на основе крахмала и поливинилового спирта // *Universum: химия и биология*. 2022. № 11–2 (101). С. 5–10.
- 14 Zhang W., Azizi-Lalabadi M., Jafarzadeh S., Jafari S.M. Starch-gelatin blend films: A promising approach for high-performance degradable food packaging // *Carbohydr Polym*. 2023. №. 15. P. 121266.
- 15 Роговина С.З., Алексанян К.В., Владимиров Л.В., Берлин А.А. Биоразлагаемые полимерные материалы на основе полилактида. *Химическая физика*. 2019. Т. 38. № 9. С. 39–46.
- 16 Роговина С.З. и др. Композиции на основе крахмала и полилактида // *Высокомолекулярные соединения (серия Б)*. 2019. Т. 61. № 3. С. 226–232.
- 17 Godbole S., Gote S., Latkar M., Chakrabarti T. Preparation and characterization of biodegradable poly-3-hydroxybutyrate-starch blend films // *Bioresour Technol*. 2003. V. 86. № 1. P. 33–37.
- 18 Крякунова Е.В., Манахова Т.Н., Канарская З.А., Михайлова О.С. и др. Влияние пластификаторов на физико-механические свойства пленочных материалов на основе крахмала // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т. 16. № 22. С. 225.
- 19 Фадеева И.В. и др. Плёнки из частично сшитого крахмала с фосфатами кальция // *Перспективные материалы*. 2016. № 10. С. 48–55.
- 20 Закирова А.Ш., Манахова Т.Н., Канарский А.В., Канарская З.А. Влияние ферментативной обработки горохового крахмала на физико-механические свойства био пленок // *Вестник ВГУИТ*. 2013. №. 2 (56). С. 187-190. doi: 10.20914/2310-1202-2013-2-187-190

References

- 1 Studenikina L.N., Domareva S.Yu., Golenskikh Yu.E., Matveeva A.V. Features of highly filled composites based on various grades of polyvinyl alcohol. *Proceedings of VSUET*. 2021. vol. 83. no. 1 (87). pp. 316–322. (in Russian).
- 2 Khabibullina L.F., Sidorov Yu.D., Polivanov M.A., Vasilenko S.V. Properties of composite film materials based on polyvinyl alcohol. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2016. no. 21. pp. 109–113. (in Russian).
- 3 Studenikina L.N., Korchagin V.I., Popova L.V., Savvin P.N. Biodegradation of binary composites based on polyvinyl alcohol // *Journal of the Siberian Federal University. Series: Chemistry*. 2021. vol. 14. no. 1. pp. 111–119. (in Russian).
- 4 Julinová M., Vaňharová L., Jurca M. Water-soluble polymeric xenobiotics – Polyvinyl alcohol and polyvinylpyrrolidone – And potential solutions to environmental issues. A brief review. *Journal of Environmental Management*. 2018. no. 228. pp. 213–222.
- 5 Poddenezhny E.N., Boyko A.A., Alekseenko A.A., Drobyshevskaya N.E. et al. Progress in obtaining biodegradable composite materials based on starch (review). *Bulletin of GGTU named after P.O. Sukhoi*. 2015. no. 2. pp. 31–41. (in Russian).
- 6 Kabdrakhmanova Sana K. et al. Synthesis, characteristics and antibacterial activity of polymeric films based on starch and polyvinyl alcohol. *Journal of chemical technology and metallurgy*. 2018. no. 1. pp. 50–60.
- 7 Surendren A., Mohanty A.K., Liu Q., Misra M. A review of biodegradable thermoplastic starches, their blends and composites: recent developments and opportunities for single-use plastic packaging alternatives. *Green Chem*. 2022. no. 24. pp. 8606–8636.
- 8 Litvyak V. et al. Study of the features of the mechanism of chemical modification of starch. *Science and Innovation*. 2012. no. 9. pp. 64–69. (in Russian).
- 9 Palviainen P. et al. Corn starches as film formers in aqueous-based film coating. *Pharm Dev Technol*. 2001. no. 6(3). pp. 353–361.
- 10 Solomin D.A. Feasibility and efficiency of production of modified starches. *Food industry*. 2013. no. 7. pp. 54–56. (in Russian).
- 11 Stepycheva N.V., Kucherenko P.N. Use of amylolytic enzyme preparations to slow down starch retrogradation. *Chemistry and chemical technology*. 2013. vol. 56 (8). pp. 3–10. (in Russian).
- 12 European Bioplastics. Bioplastics market development update. 2021.
- 13 Mirzozirova V.A., Mukhamediyev M.G. Production of biodegradable composite films based on starch and polyvinyl alcohol. *Universum: chemistry and biology*. 2022. no. 11–2 (101). pp. 5–10. (in Russian).
- 14 Zhang W., Azizi-Lalabadi M., Jafarzadeh S., Jafari S.M. Starch-gelatin blend films: A promising approach for high-performance degradable food packaging. *Carbohydr Polym*. 2023. no. 15. pp. 121266.
- 15 Rogovina S.Z., Aleksanyan K.V., Vladimirov L.V., Berlin A.A. Biodegradable polymeric materials based on polylactide. *Chemical Physics*. 2019. vol. 38. no. 9. pp. 39–46. (in Russian).
- 16 Rogovina S.Z. et al. Starch and polylactide-based compositions. *High-molecular compounds (series B)*. 2019. vol. 61. no. 3. pp. 226–232. (in Russian).
- 17 Godbole S., Gote S., Latkar M., Chakrabarti T. Preparation and characterization of biodegradable poly 3 hydroxybutyrate-starch blend films. *Bioresour Technol*. 2003. vol. 86. no. 1. pp. 33–37.
- 18 Kryakunova E.V., Manakhova T.N., Kanarskaya Z.A., Mikhailova O.S. et al. Effect of plasticizers on the physicomechanical properties of starch-based film materials. *Bulletin of Kazan Technological University*. 2013. vol. 16. no. 22. pp. 225. (in Russian).
- 19 Fadeeva I.V. et al. Films from partially cross-linked starch with calcium phosphates. *Advanced Materials*. 2016. no. 10. pp. 48–55. (in Russian).
- 20 Zakirova A.Sh., Manakhova T.N., Kanarsky A.V., Kanarskaya Z.A. Effect of enzymatic treatment of pea starch on the physicomechanical properties of biofilms. *Proceedings of VSUET*. 2013. no. 2 (56). pp. 187-190. doi: 10.20914/2310-1202-2013-2-187-190 (in Russian).

Сведения об авторах

Любовь Н. Студеникина к.т.н., доцент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lov-churkina@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

Игорь В. Коленко студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kolenko.igor.55@gmail.com

Вероника Е. Углова студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, veronika200312@gmail.com

Александр А. Мельников студент, кафедра промышленной экологии и техносферной безопасности, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, melnikov.shura@inbox.ru

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Lyubov N. Studenikina Cand. Sci. (Engin.), associate professor, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lov-churkina@ya.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6613-4974>

Igor V. Kolenko student, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kolenko.igor.55@gmail.com

Veronika E. Uglova student, Voronezh State University of Engineering Technologies, industrial ecology and technosphere safety department, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, veronika200312@gmail.com

Alexandr A. Melnikov student, industrial ecology and technosphere safety department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, melnikov.shura@inbox.ru

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 18/04/2024	После редакции 13/05/2024	Принята в печать 03/06/2024
Received 18/04/2024	Accepted in revised 13/05/2024	Accepted 03/06/2024

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: <http://vestnik.vsu.ru/>

Требования к оформлению материалов для журнала «Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий»

Редакция просит авторов в подготовке рукописей руководствоваться изложенными ниже правилами. Рукописи, оформленные без соблюдения данных правил, редакцией рассматриваться не будут.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РУКОПИСЕЙ И ЗАЯВЛЕНИЕ НА РАССМОТРЕНИЕ

Представление рукописи в журнал «ВЕСТНИК ВГУИТ» для печати предполагает, что:

- 1) описанная в ней работа ранее не была опубликована;
- 2) она не рассматривается для публикации в ином издательстве;
- 3) ее публикация была одобрена всеми авторами и так или иначе взаимосвязанными организациями, в которых эта работа проводилась;
- 4) в случае принятия к публикации эта статья не будет опубликована где-либо еще в той же форме, на английском или на любом другом языке, в том числе и в электронном виде.

Представление статьи проводят через официальный сайт издания путем прохождения регистрации (<http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/user/register>).

В состав электронной версии статьи должны входить:

1. Рукопись статьи оформленная строго в шаблоне редакции в формате Word 2007–2016. Word 2003 – **НЕ Принимается**
2. табличный материал в виде отдельного файла (**только при условии** когда объем одной таблицы превышает полную страницу журнальной статьи)
3. иллюстрации в **исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества)** предпочтение, при этом отдается векторным форматам: **eps, svg, ai, pdf**, растровый формат изображений (с сжатием): форматы **png, jpeg и пр.** не прикреплять. Минимальное разрешение рисунков и графиков **600 dpi**. Это требование необходимо для повышения типографского качества печатной версии издания.

Если авторов несколько, то необходимо указать автора, которому будет адресована корреспонденция, и его контактные данные: адрес, номер телефона/факса, а также адреса электронной почты всех авторов.

ВНИМАНИЕ: Авторы несут полную ответственность за достоверность и оригинальность информации, предоставленной в рукописи. Все рукописи проходят проверку на наличие заимствований в системе «Антиплагиат». Оригинальность рукописи должна быть не менее 80%, в противном случае рукопись будет возвращена без права опубликования. При обнаружении нарушения авторских прав или плагиата будет проведена ретракция опубликованных статей в соответствии с правилами СОРЕ.

ОФОРМЛЕНИЕ СТАТЬИ

Статьи в журнале «ВЕСТНИК ВГУИТ» издаются на русском языке с реферат на английском языке. По согласованию с редакцией допускается публикация статьи и на английском языке.

Вся статья (текст, таблицы, примечания, заголовки, иностранные вставки, список литературы, подрисуночные подписи и др.) набирается на компьютере в соответствии со стилями форматирования **шаблона журнала для MS Word 2007-2016**.

Версия статьи выполненная средствами MS Word 2003 **НЕ принимаются**.

Объем статьи, включая список литературы и подрисуночные подписи, не должен превышать: для работ, имеющих общее значение 5–20 страниц текста, для кратких сообщений до 3 стр.

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: <http://vestnik.vsuet.ru/>

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ СТАТЬИ

I. ОСНОВНОЙ ТЕКСТ СТАТЬИ

Рукописи оригинальных исследований представляются по общепринятой международной схеме (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) и в статье должны найти отражение следующие рубрики:

Введение - кратко излагается современное состояние вопроса и обосновывается актуальность исследования. Дается критическая оценка литературы, имеющей отношение к рассматриваемой проблеме. Данная оценка разграничивает нерешенные вопросы. Ставятся четко сформулированные цели и задачи, поясняющие дальнейшее исследование в конкретной области;

Материалы и методы - дается достаточно подробное описание работы, для ее возможного воспроизведения. Методы, опубликованные ранее, должны сопровождаться ссылками: автором описываются только относящиеся к теме изменения.

Результаты - описываются в логической последовательности в виде отдельных фрагментов, разделенных подзаголовками, без элементов обсуждения, без повторения методических подробностей, без дублирования цифровых данных, приведенных в таблицах и рисунках.

Обсуждение - в разделе проводится детальный анализ полученных данных в сопоставлении с данными литературы, что служит обоснованием выводов и заключений авторов.

Заключение - подводятся основные итоги работы, приводятся рекомендации и указание на дальнейшие возможные направления исследований.

Для обзорных статей должны быть указаны *Введение* и в соответствии со стандартом PRISMA указать стратегию поиска литературы (<http://www.prisma-statement.org>).

Таблицы объема больше одной страницы указывать как Приложение в виде отдельного файла, так как они не будут опубликованы в печатной версии, а будут прикладываться в виде отдельного файла к электронной версии.

Названия и содержание рисунков (все подписи внутри) и таблиц (столбцов и строк) должны быть приведены как на русском, так и на английском языках.

Графический материал представляется в исходном формате данных с возможностью редактирования (программах для черчения/рисования/создания диаграмм и прочее, ТО ЕСТЬ НЕ сохранен в формате с потерей качества) предпочтение, при этом отдается векторным форматам: eps, svg, ai, pdf, исключение фотографии в растровом формате (с сжатием): png, jpeg и пр. Минимальное разрешение рисунков и графиков 600 dpi.

Файлы Excel -- внедрены в текст статьи, с возможностью редактирования.

II. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

Список литературы оформляется согласно Приложению 1, 2.

Цитируемая литература должна содержать не менее 10 источников, и не менее 5 ссылок на иностранные источники. В списке литературы должны быть опубликованы работы за последние пять лет, в том числе в журналах, индексируемых в базах данных *ScienceDirect*, *Web of Science*, *Scopus*, *Science Index*. Лишь в случае необходимости допустимы ссылки на более ранние труды. Справочная литература не старше 10 лет.

В список литературы **НЕ включаются** учебные пособия, нормативные и архивные материалы, статистические сборники, газетные заметки без указания автора, монографии, авторефераты и диссертации. В цитируемой литературе желательно указывать источники с DOI.

Вместо ссылок на материалы диссертаций и авторефератов диссертаций, рекомендуется ссылаться на оригинальные статьи по теме диссертационной работы, так как сами диссертации рассматриваются как рукописи и не являются печатными источниками.

Самоцитирование **НЕ более** 2-х ссылок.

Приветствуется подача статей онлайн! Адрес: <http://vestnik.vsu.ru/>

III. ПУБЛИКАЦИОННАЯ ЭТИКА

Статьи, принимаемые к публикации в журнале «*ВЕСТНИК ВГУИТ*», должны излагать наиболее существенные, законченные и еще ранее неопубликованные результаты научных исследований.

О публикационной этике и этических нормах для публикации в журнале «*ВЕСТНИК ВГУИТ*» см.: <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/about/editorialPolicies#custom-2>

Журнал «Вестник ВГУИТ» выходит 4 раза в год: № 1 – март; № 2 – июнь; № 3 – сентябрь; № 4 – декабрь.

Статья должна быть тщательно проверена и подписана всеми авторами.

К статье должны прилагаться сопроводительные документы:

- сопроводительное письмо;
- экспертное заключение;
- положительная рецензия ведущего ученого в данной области или члена редакционной коллегии серии, заверенная подписью и печатью.

Вопрос об опубликовании статьи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала и ее решение является окончательным. В случае возвращения статьи для исправления датой представления считается день получения исправленного текста. Срок доработки - не более 1 месяца.

Материалы, не соответствующие данным требованиям оформления, к публикации не принимаются. Рукописи авторам не возвращаются.

Плата с аспирантов и докторантов за публикацию рукописей не взимается.

IV. КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Информацию о стоимости публикации можно узнать в редакции журнала. Также редакция оказывает платные услуги профессионального перевода реферата и ключевых слов на английский язык.

По всем интересующим Вас вопросам обращаться в редакцию журнала по контактам:

Дерканосова Анна Александровна - кандидат технических наук, доцент кафедры Сервиса и ресторанного бизнеса, начальник Центра коллективного пользования «Контроль и управления энергоэффективными проектами»

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Телефон: 8 920 432 16 57

E-mail: post@vestnik-vsuet.ru, aa-derk@yandex.ru

Адрес 394000, г. Воронеж, пр. Революции, 19, ауд. 11.

Соответствие рубрик/разделов журнала Вестник ВГУИТ

Номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.

1.1 Процессы и аппараты пищевых производств

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

1.2 Пищевая биотехнология

4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки)

2. Химическая технология

2.6.7. Технология неорганических веществ (технические науки)

2.6.7. Технология неорганических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (химические науки)

2.6.10. Технология органических веществ (технические науки)

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (химические науки)

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки)

2.6.12. Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ (технические науки)

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий (физикоматематические науки)

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Буянова И.В., Имангалиева Ж.К. Агрегат для тонкого измельчения творога // Вестник Международной академии холода. 2016. № 3. С. 23–26.

(кол-во авторов более 4):

Семенов Е.В., Бабакин Б.С., Воронин М.И., Белозёров А.Г. и др. Математическое моделирование процесса охлаждения хладоносителя системой замороженных шаров // Вестник Международной академии холода. 2016. № 4. С. 74–79.

СТАТЬЯ В ЖУРНАЛЕ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю. Закономерности ингибирования культуры *Salmonella* // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 209–212. doi: 10.20914/2310-1202-2018-4-209-212

(кол-во авторов более 4):

Шарова Н.Ю., Принцева А.А., Манжиева Б.С., Выборнова Т.В. и др. Ферменты гидролитического действия в технологиях переработки некондиционного крахмалсодержащего сырья // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ:

Содержание и технологии образования взрослых: проблема опережающего образования: сб. науч. тр. / Институт образования взрослых Рос. акад. образования; под ред. А.Е. Марона. М.: ИОВ, 2007. 118 с.

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ, ФОРУМОВ, СОВЕЩАНИЙ, СЕМИНАРОВ:

Цветкова И.И., Сводцева И.А. Индикаторный подход к оценке кадровой безопасности в системе экономической безопасности предприятия // Устойчивое развитие социально-экономической системы Российской Федерации: мат. XVII науч.-практ. конф., Гурзуф, Ялта, 04 декабря 2015 г. Симферополь: Ариал, 2016. С. 110–112.

КНИГА, МОНОГРАФИЯ:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Румянцева З.П. Менеджмент организаций. М.: Инфра-М, 2015. 432 с.

(кол-во авторов более 4):

Антипова Л.В., Сторублевцев С.А., Успенская М.Е., Попова Я.А. и др. Комплексная переработка кроликов: традиции и инновации: монография. Воронеж, 2017. 377 с.

ДИССЕРТАЦИЯ

Пономаренко Ю.А. Нетрадиционные корма и биологически активные вещества в рационах цыплят-бройлеров и кур-несушек: дис... д-ра с.-х. наук. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2017. 437 с.

АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ушакова А.С. Разработка комплексной технологии переработки сушеного плодово-ягодного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кемерово: Кемер. технол. ин-т пищевой пром., 2017. 22 с.

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ ДОКУМЕНТЫ:

порядок описания:

Заглавие официального документа: сведения, относящиеся к заглавию (указ, постановление), Дата принятия документа / Название издания. Год издания. Количество страниц.

пример:

ГОСТ 5900–2014. Изделия кондитерские. Определение массовой доли влаги и сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.

ПАТЕНТ:

порядок описания:

Обозначение вида документа, номер, название страны, индекс международной классификации изобретений. Название изобретения / И.О.Фамилия изобретателя, заявителя, патентовладельца; Наименование учреждения-заявителя. Регистрационный номер заявки; Дата подачи; Дата публикации, сведения о публикуемом документе.

пример:

Пат. № 2689672, RU, A23L 5/00. Способ комплексной переработки семян сои с выделением белоксодержащих фракций / Четверикова И.В., Шевцов А.А., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. № 2018107149; Заявл. 26.02.2018; Оpubл. 01.07.2019. Бюл. № 19.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (если указаны). Название ресурса. Место издания: Издательство, год издания (если указаны). Адрес локального сетевого ресурса.

пример:

Лапидус Л.В. Центр компетенций цифровой экономики. Ассоциация граждан и организаций по содействию развитию корпоративного образования. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

ПОРЯДОК ОПИСАНИЯ ССЫЛОК НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ:

СТАТЬЯ ИЗ ЖУРНАЛА:

порядок описания:

Фамилия И.О. автора (транслитерация). Перевод названия статьи на английский. Перевод названия источника на английский язык. Год, том, номер, страницы (от-до). Указание на язык статьи (in Russian) после описания статьи.

пример:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

СТАТЬЯ С DOI:

(кол-во авторов от 1 до 4):

Pyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

СТАТЬЯ ИЗ ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/>

СТАТЬЯ ИЗ ПРОДОЛЖАЮЩЕГОСЯ ИЗДАНИЯ (СБОРНИКА ТРУДОВ):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИЙ:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

КНИГИ (МОНОГРАФИИ, СБОРНИКИ):

(кол-во авторов от 1 до 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(кол-во авторов более 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

ДИССЕРТАЦИЯ ИЛИ АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

ГОСТ:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

ПАТЕНТ:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕСУРС:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/> (in Russian).

List of requirements of drawing up materials in «Proceedings of the Voronezh state university of engineering technologies»

Editorial Board asks the authors to stick to the following rules in writing the papers, otherwise they may be rejected. Submitting the manuscripts for the review.

Submitting the article for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" includes: the paper has not been previously published; it is not being considered for publication in another publishing house; its publication has been approved by all authors and interlinked organizations in which this work was carried out; in case of the approval for publication the paper will not be published elsewhere in the same form, in English or any other language, including electronic form.

Submission form (application) for the publication of an article in a journal, filled up in accordance with the rules, should be sent to the following address: **19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia** and the electronic version of the paper with an attached manuscript file to an e-mail address vestnikvgt@mail.ru. Should specify the name of the first author of the article in the subject.

The electronic version of the paper should include: a file containing the text of the article, illustrations, tabular material in a separate file (if the amount of one table exceeds full page) and illustration (files in original format), preference is given to vector formats: eps, svg, ai, pdf.

If there are several authors, you must specify contact details of the authors to whom correspondence shall be addressed: address, phone / fax numbers and e-mail addresses.

The manuscript must be accompanied by a review from a specialist in this field, certified by signature and stamp.

Online application form is also available. The author can use the official website of the journal by completing registration at <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/user/register>.

All articles received by the editorial board of the journal "Proceedings of the VSUET", are subject to mandatory unilateral anonymous ("blind") review (the authors do not know the names of reviewers of the manuscript, and will receive a letter with comments, signed by the chief editor).

After passing the review procedure and the approval of an article for publication, the authors' names and their listed order cannot be changed (addition, deletion, rearrangement). When submitting the final version of the article, please make sure that the list of authors is a complete and listed in a proper order.

ATTENTION: The author is solely responsible for the accuracy and originality of the information provided in the article. All manuscripts are checked for the presence of borrowings using "AntiPlagiat" system. All manuscripts are tested with ANTIPLAGIAT for testing electronic documents for originality and reveal plagiarisms. The manuscript must comprise at least 80% of originality; otherwise the manuscript will be returned without the right to be published. Upon detection of copyright infringement or plagiarism in already published articles, they will be invalidated in accordance with the rules of COPE.

Requirements for structure of the paper

Articles in the journal "Proceedings of the VSUET" are published in Russian with English summary. In agreement with the editors, the publication may be done entirely in English.

By agreement, the editors accept publication of the article in English.

Full article (tables, text, footnotes, headers, inserts in a foreign language, references, captions, etc..) must be typed on a computer: in accordance with journal template formatting styles for MS Word 2007-2016..

The volume of the article, including references and captions must not exceed: for work of a common significance: from 5 to 20 pages, for news reports to 3 pages.

The manuscript should be structured to the following plan:

- *Type of article (original article, review article, short message or letter);*
- *UDC (Universal Decimal classification);*
- *DOI - numeric identifier (provided by the editors available for an extra fee);*
- *Full title of the article;*

- *First name (full), patronymic name (initials) and surname (full) of the author (s) e-mail;*
- *Name of the department (for a university) / laboratory (for Scientific Research Institute), the full name of the workplace, city, country;*
- *Abstract;*
- *Keywords;*
- *For reference (filled automatically);*
- *Structured text of the article;*
- *Thanks / acknowledgements;*
- *List of resources used (bibliography);*
- *Information about the authors;*
- *Contribution;*
- *Conflict of interest.*

The English version of the article title, first name, patronymic initial and last name of the authors, the full names of all workplaces, structured summaries and keywords must be given below a resume and keywords in Russian.

The editors reserve the right to correct the translation. It is recommended to take the help of a professional translator to avoid mistakes in compiling the English version of resume.

REQUIREMENTS TO THE CONTENT

I THE TITLE PAGE INCLUDES:

Article type

UDK

DOI:

TITLE OF THE ARTICLE. Title of work should be as short as possible (no more than 120 characters), and should accurately reflect its content. It is important to avoid titles in the form of interrogative sentences, as well as titles with an ambiguous meaning. Must use only standard abbreviations (acronyms). Must not use acronyms in the title. Full term should precede the first use of the acronym in the text.

FIRST NAME (FULL), PATRONYMIC (INITIAL) AND SURNAME (FULL) OF AUTHOR (S).

For example: **Aleksey D. Ivanov¹,**

Ivan A. Petrov²

FULL NAME OF ALL ORGANIZATIONS to which the authors are related. If the authors work in different institutions, the relationship of each author with his organization should be shown by using uppercase numbers, for example:

Example: Department (Laboratory), University (scientific research institute), city, country.

II. THE MAIN TEXT OF THE ARTICLE

The manuscripts of original research are submitted under the standard international scheme (IMRAD format - Introduction, Methods, Results and Discussion) and article should reflect the following headings:

Introduction - outlines the current state of the problem and the urgency of the study. It is necessary to give a critical assessment of the literature related to the issue. This assessment differentiates outstanding issues. Clear defined goals and objectives must be determined, explaining further research in a particular area;

Materials and methods - a fairly detailed description of the work is given. Previously published methods should be accompanied by a reference note: the author describes the changes related to the subject.

The results and discussion - the results should be clear and concise. Give a convincing explanation of the results and their significance so as the reader can not only independently assess the methodological advantages and disadvantages of the study, but also replicate if necessary.

Conclusion summarizes the main results of the research. The author gives recommendations and guidance on possible areas of further research.

The name and contents of figures and tables (rows and columns) should be given as in both Russian and English languages.

III ACKNOWLEDGEMENTS:

(when available - in Russian and English). The author should list persons, organizations, foundations, etc., who contributed help for a research, work and so on. (E.g. financial aid, language (linguistic) aid assistance in writing articles or editing proofreading , etc.)

IV. REFERENCES

Cited bibliography must contain at least 10 sources. Self-citations are allowed no more than 20 percent. At least 50 percent of the sources from the bibliography should be published in the last five years, including in the journals indexed in databases *ScienceDirect*, *Web of Science*, *Scopus*, *Science Index*. Only in case of need the references to earlier works are allowed. The bibliography does not include textbooks, regulatory and archival materials, statistical collections, newspaper notes without the author's name, monographs, abstracts and theses. In the cited literature, it is desirable to specify the sources with **DOI**.

Bibliography (list of resources) is presented in two ways:

1. *Russian along with foreign sources in accordance with GOST 7.0.5-2008 (All Union State standard).*
2. *Transliterated in the Latin alphabet with the translation of source publications into English for the international identification system.*

Style of links (references):

In the article, the number of a link is enclosed in square brackets and placed in line with the text. You can give the names of the authors, but the number(s) of the references must always be present. The reference numbers (numbers in brackets) shall be in the reference list in the order in which they appear in text.

Example:

«... as shown [3; 6] or Barnaby and Jones [8] obtained a different result ... »

The author is solely responsible for the accuracy of bibliographic sources, including the English translation.

1. Russian version - in accordance with *Appendix 1, 2*

References in the Russian version of the article are given in the original language. All references should be made uniformly: only a dot (full stop) without dashes between the parts of description. Symbols № and & are not used; for a number you should use Latin letter N with no point after it; double slash separates the description of a larger document, which refers to the fragment. You should not put dot (full stop) before the double slash // but spaces before and after the double slash // are required.

2. The English (REFERENCES) - in accordance with Harvard standard:

References in English are primarily necessary to track cited authors and journals. The correct description of the sources used in reference lists is the guarantee that the quoted publication will be taken into account when assessing the scientific work of its authors, and thus the organization, region and country. Quoting a journal determines its scientific level, the credibility, the effectiveness of its Editorial Board, etc.

The names of sources and works are specified in full, without abbreviations. The titles of monographs, collections of articles and conferences are transliterated into Latin alphabet, followed by an English translation in brackets. The website <http://www.translit.ru/> can be used for free transliteration of Russian text in Latin letters (version of BSI).

In the bibliography (**English version**), it is not allowed to use separating characters «//», «-» and «№»

Instead of references to materials of theses and abstracts, it is recommended to include references to the original articles on the subject of the thesis, as the theses themselves are viewed as the manuscripts and are not printed sources.

VI. BASIC ETHICAL PRINCIPLES

Articles accepted for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" must reveal the most significant, complete and previously unpublished research results.

To learn more on publication ethics and ethical standards for publication in the journal "Proceedings of the VSUET" please visit the website.: <http://www.vestnik-vsuet.ru/vguit/about/editorialPolicies#custom-2>

The magazine «the Messenger ВГУИТ» leaves 4 times a year: № 1 – March; № 2 – June; № 3 – September; № 4 – December.

The article must be thoroughly checked and signed by all the authors. Name, middle name, last name, address, science degree, position, place of work, telephone number (office and home) E-mail, the person communicate to are pointed out on a separate sheet of paper.

Accompanying deeds should be applied on paper:

- The transmittal letter;
- An extract from the report of faculty meeting with paper recommendation for printing;
- The positive review of the leading scientist in the given area or a member of an editorial board of the series, authenticated by the signature and printing.

The question on paper publication, its deviation is solved by an editorial board of the log and ee the solution is definitive. In case of refund of paper for correction by representation date it is considered day of reception of the corrected text. Finishing term - no more than 1 month.

The materials mismatching given demands of registration, to the publication are not accepted. Manuscripts are not refunded to authors.

The pay for the publication of manuscripts is not raised from post-graduate students

VII. CONTACT INFORMATION

scientific and public journal "Proceedings of the VSUET"

If you have any questions, please contact the editorial office:

Anna A. Derkanosova - Ph.D., associate professor of department of Service and restaurant business, Head of the Centre for collective use "Control and management of energy efficient projects"

FSBEE HE "Voronezh state university of engineering technologies"

Tel.: 8 920 432 16 57

E-mail: vestnikvgta@mail.ru, aa-derk@yandex.ru

Address: 19, Revolution av., 11 Voronezh 394000 Russia

ORDER OF DESCRIPTION OF LINKS IN RUSSIAN

JOURNAL ARTICLE:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 3. P. 23–26.

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls // Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. № 4. P. 74–79.

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of *Salmonella* Culture // Bulletin of the Voronezh State University. 2018. V. 80. № 4. P. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials // Food Industry. 2019. № 4. P. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058

COLLECTION OF SCIENTIFIC PAPERS:

The content and technology of adult education: the problem of advanced education: collection of scientific papers / Institute for Adult Education Ros. Acad. education; under the editorship of A.E. Marona. M.: JOB, 2007. 118 p.

MATERIALS OF CONFERENCES, FORUMS, MEETINGS, SEMINARS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise // Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation: mat. XVII scientific and practical. conf., Gurzuf, Yalta, December 4, 2015. Simferopol: Arial, 2016. P. 110–112.

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations. M.: Infra-M, 2015. 432 p.

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storulevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Y.A. et al. Integrated processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p.

DISSERTATION:

Ponomarenko Yu.A. Unconventional feeds and biologically active substances in the diets of broilers and laying hens: dis ... Dr. S.-kh. sciences. Sergiev Posad: VNITIP, 2017. 443 p.

SUMMARY OF THE DISSERTATION

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials: abstract of the diss....cand. tech. sciences. Kemerovo: Kemer. technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p.

REGULATORY DOCUMENTS:

description order:

Title of an official document: information related to the title (decree, resolution), Date of adoption of the document / Title of publication. The year of publishing. Number of pages.

example:

GOST 5900–2014. Confectionery. Determination of the mass fraction of moisture and solids. M.: Standartinform, 2015. 8 p.

PATENT:

description order:

Designation of the type of document, number, name of the country, index of international classification of inventions. Title of invention / name of inventor, applicant, patent holder; Name of applicant institution. Registration number of the application; Date of application; Date of publication, information about the published document.

example:

7 Pat. no. 2689672, RU, A23L 5/00. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions / Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. no. 2018107149; Appl. 26.02.2018; Publ. 01.07.2019. Bull. Number 19.

ELECTRONIC RESOURCE:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. URL: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/>

ENGLISH LANGUAGE DESCRIPTION PROCEDURE:**JOURNAL ARTICLE:**

description order:

Surname I.O. author (transliteration). Translation of the title of the article into English. Translation of the source name into English. Year, volume, number, pages (from-to). An indication of the language of the article (in Russian) after the description of the article.

example:

(number of authors from 1 to 4):

Buyanova I.V., Imangalieva Zh.K. A unit for fine grinding of cottage cheese. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 3. pp. 23–26. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Semenov E.V., Babakin B.S., Voronin M.I., Belozerov A.G. et al. Mathematical modeling of the process of cooling a coolant with a system of frozen balls. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2016. no. 4. pp. 74–79. (in Russian).

ARTICLE WITH DOI:

(number of authors from 1 to 4):

Ilyukhina N.V., Kolokolova A.Yu. Patterns of Inhibition of Salmonella Culture. Bulletin of the Voronezh State University. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 209–212. doi: 10.20914 / 2310-1202-2018-4-209-212 (in Russian).

(number of authors more than 4):

Sharova N.Yu., Printseva A.A., Manzhieva B.S., Vybornova T.V. et al. Hydrolytic enzymes in the processing of substandard starch-containing raw materials. Food Industry. 2019. no. 4. pp. 115–117. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10058 (in Russian).

ARTICLE FROM ELECTRONIC JOURNAL:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P. Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange. Journal of Computer Mediated Communication. 1999. vol. 5. no. 2. Available at: <http://www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/>

ARTICLE FROM CONTINUING PUBLICATIONS (PROCEEDINGS):

Astakhov M.V., Tagantsev T.V. Experimental study of the strength of joints “steel-composite”. Proc. of the Bauman MSTU “Mathematical Modeling of Complex Technical Systems”. 2006. no. 593. pp. 125–130. (in Russian).

CONFERENCE MATERIALS:

Tsvetkova I.I., Svodtseva I.A. An indicator approach to the assessment of personnel security in the system of economic security of an enterprise. Sustainable development of the socio-economic system of the Russian Federation. Simferopol, Arial, 2016. pp. 110–112. (in Russian).

BOOK, MONOGRAPH:

(number of authors from 1 to 4):

Rumyantseva Z.P. Management of organizations: a monograph. Moscow, Infra-M, 2015. 432 p. (in Russian).

(number of authors more than 4):

Antipova L.V., Storublevtsev S.A., Uspenskaya M.E., Popova Ya.A. et al. Complex processing of rabbits: traditions and innovations: a monograph. Voronezh, 2017. 377 p. (in Russian).

DISSERTATION OR SUMMARY OF THE DISSERTATION:

Ushakova A.S. Development of a comprehensive technology for processing dried fruit and berry raw materials. Kemerovo, Kemer. Technol. Institute of Food Industry, 2017. 22 p. (in Russian).

GOST:

State Standard 5900–2014. Confectionery products. Determination of the mass fraction of moisture and dry matter. Moscow, Standartinform, 2015. 8 p. (in Russian).

PATENT:

Chetverikova I.V., Shevtsov A.A., Tkach V.V., Serdyukova N.A. The method of complex processing of soybean seeds with the allocation of protein-containing fractions. Patent RF, no. 2689672, 2019.

ELECTRONIC RESOURCE:

Lapidus L.V. Center of competence of digital economy. Association of citizens and organizations for the development of corporate education. Available at: <http://www.makonews.ru/centr-kompetencij-cifrovoj-ekonomiki/> (in Russian).