

Volume 5, Issue 2, 2022

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
FOOD SYSTEMS

FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS
FOOD SYSTEMS

ISSN 2618-9771 (Print)

ISSN 2618-7272 (On line)

<http://www.fsjour.com>

Национальный, рецензируемый журнал посвящен основным проблемам науки о пищевой промышленности. Основной миссией является: создание, агрегация, поддержка и распространение научного контента в области пищевой промышленности, объединение усилий исследователей научных центров, университетов, преодоление разрыва между изданиями регионального, национального и федерального уровней. Журнал призван освещать актуальные проблемы в пищевой и смежных отраслях, продвигать новые перспективные технологии в широкую аудиторию научных и практических работников, преподавателей, аспирантов, студентов, предпринимателей. Научная концепция издания предполагает публикацию новых знаний в области пищевых систем и научных основ ресурсосберегающих технологий глубокой переработки сельскохозяйственного сырья, прорывных технических решений для производства пищевых продуктов общего и специализированного назначения. В журнале публикуются научные и обзорные статьи, доклады, сообщения, рецензии, краткие научные сообщения (письма в редакцию), информационные публикации по направлениям: технология пищевых производств; процессы, оборудование и аппараты пищевых производств; гигиена питания; биотехнология; стандартизация, сертификация, качество и безопасность; экономика; автоматизация и информатизация технологических процессов. Подробная информация для авторов и читателей представлена на сайте: www.fsjour.com.

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Федеральный научный центр
пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ
www.fsjour.com

Учредитель, издатель и типография
Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный
центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
109316, Москва, Талалихина, 26

РЕДАКЦИЯ

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение «Федеральный научный центр
пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
109316, Москва, Талалихина, 26
Тел.: +7-495-676-95-11, доб. 300
e-mail: a.zakharov@fncps.ru

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре

Регистрационные данные:
ПИ № ФС77-71610 от 13.11.2017
ЭЛ № ФС 77-72022 от 26.12.2017
Издается с 2018 года.

Материалы публикуются на условиях лицензии CC BY 4.0
Цена свободная.

Периодичность — 4 номера в год.
Подписано в печать 28.06.2022.
Дата выхода в свет 30.06.2022.
Тираж 300 экз. Заказ № 413.



ISSN 2618-9771 (Print)
ISSN 2618-7272 (Online)
DOI-prefix: 10.21323/2618-9771

© ФНЦПС, 2022
© Авторы, 2022

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

Кузнецова Оксана Александровна — Доктор технических наук, Директор, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия,

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Лисицын Андрей Борисович — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники, Научный руководитель, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Семенова Анастасия Артуровна — Доктор технических наук, профессор, Заместитель директора, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ:

Горлов Иван Федорович — Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик РАН, Научный руководитель, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции», Волгоград, Россия

Замаратская Галия — Кандидат технических наук, доцент, Научный работник, Шведский университет аграрных наук, г. Упсала, Швеция

Настасиевич Иван — Доктор, Адъюнкт-директор, Институт гигиены и технологии мяса, Белград, Сербия

Такеда Широ — Адъюнкт-профессор, Профессор лаборатории науки о пище, Институт ветеринарной медицины, Университет Азабу, Сагамихара, Япония

Просекоев Александр Юрьевич — Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Ректор, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Горбунова Наталия Анатольевна — Кандидат технических наук, Ученый секретарь, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

ВЫПУСКАЮЩИЙ РЕДАКТОР:

Захаров Александр Николаевич — Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Заведующий редакционно-издательским отделом, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, РАН, Москва, Россия

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Абрамова Любовь Сергеевна — Доктор технических наук, профессор, Заместитель директора Департамента, Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва, Россия

Баженова Баяна Анатольевна — Доктор технических наук, профессор, Профессор кафедры «Технология мясных и консервированных продуктов», Восточно-Сибирский университет технологии и управления», Улан-Удэ, Россия

Галстян Арам Генрихович — Доктор, технических наук, академик РАН, Директор, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности РАН, Москва, Россия

Донник Ирина Михайловна — Доктор биологических наук, профессор, Академик РАН, Вице-президент РАН, Москва, Россия

Евдокимов Иван Алексеевич — доктор технических наук, профессор, Заведующий кафедрой «Технология молока и молочных продуктов» Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

Иванкин Андрей Николаевич — Доктор химических наук, профессор, Заведующий кафедрой «Химия», Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Мытищи, Московская область, Россия

Кочеткова Алла Алексеевна — Доктор технических наук, профессор, Руководитель лаборатории пищевых биотехнологий и специализированных продуктов, Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

Машенцева Наталья Геннадиевна — Доктор технических наук, доцент, профессор РАН, профессор, кафедра «Биотехнология и технология продуктов биорганосинтеза» Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

Мирошников Сергей Александрович — Доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН, Ректор, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия

Римарева Любовь Вячеславовна — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии — филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

Петров Андрей Николаевич — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Директор, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Видное, Московская область, Россия

Ребзов Максим Борисович — Доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Главный научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

Чернуха Ирина Михайловна — Доктор технических наук, профессор, Академик РАН, Заведующий отделом, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия

The national peer reviewed journal is dedicated to the main problems of food science. The main mission is to create, aggregate, support and distribute the scientific content in the field of the food industry, join the efforts of researchers from scientific centers and universities, bridge the gap between publications at the regional, national and federal levels. The journal serves to highlight topical problems in the food and related industries, promote new promising technologies among the wide audience of scientific and practical professionals, lecturers, students, postgraduate students and entrepreneurs. The scientific concept of the journal envisages publication of new knowledge in the field of food systems and scientific foundations of the resource saving technologies for deep processing of agricultural raw materials, breakthrough technical solutions for producing food of general and specialized purpose. The journal publishes scientific and review papers, reports, communications, critical reviews, short scientific communications (letters to the editorial office), information materials concerned with food technology, processes, equipment and apparatus for food production, nutritional hygiene, biotechnology, standardization, certification, quality and safety, economics, automation and informatization of technological processes. The detailed information is given on the site: www.fsjour.com.

**Minister of Science and Higher Education
of the Russian Federation**

**V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food
Systems of Russian Academy of Sciences
(Gorbatov Research Center for Food Systems)**

FOOD SYSTEMS
www.fsjour.com

**Founder, Publisher and Printing Office:
Federal State Budgetary Scientific Institution
“V.M. Gorbatov Federal Research Center
for Food Systems of Russian Academy of Sciences”
Talalikhina str. 26, Moscow, Russia, 109316**

EDITORIAL OFFICE:

Federal State Budgetary Scientific Institution
“V.M. Gorbatov Federal Research Center
for Food Systems of Russian Academy of Sciences”
Talalikhina str. 26, Moscow, Russia, 109316
Tel.: +7-495-676-95-11 extension 300
e-mail: a.zakharov@fncps.ru

The Journal is registered in the Federal Service on Supervision
in the sphere of communication industry, information
technologies and public communications.

The certificate of registration is
PI № FS 77 – 71610 of 13.11.2017
EL № FS 77 – 72022 of 26.12.2017
Founded in 2018.

This work is licensed under a
Creative Commons Attribution 4.0 License
Free price.

Frequency — 4 issues a year.

Signed print 28.03.2022.

Released from press 30.03.2022.

Circulation — 300 copies. Order № 413.



ISSN 2618-9771 (Print)

ISSN 2618-7272 (Online)

DOI-prefix: 10.21323/2618-9771

© FNCPS, 2022

© Authors, 2022

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF:

Oxana A. Kuznetsova, Doctor of technical sciences, Director, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Andrey B. Lisitsyn, Doctor of technical sciences, Professor, Academician of RAS, Scientific supervisor, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Anastasiya A. Semenova, Doctor of technical sciences, Professor, Deputy Director, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

SCIENTIFIC EDITORS:

Ivan F. Gorlov, Doctor of agricultural sciences, Professor, Academician of RAS, Scientific supervisor of Povolzhskiy Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia

Galia Zamaratskaya, Candidate of technical sciences, Docent, Research Worker, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden

Ivan Nastasijevic, Doctor, Associate Director, Institute of Meat Hygiene and Technology, Belgrad, Serbia

Takeda Shiro, Associate Professor, Laboratory of Food Science School of Veterinary Medicine, Azabu University, Sagami-hara, Japan

Aleksandr Yu. Prosekov, Doctor of technical sciences, Professor, Corresponding member of RAS, Rector, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Natalia A. Gorbunova, Candidate of technical sciences, Academic Secretary, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

PRODUCTION EDITOR:

Aleksandr N. Zakharov, Candidate of technical sciences, Senior research worker, Head of the Department of Editorial and Publishing, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Liubov S. Abramova, Doctor of technical sciences, Professor, Deputy Director of the Department, Russian Federation Research Institute of Fishery and Oceanography, Moscow, Russia

Baiana A. Bazhenova, Doctor of technical sciences, Professor, Professor of the chair «Meat and canned product technology» of East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

Aram G. Galstyan, Doctor of technical sciences, Academician of RAS, Director, All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia

Irina M. Donnik, Doctor of biological sciences, Professor, Academician of RAS, Vice president of RAS, Moscow, Russia

Ivan A. Evdokimov, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the chair “Technology of milk and dairy products”, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Andrey N. Ivankin, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Head of the chair of Chemistry, Mytishchi branch of Bauman Moscow State Technical University, Mytishchi, Moscow region, Russia

Alla A. Kochetkova, Doctor of technical sciences, Professor, Head of the «Laboratory of food biotechnologies and specialized products», Federal Research Centre of nutrition, biotechnology and food safety, Moscow, Russia

Natal'ya G. Mashentseva, Doctor of technical sciences, Professor RAS, Professor, Chair of Biotechnology and Technology of Products of Bioorganic Synthesis, Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

Sergey A. Miroshnikov, Doctor of biological sciences, Professor, Corresponding member of RAS, Rector, Orenburg State University, Orenburg, Russia

Liubov V. Rimareva, Doctor of technical sciences, Professor, Academician of RAS, Chief Researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology — branch Federal Research Centre of nutrition, biotechnology and food safety, Moscow, Russia

Andrey N. Petrov, Doctor of technical sciences, Professor, Academician of RAS, Director, All-Russian Research Institute of Canning Technology — Branch of V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Vidnoe, Moscow region, Russia

Maxim B. Rebezov, Doctor of agricultural sciences, Professor, Chief Researcher, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Irina M. Chernukha, Doctor of technical sciences, Professor, Academician of RAS, Head of the Department, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

СОДЕРЖАНИЕ

Фомина Т. А., Кулешова М. Г., Минаев М. Ю., Конов Е. А. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВИДОВ РЫБЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ СЕКВЕНИРОВАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ (NGS)	80
Igor T. Smykov MILK CURD SELF-SEGMENTATION IN CHEESEMAKING TANK	94
Ульрих Е. В., Верхотуров В. В. ОСОБЕННОСТИ ФУД-ДИЗАЙНА НА 3D-ПРИНТЕРЕ. ОБЗОР	100
Панкратов Г. Н., Мелешкина Е. П., Витол И. С., Кечкин И. А., Коломиец С. Н. БЕЛКОВО-ЖИРОВОЙ КОНЦЕНТРАТ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ.	107
Симоненко Е. С., Купаева Н. В., Симоненко С. В., Мануйлов Б. М. ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА НА ОСНОВЕ КОБЫЛЬЕГО МОЛОКА.	114
Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В., Ульянова Е. В., Моисеева А. А., Томгорова С. М. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФРУКТОВЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ.	121
Мазукабзова Э. В., Зайцева Л. В. ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ, РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ГЛАЗУРИ С ПОРОШКОМ ИЗ СВЕКЛЫ	132
Закладной Г. А., Яицких А. В., Степаненко Д. С. ФОРМИРОВАНИЕ В ЗЕРНЕ МОЧЕВОЙ КИСЛОТЫ, ПРОДУЦИРУЕМОЙ ЗЕРНОВЫМ ТОЧИЛЬЩИКОМ <i>RHIZOPERTHA DOMINICA (F.)</i>	139
Кузьмина Е. И., Егорова О. С., Акбулатова Д. Р., Свиридов Д. А., Ганин М. Ю., Шилкин А. А. НОВЫЕ ВИДЫ САХАРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ	145
Купаева Н. В., Ильина М. А., Светличная М. В., Зубарев Ю. Н. ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОВСЯНЫХ НАПИТКОВ, ОБОГАЩЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ.	157
Dmitriy S. Myagkonosov, Igor T. Smykov, Dmitriy V. Abramov, Irina N. Delitskaya, Valentina N. Krayushkina EFFECT OF THE RECOMBINANT CHYMOSINS OF DIFFERENT ORIGINS ON PRODUCTION PROCESS OF SOFT CHEESE	164

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-80-93>

Поступила 29.03.2022

Поступила после рецензирования 20.04.2022

Принята в печать 29.04.2022

© Фомина Т. А., Кулешова М. Г., Минаев М. Ю., Коноров Е. А., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВИДОВ РЫБЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ СЕКВЕНИРОВАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ (NGS)

Фомина Т. А.^{1,2}, Кулешова М. Г.^{1,2}, Минаев М. Ю.^{*1}, Коноров Е. А.¹

¹ Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Россия, Москва

² Национальный центр безопасности продукции водного промысла и аквакультуры, Россия, Москва

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

видовой состав, идентификация рыб, ДНК, молекулярная диагностика, секвенирование NGS, ПЦР

АННОТАЦИЯ

Законы о маркировке рыбы и рыбной продукции, требующие указывать информацию о видовой принадлежности рыбы, есть во многих странах мира. Данные правила обусловлены высоким ростом количества случаев экономического мошенничества в области производства и оборота рыбных продуктов. Распространенными способами мошенничества являются подмена и неправильная маркировка продукта, что подтверждается многочисленными исследованиями. Анализ научных работ показал, что применение неправильной маркировки при производстве рыбных продуктов в разных странах встречается в 30–70% случаев. Для их предотвращения имеющегося законодательства о прослеживаемости пищевых продуктов недостаточно, что указывает на необходимость принятия строгих мер контроля, обеспечивающих эффективную видовую идентификацию рыбы и рыбопродуктов. В настоящее время для идентификации их видовой принадлежности используют различные лабораторные тесты, главным образом основанные на анализе уникальных профилей ДНК, которые обнаружены у различных видов. В данной работе представлен метод определения видовой принадлежности рыб с использованием секвенирования нового поколения (NGS). Технология секвенирования NGS является передовой в области контроля качества рыбной продукции, особенно для идентификации видов рыб в многокомпонентной продукции, в которой помимо целевой ДНК присутствуют и фрагменты ДНК других видов. Секвенирование NGS проводили на платформе Ion Torrent Ion GeneStudio S5 System, были проанализированы двадцать образцов, 17 коммерческих образцов и 3 приготовленных опытных образца, состоящих их смеси двух и более видов. Были подобраны и подготовлены универсальные праймеры, способные амплифицировать фрагмент 16S rRNA промысловых видов рыб. В целом в ходе анализа была идентифицирована ДНК 11 семейств, 15 родов и 16 видов. Полученный результат секвенирования NGS 17 коммерческих образцов подтверждал результаты идентификации другими молекулярно-диагностическими методами, была выявлена неправильная маркировка в 4 образцах. В 3 опытных образцах были идентифицированы все виды рыб, входящих в их состав. Была произведена оценка возможных причин замены рыбы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2019–0001 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

БЛАГОДАРНОСТЬ: Авторы выражают благодарность сотрудникам испытательной референс-лаборатории Национального центра безопасности продукции водного промысла и аквакультуры за предоставление материально-технической базы для выполнения испытаний, описанных в данной работе.

Received 29.03.2022

Accepted in revised 20.04.2022

Accepted for publication 29.04.2022

© Fomina T. A., Kuleshova M. G., Minaev M. Yu., Konorov E. A., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

IDENTIFICATION OF FISH SPECIES USING THE NEXT GENERATION SEQUENCING (NGS) TECHNOLOGY

Tatyana A. Fomina^{1,2}, Mariya G. Kuleshova^{1,2}, Mihail Yu. Minaev^{*1}, Evgeniy A. Konorov¹

¹ V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

² National Centre for Safety of Aquatic Fisheries Products and Aquaculture, Moscow, Russia

KEY WORDS:

species composition, fish identification, DNA, molecular diagnostics, next generation sequencing (NGS), PCR

ABSTRACT

The laws relating to fish and fishery product labeling that require indication of the information about fish species exist in many world countries. These rules are conditioned by a significant growth in the number of the economic fraud cases in the field of production and trade of fishery products. The widespread ways of fraud are replacement and mislabeling of a product as confirmed by many studies. Analysis of scientific works shows that mislabeling in fishery product manufacture occurs in 30–70% of cases in different countries. The existing legislation about food traceability is insufficient for their prevention, which suggests a necessity of taking strict control measures ensuring effective species identification of fish and fishery products. At present, various laboratory tests are used for their species identification. They are based, mainly, on analysis of unique DNA profiles found in different species. In this work, we present the method for detection of fish species using next generation sequencing (NGS). NGS is an advanced technology in the field of quality control of fishery products, especially for fish species identification

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Фомина, Т. А., Кулешова, М. Г., Минаев, М. Ю., Коноров, Е. А. (2022). Идентификация видов рыбы с помощью технологии секвенирования нового поколения (NGS). *Пищевые системы*, 5(2), 80–93. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-80-93>

FOR CITATION: Fomina, T. A., Kuleshova, M. G., Minaev, M. Yu., Konorov, E. A. (2022). Identification of fish species using the next generation sequencing (NGS) technology. *Food systems*, 5(2), 80–93. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-80-93>

in multicomponent products, which contain DNA fragments of other species besides the target DNA. NGS was carried out on the platform Ion Torrent Ion GeneStudio S5 System. Twenty samples were analyzed: 17 commercial samples and three prepared experimental samples consisted of the mixture of two and more species. The universal primers, which were able to amplify the fragment 16S rRNA of the commercial fish species, were selected and prepared. In general, DNA of 11 families, 15 genera and 16 species was identified in the course of the analysis. The obtained result of NGS of 17 commercial samples confirmed the results of identification by other molecular diagnostic methods. Mislabeling was revealed in four samples. In three samples, all fish species present in the composition were identified. Possible reasons for fish replacement were assessed.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS-2019–0001 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors thank the testing reference laboratory of the National Centre for Safety of Aquatic Fisheries Products and Aquaculture for provision of the material and technical base to perform investigations described in this work.

1. Введение

В настоящее время потребители уделяют все больше внимания вопросам качества и безопасности пищевых продуктов. Научная коммуникация через средства массовой информации увеличивает знания потребителей и в то же время приводит к подозрительному отношению к науке и, в частности, биотехнологиям [1].

Потребители восприимчивы к любым формам изменения пищевых продуктов, которые могут произойти во время стандартных производственных процессов, чаще всего они обращают внимание на пищевые ингредиенты в случае наличия диетических требований к питанию или медицинских показаний. В силу этих причин потребитель становится все более и более требовательным к качеству пищевых продуктов, в частности к прослеживаемости и использованию подробных этикеток продуктов [1].

Разные государства имеют свои национальные руководящие принципы производства и сохранения пищевых продуктов, а также безопасного их употребления. Так, например, международная сеть органов власти по безопасности пищевых продуктов (ИНФОСАН), которая была создана Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) в сотрудничестве с Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций (ФАО) в целях содействия обмену информацией о безопасности пищевых продуктов и для совершенствования сотрудничества между органами по безопасности пищевых продуктов в 2006 году представила информационную записку, в которой было отмечено, что пищевые аллергии являются важными проблемами здравоохранения [2,3]. В данной информационной записке были представлены ответы на самые важные вопросы, в том числе и на вопрос «Какие пищевые продукты могут вызывать аллергию?». Комитет по маркировке пищевых продуктов Комиссии «Кодекс Алиментариус» (Международная комиссия ФАО/ВОЗ по внедрению кодекса стандартов и правил по пищевым продуктам) в разделе 4.2.1.4 Общих стандартов по маркировке расфасованных продуктов питания [4] привел перечень аллергенных пищевых продуктов и ингредиентов. Они известны тем, что могут вызвать наиболее острую аллергическую реакцию и привести к многочисленным случаям возникновения пищевой гиперчувствительности, поэтому всегда должны быть указаны на маркировке [3]. В этот список входит рыба и продукты ее переработки.

Европейский союз установил законы о маркировке рыбы и рыбной продукции, требующие указывать информацию отслеживания, такую как определение вида, происхождения рыбы и способ производства [5,6], в целях предотвращения случаев экономического мошенничества. В частности, Постановление Совета (ЕС) № 1224/2009 от 20 ноября 2009 года [7] вводит систему контроля за соблюдением правил общей рыбохозяйственной политики. Прослеживаемость и контроль всей производственной и сбытовой цепочки регулируется Регламентом (ЕС) № 178/2002 Европейского

Парламента и Совета от 28 января 2002 года [8]. Интересы потребителей защищены Регламентом (ЕС) № 1379/2013 Европейского Парламента и Совета от 11 декабря 2013 года, который устанавливает подробные правила информирования потребителей о продуктах рыболовства и аквакультуры, а также обязывает компетентные национальные органы, ответственные за мониторинг и обеспечивающие выполнение обязательств данного Регламента, использовать в полном объеме имеющиеся научно-технические знания. Применение этих знаний предполагает в том числе анализ видовой принадлежности рыбы по ДНК, чтобы вынудить участников хозяйственной деятельности отказаться от ложной маркировки уловов [9].

Как показывает анализ ряда научных работ, проблемы неправильной маркировки освещаются достаточно давно, так, например, Marko P. B. с коллегами в 2004 году опубликовал статью, в которой представил результаты молекулярно-генетического анализа рыбы, продаваемой в Соединенных Штатах как «красный люциан» (законное общее название, обозначенное управлением по контролю за продуктами и лекарствами США), принадлежит к другому виду — *Lutjanus campechanus*. Неправильная маркировка была выявлена в 77% случаях [10]. Неправильная маркировка в такой степени не только обманывает потребителей, но и может негативно сказаться на их здоровье [11].

М. А. Pardo с коллегами, был проведен обзор опубликованных за пять лет научных отчетов, в которых рассматривались случаи неправильной маркировки рыбы и рыбных продуктов. Всего было проведено 51 рецензирование. Суммарно были проанализированы 4500 образцов, исследованных с помощью ДНК-методов по всему миру. Средний процент зарегистрированных нарушений составлял 30% [12].

В работе von der Heyden.S. и соавторов отражены результаты исследований 178 образцов самых популярных на южноафриканском рынке видов рыб с использованием секвенирования мтДНК 16S рРНК. Согласно полученным результатам, около половины всех образцов имеют неправильную маркировку. Самыми проблемными оказались образцы филе рыбы Kob (*Argyrosomus japonicus*), 84% данных образцов принадлежали к другим видам включая скумбрию, горбуна и австралийскую сериолеллу [13].

Наличие неправильной маркировки было выявлено многочисленными исследованиями. Считается, что это не только является экономической проблемой, но и способствует сокращению рыбного промысла, чрезмерной эксплуатации рыбных запасов и препятствует восстановлению рыбных популяций и экосистем. Это связано с тем, что ложная маркировка часто скрывает незаконный, несообщаемый и нерегулируемый промысел, на долю которого приходится примерно пятая часть мирового улова, и таким образом создает серьезную угрозу устойчивому рыболовству [14].

David J. Agnew с коллегами анализировали ситуацию с незаконным и несообщаемым промыслом в 54 странах

и подсчитали, что общая стоимость потерь от незаконного и несообщаемого рыболовства во всем мире достигает порядка 10–23,5 миллиардов долларов, что составляет от 11 до 26 миллионов тонн.

Развивающиеся страны в наибольшей степени подвержены риску распространения незаконного рыболовства, так, например, общий расчетный улов в Западной Африке на 40% превышает заявленный. Такие уровни эксплуатации серьезно затрудняют устойчивое управление морскими экосистемами [15].

Несмотря на то, что в некоторых районах были достигнуты определенные успехи в снижении уровня незаконного рыболовства, эти события также требуют международного внимания.

Спрос на надежные системы отслеживания рыбных продуктов привел к появлению различных аналитических подходов к этой проблеме. На данный момент контроль качества осуществляется с помощью различных лабораторных тестов, главным образом основанных на анализе уникальных профилей белка или дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), обнаруженных у различных видов рыб [16,17].

В данной работе будет представлен современный метод определения видовой принадлежности рыб с использованием секвенирования нового поколения (NGS).

2. Материалы и методы

2.1. Сущность метода

Для определения видовой принадлежности рыб с применением секвенирования нового поколения была разработана методология с использованием подхода секвенирования целевого анализа, или секвенирование ампликонов-мишеней (Targeted analysis sequencing, TAS). Данный подход ориентирован на ампликоны и специфические гены [18].

В основе методологии лежит двухэтапный процесс ПЦР, который позволяет решить основную задачу — одновременное исследование множества проб путем анализа гена с определенным уровнем дивергенции.

На первом этапе проводят традиционную ПЦР с парой праймеров, фланкирующей участок целевой области гена, вследствие чего осуществляется накопление копий определенной нуклеотидной последовательности генома. Затем приступают ко второму этапу дополнительной ПЦР, в ходе которой прикрепляют известную метку (штрихкод) для идентификации образцов в пуле библиотеки ампликонов.

Двухэтапный процесс ПЦР приводит к меченым ампликонам, которые готовы к непосредственному секвенированию с использованием платформы следующего поколения. Для наших целей используется ионное полупроводниковое секвенирование, которое основано на регистрации изменений вследствие обнаружения ионов водорода, выделяющихся при полимеризации ДНК. Микроэлемент (сенсорный чип), содержащий цепочку ДНК-библиотек (шаблон), подлежащих секвенированию, заполняется дезоксирибонуклеотидтрифосфатом (dNTP) одного вида, и, если введенный нуклеотид комплементарен к ведущему нуклеотиду шаблона, он включается в растущую комплементарную нить, что вызывает высвобождение иона водорода. Выделяющиеся в этой реакции протоны изменяют поверхностный заряд покрывающего сенсорный чип pH-чувствительного слоя, что влияет на проводимость расположенной ниже сенсорной зоны. Если гомополимерные повторы присутствуют в последовательности шаблона, несколько нуклеотидов будут включены в один цикл. Это приводит к соответствующему количеству высвобожденных водородов и пропорционально более высокому электронному сигналу [19, 20].

Полученный «интересующий» сиквенс амплифицированного фрагмента ДНК используется для определения принадлежности анализируемого образца к определенному таксону (вид, род) путем сравнения сиквенса с известными последовательностями в уже существующей классификации (алгоритм BLAST).

2.2. Дизайн праймеров

С целью применения технологии NGS для идентификации видов рыб, основанной на дивергенции последовательности, были подобраны универсальные праймеры для амплификации последовательностей участка митохондриальной ДНК в области гена 16S рибосомальной РНК, праймеры первого раунда представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Праймеры первого раунда

Table 1. First round primers

Олигонуклеотидные праймеры первого раунда амплификации (5'→3')	
Forward	GCCTCTGCCCCACAATGGTATAAGACGAGAAGACCCT
Reverse	AAGAAGTGGTTGGAAGCTCTCAATTGCGCTGTATCCCT

Подбор праймеров целевой области гена, фланкирующей участок, осуществляли с помощью программы CLC Sequence Viewer 7 и Primer-BLAST.

Для создания дизайна пары праймеров второго раунда использовали программу для разработки полного набора праймеров для слияния штрихкодов Ion Xpress. Одновременно нами были исследованы 20 проб, соответственно для двунаправленного секвенирования были синтезированы 40 пар праймеров, каждая мишень была амплифицирована в двух отдельных реакциях ПЦР с использованием в качестве праймеров ПАРЫ 1 и ПАРЫ 2. Праймеры второго раунда представлены в Таблице 2.

Разработанные праймеры были синтезированы в ЗАО «Евроген», Россия, Москва.

2.3. Сбор образцов

Отличительной способностью и несомненным преимуществом метода секвенирования NGS является возможность проведения идентификации в многокомпонентной продукции. Помимо целевой ДНК в ней присутствуют и фрагменты ДНК других составных компонентов продукта, которые могут быть как животного происхождения, так и растительно-го. Исходя из этих возможностей метода, были подготовлены 20 образцов разного вида и состава. Данные по образцам испытания представлены в Таблице 3.

Все образцы были предварительно исследованы в испытательной референс-лаборатории Национального центра безопасности продукции водного промысла и аквакультуры (ФГБУ «НЦБРП») другими молекулярно-диагностическими методами с целью определения видовой принадлежности.

Приготовление смешанных опытных образцов. Во избежание загрязнений с помощью стерильных и чистых инструментов, рыбу, используемую для приготовления смешанных образцов, разделяли на филе и измельчали до получения гомогенной массы. Далее в гомогенную массу ткани атлантической сельди массой 80 г добавляли гомогенную массу ткани тихоокеанской сельди массой 20 г и каплю пищевого красителя синего цвета, после чего смешивали до получения однородного цвета смеси, в результате чего получался образец 80%/20% (масса/масса), код образца CO1. Аналогично были приготовлены смешанные образцы CO2 и CO3.

До испытаний все образцы хранились при температуре минус 20 °С.

Таблица 2. Праймеры второго раунда

Table 2. Second round primers

Штрих-код	Олигонуклеотидные праймеры ПАРЫ 1	Штрихкод	Олигонуклеотидные праймеры ПАРЫ 2
IonXpress_1	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCTAAGG TAACGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_1	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCTAAGGT AACGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_2	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTAAGGA GAACGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_2	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGAAGAGG ATTCGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_3	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGAAGAGG ATTGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_3	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTAAGGAG AACGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_4	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTACCAA GATCGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_4	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTACCAA ATCGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_5	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCAGAA GGAACGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_5	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCAGAAAGG AACGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_6	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCTGCAA GTTGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_6	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCTGCAAG TTCGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_7	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTTCGTG ATTGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_7	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTTCGTGA TTCGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_8	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTTCGG ATAACGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_8	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTTCGGAT AACGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_9	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTGAGCG GAACGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_9	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTGAGCG GAACGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_10	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCTGACC GAACGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_10	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCTGACCG AACGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_11	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTCTCG AATCGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_11	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTCTCGA ATCGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_12	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTAGGTG GTTGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_12	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTAGGTGG TTCGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_13	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTAAC GGACGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_13	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTAACG GACGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_14	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTTGGAG TGTGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_14	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTTGGAGT GTCGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_15	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTAGA GGTCGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_15	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTAGAG GTCGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_16	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTGGA TGACGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_16	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTGGAT GACGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_17	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTATT CGTCGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_17	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTCTATTTC GTCGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_18	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGAGGCAA TTGCGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_18	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGAGGCAAT TGCATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_19	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTTAGTC GGACGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_19	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGTTAGTCG GACGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca
IonXpress_20	<i>Forward</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCAGATC CATCGATg CCTCTGCCcACAaTGGT <i>Reverse</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATaAGaAGTGGTTGG AAgcTCTca	IonXpress_20	<i>Forward</i> CCTCTCTATGGGCAGTCGGTGATgCCTCTGCCcACAa TGGT <i>Reverse</i> CCATCTCATCCCTGCGTGTCTCCGACTCAGCAGATCC ATCGATaAGaAGTGGTTGGAAGcTCTca

Таблица 3. Кодировка, вид и состав образцов
Table 3. Codes, species and composition of samples

№ пп	Код образца	Наименование	Состав	Видовая принадлежность целевой ДНК	Образец предоставлен/приобретен	Подтверждение видовой принадлежности другими методами молекулярной диагностики
	746–2020	Хек патагонский	Патагонских хек	Патагонских хек (Merluccius hubbsi)	ФГБУ «НЦБРП»*	Подтвержден, метод RFLP (Анализ полиморфизма длины рестрикционных фрагментов)
	411–2021	Икра мойвы пробойная соленая	Икра мойвы, соль, растительное масло, пищевые добавки	Мойва (Mallotus villosus)	ФГБУ «НЦБРП»*	Подтвержден, метод ПЦР-PB
	388–2021	Угорь жареный в соусе мороженный, филе	Филе угря на коже без костей, соевый соус 10% (вода, соевые бобы, пшеница, соль, сахар, кукурузный сироп, кукурузный крахмал)	Американский речной угорь (Anguilla rostrata)	Коммерческая сеть	Испытания не проводились
	1144–2021	Форель холодного копчения	Форель, соль, пищевой консервант	Радужная форель (Oncorhynchus mykiss)	ФГБУ «НЦБРП»*	Подтвержден, метод ПЦР-PB
	1278–2021	Сельдь т/о крупная мороженная	Сельдь, соль	Тихоокеанская сельдь (Clupea pallasii)	ФГБУ «НЦБРП»*	Подтвержден, метод секвенирования по Сенгеру
	2332–2021	Сельдь атлантическая крупная жирная, слабосоленая	Сельдь, соль	Атлантическая сельдь (Clupea harengus)	ФГБУ «НЦБРП»*	Подтвержден, метод секвенирования по Сенгеру
	4958–2020	Филе атлантического лосося с костью с кожей мороженое	Атлантический лосось	Атлантический лосось (Salmo salar)	ФГБУ «НЦБРП»*	Подтвержден, метод ПЦР-PB
	6255–2021	Сайра т/о натуральная с добавлением масла (консервы)	Рыба, масло растительное, соль, пряности	Сайра (Cololabis saira)	ФГБУ «НЦБРП»*	Идентифицирован вид дальневосточная сардина, или иваси (Sardinops melanostictus), метод секвенирования по Сенгеру
	6420–2021	Баррамунди охлажденная	Баррамунди	Латес, или баррамунди, или белый морской окунь (Lates calcarifer)	ФГБУ «НЦБРП»*	Идентифицирован вид суринамский лобот, или суринамская треххвостка (lobotes surinamensis), метод секвенирования по Сенгеру
	6259–2021	Рыбные консервы (сайра)	Рыба, масло растительное, соль, пряности	Сайра (Cololabis saira)	ФГБУ «НЦБРП»	Идентифицирован вид тихоокеанская сельдь (Clupea pallasii), метод секвенирования по Сенгеру
	389–2021	Филе минтая без кожи без кости мороженое	Минтай	Минтай (Gadus chalcogrammus)	ФГБУ «НЦБРП»*	Подтвержден, метод ПЦР-PB
	3209–2021	Мороженая пищевая рыбная продукция, треска атлантическая без кожи, порционное	Атлантическая треска	Атлантическая треска (Gadus morhua)	ФГБУ «НЦБРП»*	Подтвержден, метод ПЦР-PB
	3599–2021	Желтохвост мороженный	Желтохвост	Желтохвостая лакедра, или желтохвост (Seriola quinqueradiata)	ФГБУ «НЦБРП»*	Подтвержден, метод секвенирования по Сенгеру
	4840–2020	Скумбрия атлантическая холодного копчения, нарезка	Скумбрия атлантическая	Атлантическая скумбрия (Scomber scombrus)	ФГБУ «НЦБРП»*	Идентифицирован вид японская скумбрия (Scomber japonicus), метод секвенирования по Сенгеру
	4651–2020	Макрурус малоглазый потр. б/т с удалением тонкой хвостовой части мороженный	Макрурус малоглазый	Малоглазый макрурус (Albatrossia pectoralis)	ФГБУ «НЦБРП»*	Подтвержден, метод секвенирования по Сенгеру
	4644–2020	Сардина т/о (иваси) н/р мороженная	Сардина иваси	Дальневосточная сардина, или иваси (Sardinops melanostictus)	ФГБУ «НЦБРП»*	Подтвержден, метод секвенирования по Сенгеру
	4566–2020	Роллы «Филадельфия с угрем»	Угорь	Речной угорь, (Anguilla anguilla)	ФГБУ «НЦБРП»	Подтвержден, метод секвенирования по Сенгеру
	СО-1	Смешанный образец	Атлантическая сельдь 80%, тихоокеанская сельдь 20%	Атлантическая сельдь (Clupea harengus), Тихоокеанская сельдь (Clupea pallasii)	ФГБУ «НЦБРП»*	—
	СО-2	Смешанный образец	Сайра 50%, иваси 50%	Сайра (Cololabis saira), Дальневосточная сардина (Sardinops melanostictus)	ФГБУ «НЦБРП»*	—
	СО-3	Смешанный образец	Атлантическая треска 90%, минтай 10%	Атлантическая треска (Gadus morhua), Минтай (Gadus chalcogrammus)	ФГБУ «НЦБРП»*	—

* Национальный центр безопасности продукции водного промысла и аквакультуры.

2.4. Выделение ДНК

Основной принцип выделения ДНК заключается в экстрагировании ДНК, присутствующей в образце, а затем одновременной или последующей очистке ДНК от ингибиторов ПЦР (белков, полисахаридов и других соединений) [21].

Для проведения испытаний нами был выбран набор реагентов для выделения ДНК, сочетающий в себе метод СТАВ и метод выделения ДНК путем ее высаживания (сорбции) на частицах «Сорб-ГМО-Б», Синтол, Россия.

Метод СТАВ (метод гомогенного выделения с помощью цетилтриметиламмоний бромидом), в соответствии с которым тотальную ДНК выделяют путем экстракции в виде комплекса с цетилтриметиламмоний бромидом, был предложен Murtagh M. G. и Thompson, W. F. Он относится к классическим методам выделения нуклеиновых кислот. В результате экстракции ДНК получается с максимальным выходом и минимальным количеством ингибиторов [22].

Метод выделения ДНК путем ее высаживания (сорбции) на частицах, разработанный Boom R. с коллегами, показал свою эффективность при выделении небольших количеств нуклеиновых кислот. В основе метода лежит лизис растительных клеток и последующего осаждения нуклеиновых кислот на частицах силикагеля или диатомовой земли в присутствии хаотропного агента — тиоцианата гуанидина [23].

Объединение двух методов в один позволило компенсировать недостатки каждого — длительное время выделения методом СТАВ, которое составляет более 4-х часов, и большие потери ДНК при выделении сорбционным методом [24].

2.5. Протокол испытания

Амплификацию участка митохондриальной ДНК в области гена 16S рибосомальной РНК методом ПЦР проводили в конечном объеме 30 мкл, содержащем 2 мкл ДНК, 2,5 мкл 10x ПЦР буфера Б + Eva Green, 2,5 мкл $MgCl_2$ 25 мМ, 2 мкл dNTP (дезоксинуклеозидтрифосфаты) 2,5 мМ, 0,5 мкл SynTaq ДНК-полимераза с ингибирующими активностью ферментами антителами 5Е/мкл, 19 мкл ddH₂O и 2 мкл смеси праймеров в концентрации 6 пмоль/реакцию каждого праймера.

Реакцию проводили в амплификаторе qTOWER2.2 по следующей программе: первоначальный прогрев реакционной смеси при температуре 95 °С в течение 6 мин, 35 циклов ПЦР, включающих денатурацию при температуре 95 °С в течение 15 сек, отжиг при температуре 50 °С на протяжении 25 сек и элонгацию при 72 °С на протяжении 25 сек, и окончательная достройка цепи при 72 °С в течение 10 мин.

Сбор ПЦР-продуктов после реакции амплификации проводили с использованием готового агарозного геля для отбора фрагментов при NGS E-Gel™ SizeSelect™ II Agarose Gels, 2% (Invitrogen™) на приборе E-Gel™ Power Snap (Invitrogen™).

Для присоединения олигонуклеотидных адаптеров для баркодирования фрагментов библиотеки ДНК использовали метод ПЦР. Конечный объем амплифицируемой смеси составлял 30 мкл, смесь включала 1 мкл ПЦР-продукта, 2,5 мкл 10x ПЦР буфера Б + Eva Green, 2,5 мкл $MgCl_2$ 25 мМ, 2 мкл dNTP (дезоксинуклеозидтрифосфаты) 2,5 мМ, 0,5 мкл SynTaq ДНК-полимераза с ингибирующими активностью ферментами антителами 5Е/мкл, 18 мкл ddH₂O и 4 мкл смеси праймеров в концентрации 6 пмоль/реакцию каждого праймера.

Измерение концентрации фрагментов ДНК проводят с использованием набора для определения количества ДНК Qubit™ dsDNA BR Assay Kit (Thermo Fisher Scientific) на флуориметре для определения количества ДНК Qubit 4 (Thermo Fisher Scientific).

Оценку фрагментов ДНК проводят с использованием набора High Sensitivity DNA Kit, Agilent на биоанализаторе Agilent 2100 Bioanalyzer System, Agilent. Количественный диапазон измерения набора High Sensitivity DNA Kit составлял 5–500 пг/мкл.

Подготовку библиотеки ДНК и нанесение ее на чип проводили на автоматической станции пробоподготовки Ion Chef System. Секвенирование библиотеки на генетическом анализаторе Ion Torrent Gene Studio S5.

3. Результаты и обсуждение

Из всех образцов испытания была выделена ДНК с чистотой, пригодной для постановки ПЦР. На графике флуоресценции, полученном с помощью программного обеспечения используемого прибора, присутствовало пересечение кривых флуоресценции с пороговой линией и характерное экспоненциальное нарастание флуоресценции сигнала, что говорит о положительной специфической реакции (Рисунок 1) и Таблица 4.

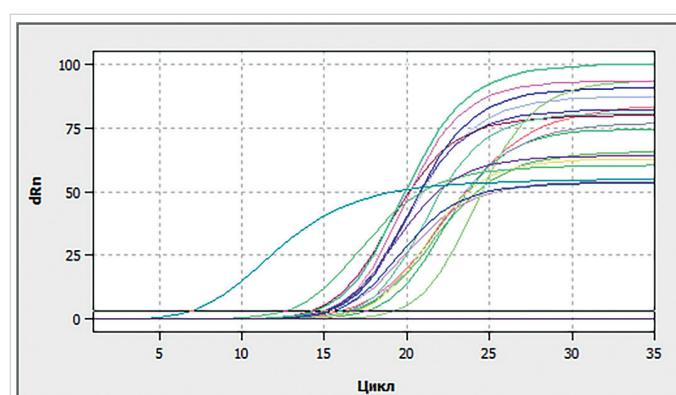


Рисунок 1. Амплификация участка митохондриальной ДНК. График флуоресценции
Figure 1. Amplification of the region of the mitochondrial DNA. Graph of fluorescence

Таблица 4. Значения Ct образцов испытания

Table 4. Ct values of test samples

№ лунки	Код образца	Значение Ct	№ лунки	Код образца	Значение Ct
B2	746–2020	16,01	C4	389–2021	15,11
B3	411–2021	15,07	C5	3209–2021	14,36
B4	388–2021	16,65	C6	3599–2021	12,57
B5	1144–2021	17,51	C7	4840–2020	19,16
B6	1278–2021	14,2	C8	4651–2020	15,03
B7	2332–2021	16,42	C9	4644–2020	14,86
B8	4958–2020	15,42	D2	4566–2020	15,39
B9	6255–2021	17,01	D3	CO-1	16,12
C2	6420–2021	16,38	D4	CO-2	17,48
C3	6259–2021	15,21	D5	CO-3	17,52

На электрофореграмме (Рисунок 2) показана длина полученных ПЦР-продуктов, которая соответствует требуемой и составляет ≈ 405–450 нп.

На биоанализаторе была определена длина ампликонов и молярная концентрация, которая необходима для разведения финального пула библиотеки ДНК перед секвенированием, на Рисунке 3 приведена гистограмма образца 746–2020.

После проведения секвенирования пула библиотеки ДНК оценивали его качество по детализации данных чипа. Покрываемость чипа составляла 93%, что является хорошим показателем (Рисунок 4).

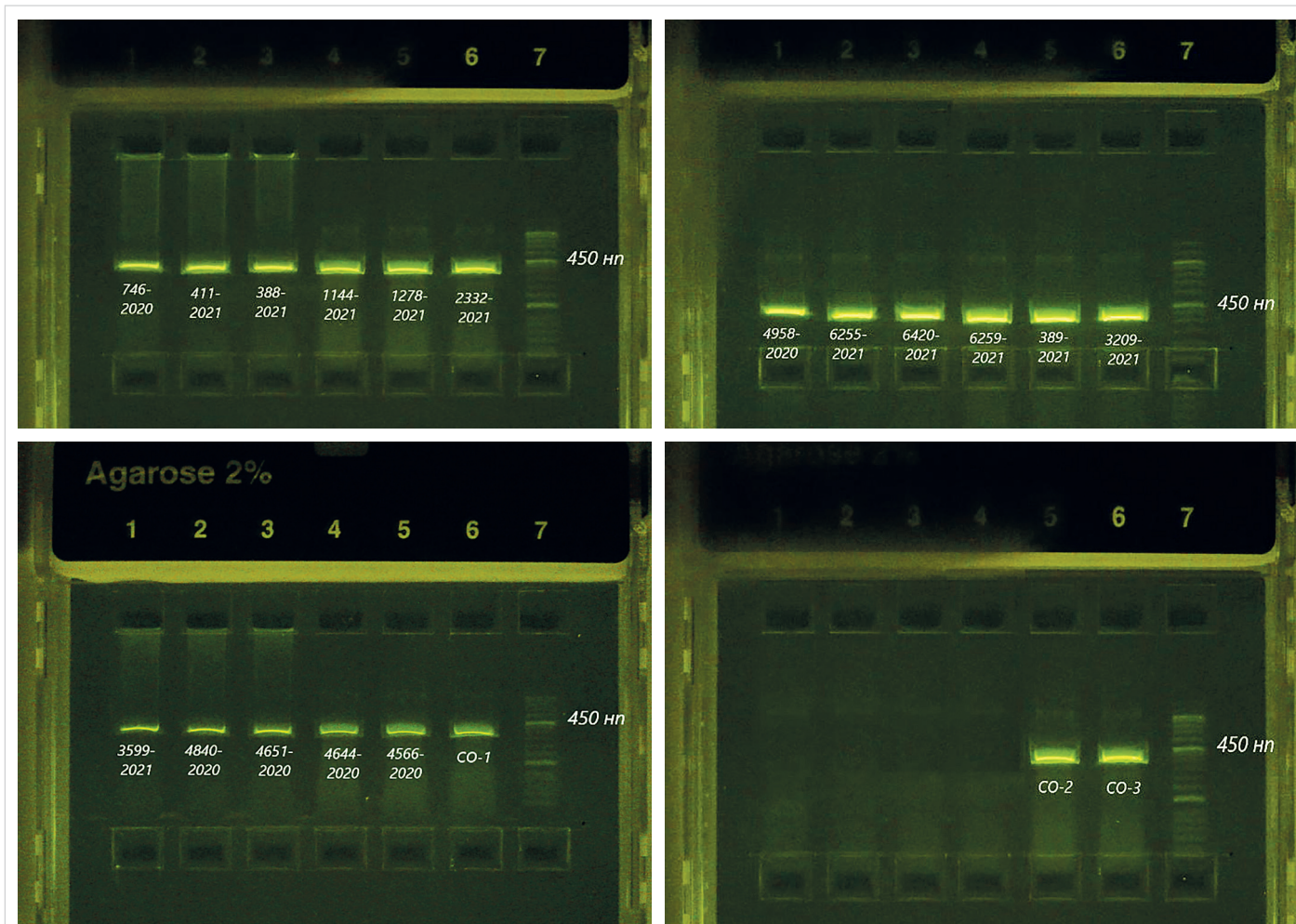


Рисунок 2. Электрофореграмма фрагментов ПЦР-продуктов образцов испытания
Figure 2. The electrophoregram of fragments of PCR products of test samples

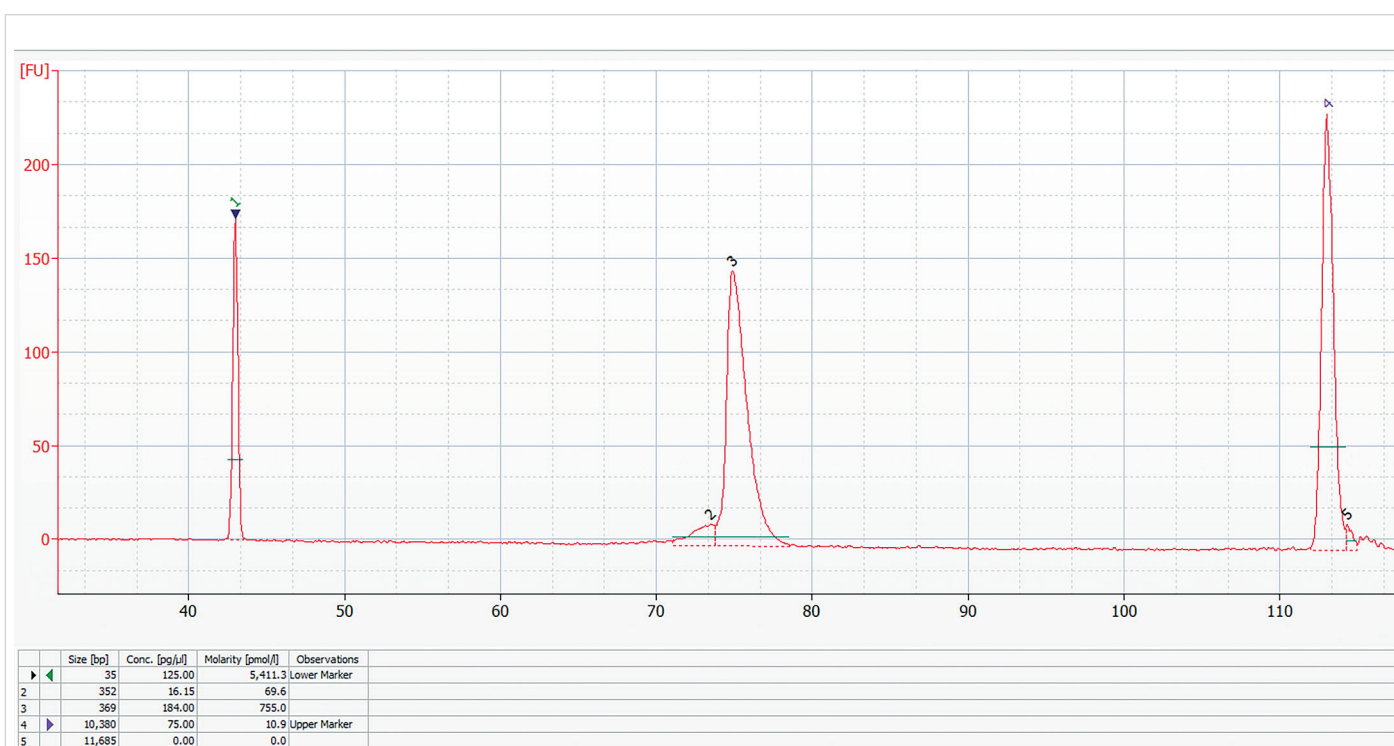
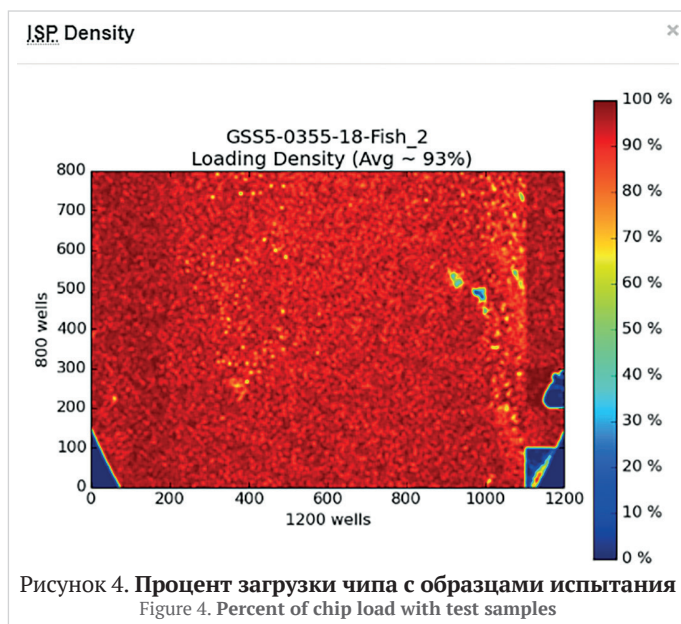


Рисунок 3. Гистограмма образца 746–2020. Молярная концентрация 755 пмоль/л, длина 369 бп
Figure 3. The histogram of sample 746–2020. Molar concentration 755 pmol/L, length 369 bp

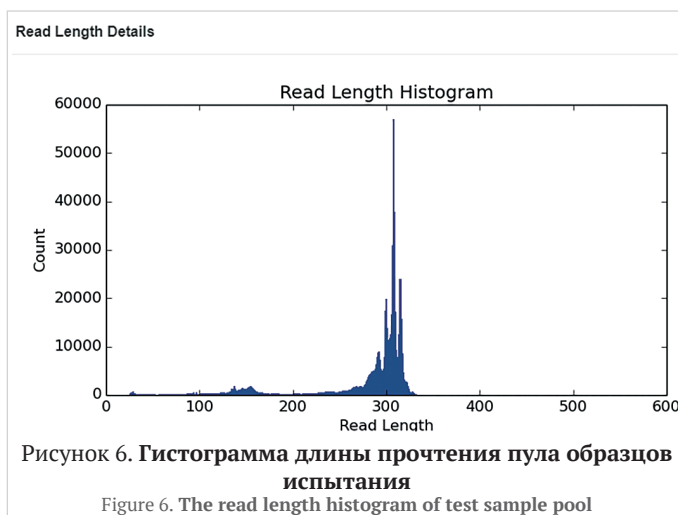


Процент полезных последовательностей библиотеки составлял 73%, а процент последовательностей низкого качества — 26% (Рисунок 5).

Оценивали также и гистограмму, показывающую длину ПЦР продукта, для который был произведен сиквенс (Рисунок 6).

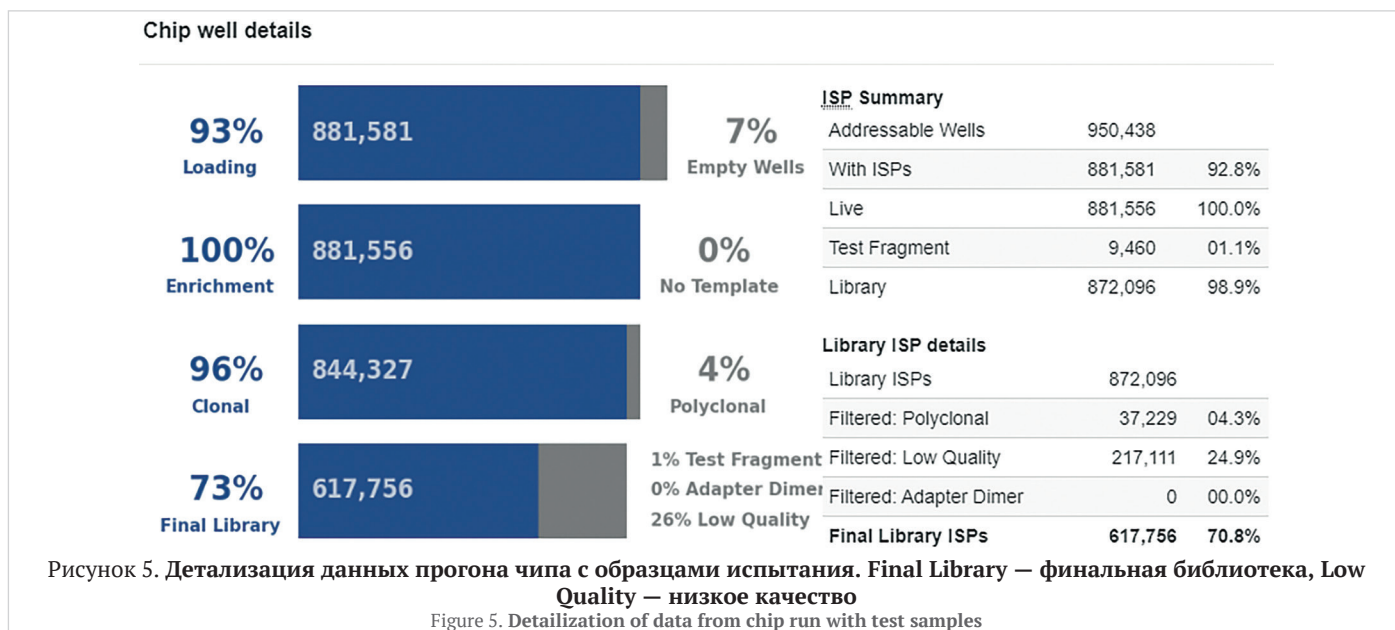
На гистограмме видно, что пул образцов имеет приблизительно одну длину, пик на 270–330 пн, без отсутствия дополнительных пиков. Данные результаты позволяют приступить к детекции результатов, которая проходит путем сравнения полученной нуклеотидной последовательности фрагмента генома, выделенного из образцов испытания, с известными последовательностями из баз данных GenBank, доступных через поисковой интернет-ресурс www.ncbi.nlm.nih.gov. в целях его идентификации.

На каждый образец было получено от 30000 до 50000 прочтений. Результаты по каждой пробе были приведены в формате uBAM — не выровненные чтения (нуклеотидные основания, покрытые считываниями, которые не выровнены по эталону), для наших задач данный формат был экспортирован в текстовый формат нуклеотидных последовательностей FASTQ (Рисунок 7).



Проанализировать вручную все 30000–50000 прочтений путем сравнения их с последовательностями из генетических баз данных — трудоемкая и длительная работа, для решения данного вопроса нами была разработана программа анализа полученных последовательностей по аналогии с поисковой системой BLAST, только наоборот. В программе BLAS вводится изучаемая или полученная последовательность вместе с другой входной информацией (база данных, размера «слова» (участка), значение величины E и др.) и запускается алгоритм поиска, после чего определяются выравнивания с максимальным количеством совпадений. В разработанной нами программе в качестве запроса на выравнивание выступает эталонная последовательность, которую сравнивают со всеми прочтениями испытуемого образца, полученными в результате секвенирования. Программа разработана на базе операционной системы linux, эталонные последовательности были загружены из генетической базы данных NCBI, итоговые результаты анализа представлены в таблице данных в файле excel (Рисунок 8).

Выборочные прочтения были проверены и стандартным методом посредством сравнения с использованием алгоритма BLAST. В качестве примеров на Рисунке 9 представлен сиквенс образца испытания 4644 и на Рисунке 10 представлен результат сравнения в базе NCBI. Совпадение сиквенса составляло 100%.



```

@45T02:00002:00077
GCCTCTGCCCAATGGTATAAGACGAGAAGACCCCTATGGAGCTTTAGACAAAAGATCAAAACATG
TAAGAAACCAACCAACCAAAAGGAACACGAGGCGCAAAACCAACGTAACCTGATCTAAATG
TCTTCGGTTGGGGCGACCATGGGGGAAAGAAAGCCGCCACGAGGAACAGGGACACCCCTAAAC
TAAGAGAGACACCTCTAAGCAACAGAAAATCTGACCAAAATGACCCAGGATACCTATCTGATCA
ACGAAACCAAGTTACCTAGGGATAACAGCGCAATTGAGAGCTTCAACCACTTCTT
+
BA>AA;99;679;16C7AA;;4:BA?A99;;BCD>AABC?ABCC>443>999/39:
=>169;8// (/66 (/ (-7/9(0)
@45T02:00004:00089
GCCTCTGCCCAATGGTATAAGACGAGAAGACCCCTATGGAGCTTTAGACAAAAGATCAAAACATG
TAAGAAACCAACCAACCAAAAGGAACACGAGGCGCAAAACCAACGTAACCTGATCTAAAT
GTCTTCGGTTGGGGCGACCATGGGGGAAAGAAAGCCGCCACGAGGAACAGGGACACCCCTAA
ACTAAGAGAGACACCTCTAAGCAACAGAAAATCTGACCAAAATGACCCAGGATACCTATCTGAT
CAACGAACCAAGTTACCTAGGGATAACAGCGCAATTGAGAGCTTCAACCACTTCTT
+
BA@@@:9;A;B>@<AB8BCCC@CCBCCC@CBVB>BBCC??>?<39;;399/39:9=
916666// (/88 (/ (/819,89)75;<
@45T02:00004:00093
GCCTCTGCCCAATGGTATAAGACGAGAAGACCCCTATGGAGCTTTAGACAAAAGATCAAAACATG
TAAGAAACCAACCAACCAAAAGGAACACGAGGCGCAAAACCAACGTAACCTGATCTAAAT
GTCTTCGGTTGGGGCGACCATGGGGGAAAGAAAGCCGCCACGAGGAACAGGGACACCCCTAA
CTAAGAGAGACACCTCTAAGCAACAGAAAATCTGACCAAAATGACCCAGGATACCTATCTGATC
AACGAACCAAGTTACCTAGGGATAACAGCGCAATTGAGAGCTTCAACCACTTCTT
+
@A@;;;CCF>BBB@B>9BC;;9;AABADC@CCCC=CCBB9AABB>8?
=;;AAA3??>8>818888333(399.86>?A29171;;.74949==>A;@;>199==>2==5
=<999?8900:000::3:<?A9>?9?>?>2>=>@>ABVCC5CC>CCCC;@@@@;
@;;C5;5:BBA;@>AAA?BBB<AAC@BBBCCBCCC@DCCC@BBB?CA@@@@
?;<A@>@BBB8BBA9@?>=?>;>6==6;?B999?000;@;>-00*
000)/777)54<7<555555<6;;?B>>>;>8@929431384
@45T02:00005:00083
GCCTCTGCCCAATGGTATAAGACGAGAAGACCCCTATGGAGCTTTAGACAAAAGATCAAAACATG
TAAGAAACCAACCAACCAAAAGGAACACGAGGCGCAAAACCAACGTAACCTGATCTAAAT
GTCTTCGGTTGGGGCGACCATGGGGGAAAGAAAGCCGCCACGAGGAACAGGGACACCCCTAA
CTAAGAGAGACACCTCTAAGCAACAGAAAATCTGACCAAAATGACCCAGGATACCTATCTGATC
AACGAACCAAGTTACCTAGGGATAACAGCGCAATTGAGAGCTTCAACCACTTCTT
+
@>ABBBBVC=B@>BB8CCBB@BBB8BVB@CCCC=CCBB@BBBVB=6@<A:888-9A83//
*/9:9// (/88
@45T02:00006:00090
GCCTCTGTCCCAATGGTATAAGACGAGAAGACCCCTATGGAGCTTTAGACAAAAGATCAAAACATG
TAAGAAACCAACCAACCAAAAGGAACACGAGGCGCAAAACCAACGTAACCTGATCTAAAT
GTCTTCGGTTGGGGCGACCATGGGGGAAAGAAAGCCGCCACGAGGAACAGGGACACCCCTAA
CTAAGAGAGACACCTCTAAGCAACAGAAAATCTGACCAAAATGACCCAGGATACCTATCTGATC
AACGAACCAAGTTACCTAGGGATAACAGCGCAATTGAGAGCTTCAACCACTTCTT
+
@>=<<<0//)///0A6@99;;CCCCC?ABVC>CCBB?BBVB=6==BCBB:AA>8?A8>?
A333,3;3>;>5=*0//) . . . (.377=@18181=99:9-9?3<8<999*8@999?
AA;ABBBB>>>>>?BDD:>>CCACCCCC..;7;CVC3;.;
*;<;<B=B=ABBB;AA5;;.?.BB;ABV@BBB@CC?@<AA@B?;;AEB@>@3AB@>?>?
@?7?B?>?99?>?AAA:49:3;@A;<;?@>?C<@6;;>;>0<<;0;AB>B;<;AAB>

```

Рисунок 7. Фрагмент текстового формата полученных нуклеотидных последовательностей образца испытания 4566. Всего 34 145 прочтений
Figure 7. Fragment of the test format of the obtained nucleotide sequences of test sample 4566. In total, 34 145 reads

```

GCCTCTGCCCAATGGTATAAGACGAGAAGACCCCTATGGAGCTTTAGACACCAACCAACACGAA
AAGCGGCCCTAATTTGAGGCCCCCAACACGATGATCTGGCATAAGTGTCTTCGGTTGGGGCGACCA
CGGGAGATAGCACAGCTCCCGAGTGGATGGGGGACACCCCTAAACCCAGAGCCACAGCTCTAAGTC
ACAAAACATTTGACCAATAATGATCCGGCTTAATGCCGACCAACGACCAAGTTACCCCTAGGGATA
ACAGCGCAATTGAGAGCTTCAACCACTTCTT

```

Рисунок 9. Выборочный сиквенс прочтения образца испытания 4644

Figure 9. The sample sequence from test sample 4644

Таким образом, нами были проанализированы все 20 образцов испытания, результаты, полученные в ходе исследования, подтвердили результаты исследования данных образцов другими молекулярно-диагностическими методами. В образцах 6255–2021, 6420–2021, 6259–2021, 4840–2020 были выявлены несоответствия заявленному составу, ранее эти несоответствия были определены с использованием метода секвенирования по Сенгеру, в остальных образцах была подтверждена видовая принадлежность рыб, заявленная на маркировке. В Таблице 5 представлены результаты секвенирования NGS.

Рыба и рыбные продукты относятся к самым продаваемым товарам в мире. В интересах любого государства в мире, а также для общественного здравоохранения жизненно важно, чтобы как произведенные внутри страны, так и импортируемые рыбные продукты были безопасными, полезными и должным образом маркированными [25]. Идентификация видов рыб и рыбных продуктов стала важной задачей в рыбной промышленности. Расширение международной торговли, рост потребления рыбы и рыбных продуктов во всем мире и различные уровни предложения и спроса на определенные виды привели к случаям экономического мошенничества, при котором один вид рыбы заменяется другим [26].

Морфологический осмотр рыбных продуктов не всегда позволяет выявить неправильную маркировку видов, а технологическая или кулинарная обработка часто повреждает или удаляет диагностические характеристики, имеющие решающее значение для идентификации видов обычными таксономическими средствами.

Несмотря на то, что метод секвенирования с использованием технологии нового поколения является весьма дорогим, по сравнению с другими методами молекулярной

	Образцы испытания																			
Эталон, вид	746-2020	411-2021	388-2021	1144-2021	1278-2021	2332-2021	4958-2020	6255-2021	6420-2021	6259-2021	389-2021	3209-2021	3599-2021	4840-2020	4651-2020	4466-2020	4566-2020	CO-1	CO-2	CO-3
Merluccius_hubbsi	97,00%																			
Gadus_chalcogrammus											98,6%									10,3%
Gadus_morhua												99,5%								89,4%
Seriola_quinqueradiata													100%							
Oncorhynchus_mykiss	0,6%	0,5%		99,5%																
Oncorhynchus_nerka	0,1%	0,1%																		
Scomber_scombrus			0,0%	0,1%	0,4%	0,5%					0,4%				0,1%	0,7%			0,0%	0,0%
Scomber_japonicus	0,1%	0,1%						0,1%	0,1%			0,4%		100,0%	0,1%	0,8%				
Mallotus_villosus		99,0%																		
Clupea_harengus						99,5%									0,1%	0,2%		29,7%		
Clupea_pallasii					99,6%					100,0%								69,9%		
Reinhardtius_hippoglossoides																0,3%				
Anguilla_anguilla	0,6%	0,2%										0,0%			0,0%	0,2%	99,9%	0,0%	0,1%	0,1%
Anguilla_rostrata			99,0%	0,4%							0,4%				0,0%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%
Sardinops_melanostictus								98,3%												
Salmo_salar							100,0%													
Lobotes_surinamensis									94,1%											
Cololabis_saira																0,2%			43,0%	
Sprattus_sprattus											0,1%									
Pleuronectes_platessa									0,2%											
Platichthys_stellatus												0,0%								
Kareius_bicoloratus																				
Pleurogrammus_monopterygi	0,1%	0,1%																		
Albatrossia_pectoralis											0,0%	0,0%			99,6%					
Coryphaenoides_filifer									0,0%											
Coryphaenoides_acrolepis									0,7%											
Coryphaenoides_longifilis									0,1%											
% совпадения прочтений с эталоном	98,4%	100,0%	99,1%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	98,4%	95,1%	100,0%	99,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	99,7%	99,8%	99,9%
Всего прочтений	31240	32985	49451	39881	31297	29274	46225	35995	36751	46328	34145	42036	48596	51946	35981	36405	50390	42958	56085	52313

Рисунок 8. Таблица совпадений прочтений образцов испытания с эталонными сиквенсами из генетической базы данных NCBI

Figure 8. Table of matches between test sample reads and reference sequences from the NCBI genetic database

Sardinops melanostictus mitochondrial gene for 16S ribosomal RNA, partial sequence, haplotype: SM16S2

Sequence ID: [LC031785.1](#) Length: 566 Number of Matches: 1

Range 1: 179 to 432 [GenBank](#) [Graphics](#)

[▼ Next Match](#) [▲ Previous Match](#)

Score	Expect	Identities	Gaps	Strand
470 bits(254)	5e-128	254/254(100%)	0/254(0%)	Plus/Plus
Query 21	AAGACGAGAAGACCCCTATGGAGCTTTAGACACCAACCAACGAAAGCGGCCCTAATT	80		
Sbjct 179	AAGACGAGAAGACCCCTATGGAGCTTTAGACACCAACCAACGAAAGCGGCCCTAATT	238		
Query 81	GGAGCCCCAAACAACGTGATTCTGGCATAAGTGCTTTCGGTTGGGGCGACCACGGGAGAT	140		
Sbjct 239	GGAGCCCCAAACAACGTGATTCTGGCATAAGTGCTTTCGGTTGGGGCGACCACGGGAGAT	298		
Query 141	AGCACAGCTCCCGAGTGGATGGGGACACCCCTAAACCCAGAGCCACAGCTCTAAGTCAC	200		
Sbjct 299	AGCACAGCTCCCGAGTGGATGGGGACACCCCTAAACCCAGAGCCACAGCTCTAAGTCAC	358		
Query 201	AAAACATTTGACCAATAATGATCCGGCTTAATGCCGACCAACGGACCAAGTTACCTAGG	260		
Sbjct 359	AAAACATTTGACCAATAATGATCCGGCTTAATGCCGACCAACGGACCAAGTTACCTAGG	418		
Query 261	GATAACAGCGCAAT	274		
Sbjct 419	GATAACAGCGCAAT	432		

Рисунок 10. Результат сравнения сиквенса образца испытания 4644 в базе NCBI

Figure 10. The result of sequence comparison of test sample 4644 in the NCBI database

Таблица 5. Результаты исследования образцов испытания

Table 5. Results of the analysis of test samples

Код образца	Заявленная видовая принадлежность на маркировке продукта	Результаты другими методами молекулярной диагностики	Результаты секвенирования NGS
746–2020	Патагонских хек (<i>Merluccius hubbsi</i>)	Патагонских хек (<i>Merluccius hubbsi</i>)	Патагонских хек (<i>Merluccius hubbsi</i>)
411–2021	Мойва (<i>Mallotus villosus</i>)	Мойва (<i>Mallotus villosus</i>)	Мойва (<i>Mallotus villosus</i>)
388–2021	Американский речной угорь (<i>Anguilla rostrata</i>)	—	Американский речной угорь (<i>Anguilla rostrata</i>)
1144–2021	Радужная форель (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Радужная форель (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	Радужная форель (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)
1278–2021	Тихоокеанская сельдь (<i>Clupea pallasii</i>)	Тихоокеанская сельдь (<i>Clupea pallasii</i>)	Тихоокеанская сельдь (<i>Clupea pallasii</i>)
2332–2021	Атлантическая сельдь (<i>Clupea harengus</i>)	Атлантическая сельдь (<i>Clupea harengus</i>)	Атлантическая сельдь (<i>Clupea harengus</i>)
4958–2020	Атлантический лосось (<i>Salmo salar</i>)	Атлантический лосось (<i>Salmo salar</i>)	Атлантический лосось (<i>Salmo salar</i>)
6255–2021	Сайра (<i>Cololabis saira</i>)	Дальневосточная сардина (<i>Sardinops melanostictus</i>)	Дальневосточная сардина (<i>Sardinops melanostictus</i>)
6420–2021	Баррамунди (<i>Lates calcarifer</i>)	Суринамский лобот, или суринамская треххвостка (<i>lobotes surinamensis</i>)	Суринамский лобот, или суринамская треххвостка (<i>lobotes surinamensis</i>)
6259–2021	Сайра (<i>Cololabis saira</i>)	Тихоокеанская сельдь (<i>Clupea pallasii</i>)	Тихоокеанская сельдь (<i>Clupea pallasii</i>)
389–2021	Минтай (<i>Gadus chalcogrammus</i>)	Минтай (<i>Gadus chalcogrammus</i>)	Минтай (<i>Gadus chalcogrammus</i>)
3209–2021	Атлантическая треска (<i>Gadus morhua</i>)	Атлантическая треска (<i>Gadus morhua</i>)	Атлантическая треска (<i>Gadus morhua</i>)
3599–2021	Желтохвост (<i>Seriola quinqueradiata</i>)	Желтохвост (<i>Seriola quinqueradiata</i>)	Желтохвост (<i>Seriola quinqueradiata</i>)
4840–2020	Атлантическая скумбрия (<i>Scomber scombrus</i>)	Японская скумбрия (<i>Scomber japonicus</i>)	Японская скумбрия (<i>Scomber japonicus</i>)
4651–2020	Малоглазый макрурус (<i>Albatrossia pectoralis</i>)	Малоглазый макрурус (<i>Albatrossia pectoralis</i>)	Малоглазый макрурус (<i>Albatrossia pectoralis</i>)
4644–2020	Дальневосточная сардина, или иваси (<i>Sardinops melanostictus</i>)	Дальневосточная сардина, или иваси (<i>Sardinops melanostictus</i>)	Дальневосточная сардина, или иваси (<i>Sardinops melanostictus</i>)
4566–2020	Речной угорь, (<i>Anguilla anguilla</i>)	Речной угорь, (<i>Anguilla anguilla</i>)	Речной угорь, (<i>Anguilla anguilla</i>)
CO-1	Атлантическая сельдь (<i>Clupea harengus</i>), Тихоокеанская сельдь (<i>Clupea pallasii</i>)	—	Атлантическая сельдь (<i>Clupea harengus</i>), Тихоокеанская сельдь (<i>Clupea pallasii</i>)
CO-2	Сайра (<i>Cololabis saira</i>), Дальневосточная сардина (<i>Sardinops melanostictus</i>)	—	Сайра (<i>Cololabis saira</i>), Дальневосточная сардина (<i>Sardinops melanostictus</i>)
CO-3	Атлантическая треска (<i>Gadus morhua</i>), Минтай (<i>Gadus chalcogrammus</i>)	—	Атлантическая треска (<i>Gadus morhua</i>), Минтай (<i>Gadus chalcogrammus</i>)

диагностики, проведенные исследования подтверждают потенциал применения данной методики для обеспечения однозначного определения видов рыб в рыбных продуктах и имеет ряд преимуществ. Во-первых, это проведение идентификации составного или многокомпонентного продукта, в котором могут присутствовать несколько видов рыб, в данном случае за 1 исследование будут идентифицированы сразу все виды рыб, которые входят в состав исследуемого образца. Во-вторых, оснащение испытательной лаборатории новыми, передовыми в науке и технике методами исследования, позволяют выполнять лабораторные исследования с использованием отечественных и международных методов и стандартов проведения испытаний, а также говорит о высоком уровне и квалификации специалистов.

Проведенные нами испытания образцов позволили не только подтвердить заявленный состав, но и выявить несоответствие. Так, в двух образцах консервированной рыбной продукции «Сайра тихоокеанская натуральная с добавлением масла» была выявлена замена: в одном образце — замена рыбой вида дальневосточная сардина (иваси), во втором — рыбой вида тихоокеанская сельдь. Одной из вероятных причин такой замены, по мнению председателя рыбного союза Александра Панина, может выступать ухудшение ситуации с промыслом сайры и уходом ее дальше в Тихий океан, в связи с чем она стала труднодоступна не только для российского флота, но и для лидеров отрасли (Китай, Тайвань и Япония). Одновременно с этим вылов иваси нарастал, и это привело к тому, что сайра стала дороже иваси в семь раз: цена иваси — 40 руб./кг, а сайры — более 300 руб./за кг [27]. Данная ситуация привела к спекуляции на традиционной народной любви к сайре и подтолкнула недобросовестных рыбопромышленников продолжать выпускать под видом консервированной сайры гораздо более доступную по стоимости рыбу иваси, а в некоторых случаях и сельдь.

Подмена, выявленная в образце охлажденной рыбы вида баррамунди другой рыбой вида суринамский лобот, может быть также связана с экономической выгодой для поставщиков баррамунди. Баррамунди в Россию экспортируется из других стран и стоит на российском рынке достаточно дорого, порядка 2000–3000 руб./кг, суринамский лобот же на территории России не имеет особого промыслового значения. Несмотря на то, что данная рыба имеет достаточно вкусное мясо и не уступает по пищевой ценности баррамунди, ее не встретишь на прилавках российских магазинов.

В пробе «Скумбрия атлантическая холодного копчения» была идентифицирована рыба вида японская скумбрия. И атлантическая, и японская скумбрия относятся к одному роду рыб скумбрии, оба вида представлены на российском рынке. По данным Санкт-Петербургской общественной организации потребителей «Общественный контроль», которые проводили контрольную закупку девяти образцов скумбрии холодного копчения в вакуумной упаковке в разных торговых сетях, была выявлена фальсификация в пяти образцах, в четырех из них наблюдалась полная замена атлантической скумбрии, в одном — частичная. [28]. Следует отметить, что видовую принадлежность определяли по морфологическим признакам и по массовой доле жира, что тоже может косвенно подтвердить замену, так как атлантическая скумбрия более жирная. Применение методов, основанных на анализе ДНК, в частности секвенирование NGS, существенно расширит ассортимент продукции, которую можно будет исследовать, не ограничиваясь только теми продуктами, которые имеют подходящий внешний вид для морфоло-

гической оценки. В этом случае масштаб выявленной фальсификации может быть в разы выше.

В испытательных лабораториях во всем мире, как частных, так и государственных, обычно используется широкий спектр методов для видовой идентификации рыбной продукции, но также рассматриваются альтернативные приемы к разработке новых и быстрых методов дифференциации видов на основе ДНК, в том числе методы NGS, также известные как высокопроизводительное секвенирование [14].

Полученные нами результаты аналогичны описываемым в работе Alice Giusti с соавторами, которые занимались идентификацией видов рыб в продуктах на основе сурими с применением секвенирования нового поколения. В статье был описан метод NGS, как поворотный момент в области контроля пищевых продуктов, особенно для идентификации видов в матрицах, состоящих из смеси двух и более видов. В своих исследованиях они анализировали шестнадцать коммерческих образцов сурими, произведенных как в странах ЕС, так и за пределами ЕС с целью оценки неправильной маркировки. В целом в ходе анализа была обнаружена ДНК 13 семейств, 19 родов и 16 видов рыб, а также 3 семейств, 3 родов и 3 видов головоногих моллюсков. Образцы, произведенные в странах, не входящих в ЕС, демонстрировали более высокую вариативность по своему составу. Было обнаружено, что 37,5% продуктов с сурими имеют неправильную маркировку. Среди них 25% добровольно заявили о видах, отличных от идентифицированных, а 25% (все произведенные в странах, не входящих в ЕС) не сообщили о наличии моллюсков на этикетке, что может представлять потенциальную угрозу для здоровья потребителей, страдающих аллергией [29].

Park J. Y. с коллегами описывает идентификацию видов рыб в рыбном пироге методом NGS. В своей работе авторы также отмечали важность метода секвенирования нового поколения. Данным методом было идентифицировано 39 видов рыб по последовательности ДНК [30].

Помимо идентификации рыбной продукции существуют и работы, посвященные идентификации методом NGS в мясных продуктах. Так, Bertolini F. с соавторами опубликовали исследования по применению секвенирования нового поколения для идентификации видов мяса в смесях ДНК. В своей работе они показали, что технология Ion Torrent NGS может быть применена для идентификации млекопитающих и птиц в смесевой продукции, и потенциально предложенный ими протокол исследования может быть применен в рутинных анализах для определения видов не только в образцах мяса или продуктах на основе мяса, но и во многих других прикладных областях, в которых необходима эта информация [31].

Tillmar A. O. с коллегами также описали метод секвенирования как универсальный метод идентификации млекопитающих в смеси ДНК. Эксперименты были проведены на приготовленных опытных образцах, содержащих смесь ДНК разных видов и на подлинных образцах судебных материалов. Результаты оказались многообещающими, позволяя различать более 99,9% видов млекопитающих, а также обнаруживать второстепенные компоненты всего в 1% от смешанной пробы [32].

Таким образом, проведенные исследования выявили важные управленческие последствия, свидетельствующие о необходимости внедрения эффективных и точных программ мониторинга и отслеживания. Основываясь на полученных результатах, можно определить существующую потребность в усилении проверок импортеров, розничных торговцев и дистрибьюторов, чтобы снизить вероятность фальсификации. Недобросовестная и вводящая в заблуждения практика может иметь место в ресторанах, а также на уровне производителей и дистрибьюторов. Замена видов может быть преднамеренной для определенных видов рыб и продуктов из-за эконо-

мической выгоды вследствие различной ценности, а также непреднамеренной вследствие ошибочной идентификации вида по морфологическим признакам. В любом случае, будь то преднамеренная или непреднамеренная фальсификация, результаты подчеркивают необходимость повышения прослеживаемости пищевых рыбных продуктов и оценки сырья.

4. Выводы

Использование надежных, быстрых и эффективных методов для проверки подлинности видов рыб и рыбных

продуктов имеет решающее значение для защиты прав потребителей и борьбы с мошенническими действиями. Учитывая необходимость сделать аналитические методы более доступными, можно сделать вывод, что внедрение молекулярно-диагностических методов будет иметь позитивные последствия с точки зрения защиты прав потребителя. Секвенирование NGS представляет ценный инструмент в области аутентификации пищевых рыбных продуктов, который позволит изменить практику рынка, особенно в отношении коммерчески важных видов рыб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Barbuto, M., Galimberti, A., Ferri, E., Labra, M., Malandra, R., Galli, P. et al. (2010). DNA barcoding reveals fraudulent substitutions in shark seafood products: The Italian case of "palombo" (*Mustelus spp.*). *Food Research International*, 43(1), 376–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.10.009>
- Международная сеть органов по безопасности пищевых продуктов (ИНФОСАН). Электронный ресурс https://www.who.int/foodsafety/fs_management/infosan_1007_ru.pdf Дата обращения 15.03.2022
- ИНФОСАН No. 3/2006 — Пищевые аллергии. Электронный ресурс https://www.who.int/foodsafety/fs_management/No_03_allergy_June06_ru.pdf Дата обращения 15.03.2022.
- CXS1–1985 General Standard for the Labelling of Prepackaged Foods. Retrieved from https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh_proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B1-1985%252FCXS_001e.pdf Accessed March 14, 2022.
- Pinto, A.D., Pinto, P.D., Terio, V., Bozzo, G., Bonerba, E., Ceci, E. et al. (2013). DNA barcoding for detecting market substitution in salted cod fillets and battered cod chunks. *Food Chemistry*, 141(3), 1757–1762. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.093>
- Rasmussen, R. S., Morrissey, M. T. (2008). DNA-based methods for the identification of commercial fish and seafood species. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(3), 280–295. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00046.x>
- Regulation (EC) No 1224/2009 establishing a system for ensuring compliance with the common fisheries policy. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LSU/?uri=CELEX%3A32009R1224> Accessed March 14, 2022
- Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 laying down the general principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32002R0178> Accessed March 14, 2022
- Regulation (EU) No 1379/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 on the common organisation of the markets in fishery and aquaculture products, amending Council Regulations (EC) No 1184/2006 and (EC) No 1224/2009 and repealing Council Regulation (EC) No 104/2000 Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013R1379&qid=1649920599842> Accessed March 14, 2022
- Marko, P. B., Lee, S. C., Rice, A. M., Gramling, J. M., Fitzhenry, T. M., McAlister, J. S. et al. (2004). Mislabeling of a depleted reef fish. *Nature*, 430(6997), 309–310. <https://doi.org/10.1038/430309b>
- Logan, C. A., Alter, S. E., Haupt, A. J., Tomalty, K., Palumbi, S. R. (2008). An impediment to consumer choice: overfished species are sold as Pacific red snapper. *Biological Conservation*, 141(6), 1591–1599.
- Pardo, M. A., Jiménez, E., Pérez-Villarreal, B. (2016). Misdescription incidents in seafood sector. *Food Control*, 62, 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.10.048>
- Von Der Heyden, S., Barendse, J., Seebregts, A. J., Matthee, C. A. (2010). Misleading the masses: detection of mislabelled and substituted frozen fish products in South Africa. *ICES Journal of Marine Science*, 67(1), 176–185. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp222>
- Verrez-Bagnis, V., Sotelo, C. G., Mendes, R., Silva H., Kappel, K., Schröder, U. (2019). Methods for seafood authenticity testing in Europe. *Reference Series in Phytochemistry*, 2063–2117. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_69
- Agnew, D. J., Pearce, J., Pramod, G., Peatman T., Watson R., Beddington, J. R. et al. (2009). Estimating the worldwide extent of illegal fishing. *PLoS ONE*, 4(2), Article e4570. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004570>
- Galimberti, A., De Mattia, F., Losa, A., Bruni, I., Federici, S., Casiraghi, M. et al. (2013). DNA barcoding as a new tool for food traceability. *Food Research International*, 50(1), 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.036>
- Rasmussen Hellberg, R. S., Morrissey, M. T. (2011). Advances in DNA-based techniques for the detection of seafood species substitution on the commercial market. *Journal of Laboratory Automation*, 16(4), 308–321. <https://doi.org/10.1016/j.jala.2010.07.004>
- Bybee, S.M., Bracken-Grissom, H., Haynes, B.D., Hermansen R. A., Byers R. L., Clement M. J. et al. (2011). Targeted amplicon sequencing (TAS): A scalable next-gen approach to multilocus, multitaxa phylogenetics. *Genome Biology and Evolution*, 3(1), 1312–1323. <https://doi.org/10.1093/gbe/evr106>
- Rusk, N. (2010). Torrents of sequence. *Nature Methods*, 8(1), 44–44. <https://doi.org/10.1038/nmeth.f.330>
- Purushothaman, S., Toumazou, C., Ou, C.-P. (2006). Protons and single nucleotide polymorphism detection: A simple use for the Ion Sensitive Field Effect Transistor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 114(2), 964–968. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2005.06.069>
- МР 4.2.0019–11 Методические рекомендации. 4.2. Методы контроля. Биологические факторы. Идентификация сырьевого состава мясной продукции. Электронный ресурс https://www.rospotreb-nadzor.ru/upload/iblock/e6f/mr-4.2.0019_11.pdf Дата обращения 15.03.2022.
- Murray, M. G., Thompson, W. F. (1980). Rapid isolation of higher weight DNA. *Nuclear Acids Research*, 8(19), 4321–4325. <https://doi.org/10.1093/nar/8.19.4321>
- Boom, R., Sol, C. J. A., Salimans, M. M. M., Jansen C. L., Wertheim-Van Dillen, P. M. E., Van Der Noordaa, J. (1990). Rapid and simple method for purification of nucleic acids. *Journal of Clinical Microbiology*, 28(3), 495–503. <https://doi.org/10.1128/jcm.28.3.495-503.1990>
- Алексеев, Я. И. (2017). Разработка технологии молекулярно-генетического анализа генетически модифицированных сельскохозяйственных растений и продуктов их переработки. Автореф. дис. канд. биол. наук. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии, 2017.
- FDA. (2012). DNA-based seafood identification. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/science-research-food/dna-based-seafood-identification> Accessed March 01, 2022
- Wong, E. H.-K., Hanner, R. H. (2008). DNA barcoding detects market substitution in North American seafood. *Food Research International*, 41(8), 828–837. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.07.005>
- Панин, А. (2021). В каких консервах сайру заменяют более дешевой рыбой? Электронный ресурс <https://rskrf.ru/tips/spetsproekty/v-kakikh-konservakh-sayru-zamenayut-bolee-deshevoy-ryboy/> Дата обращения 01.02.2022.
- Торговые сети продают дешевую восточную скумбрию под видом дорогой атлантической. Электронный ресурс <https://www.spb-kontrol.ru/ekspertizy-2020/773-torgovye-seti-prodayut-deshevuyu-vostochnuyu-skumbriyu-pod-vidom-dorogoj-atlanticheskoy> Дата обращения 14.03.2022.
- Giusti, A., Armani, A., Sotelo, C. G. (2017). Advances in the analysis of complex food matrices: Species identification in surimi-based products using Next Generation Sequencing technologies. *Plos ONE*, 12(10), Article e0185586. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185586>
- Park, J.Y., Lee, S.Y., An, C.M., Kang J.-H., Kim J.-H., Chai J. C. et al. (2012). Comparative study between Next Generation Sequencing Technique and identification of microarray for Species Identification within blended food products. *Biochip Journal*, 6(4), 354–361. <https://doi.org/10.1007/s13206-012-6407-x>
- Bertolini, F., Ghionda, M.C., D'Alessandro, E., Geraci C., Chiofalo, V., Fontanesi, L. (2015). A next generation semiconductor based sequencing approach for the identification of meat species in DNA mixtures. *PLoS One*, 10(4), Article 0121701. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121701>
- Tillmar, A.O., Dell'Amico, B., Welander, J., Holmlund, G. (2013). A universal method for species identification of mammals utilizing next generation sequencing for the analysis of DNA mixtures. *PLoS One*, 8, Article e83761. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083761>

REFERENCES

- Barbuto, M., Galimberti, A., Ferri, E., Labra, M., Malandra, R., Galli, P. et al. (2010). DNA barcoding reveals fraudulent substitutions in shark seafood products: The Italian case of "palombo" (*Mustelus spp.*). *Food Research International*, 43(1), 376–381. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.10.009>
- INFOSAN — International Food Safety Authorities Network. Retrieved from https://www.who.int/foodsafety/fs_management/infosan_1007_ru.pdf Accessed March 14, 2022. (In Russian)
- Allergies. INFOSAN Information Note No. 3/2006 — Food allergies. Retrieved from https://www.who.int/foodsafety/fs_management/No_03_allergy_June06_ru.pdf Accessed March 14, 2022. (In Russian)
- CXS1–1985 General Standard for the Labelling of Prepackaged Foods. Retrieved from https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh_proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B1-1985%252FCXS_001e.pdf Accessed March 14, 2022.
- Pinto, A.D., Pinto, P.D., Terio, V., Bozzo, G., Bonerba, E., Ceci, E. et al. (2013). DNA barcoding for detecting market substitution in salted cod fillets and battered cod chunks. *Food Chemistry*, 141(3), 1757–1762. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.093>
- Rasmussen, R. S., Morrissey, M. T. (2008). DNA-based methods for the identification of commercial fish and seafood species. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7(3), 280–295. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2008.00046.x>
- Regulation (EC) No 1224/2009 establishing a system for ensuring compliance with the common fisheries policy. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LSU/?uri=CELEX%3A32009R1224> Accessed March 14, 2022
- Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 laying down the general principles and requirements of food law, establishing the European Food Safety Authority and laying down procedures in matters of food safety. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32002R0178> Accessed March 14, 2022
- Regulation (EU) No 1379/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 on the common organisation of the markets in fishery and aquaculture products, amending Council Regulations (EC) No 1184/2006 and (EC) No 1224/2009 and repealing Council Regulation (EC) No 104/2000 Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013R1379&qid=1649920599842> Accessed March 14, 2022
- Marko, P. B., Lee, S. C., Rice, A. M., Gramling, J. M., Fitzhenry, T. M., McAlister, J. S. et al. (2004). Mislabeling of a depleted reef fish. *Nature*, 430(6997), 309–310. <https://doi.org/10.1038/430309b>
- Logan, C. A., Alter, S. E., Haupt, A. J., Tomalty, K., Palumbi, S. R. (2008). An impediment to consumer choice: overfished species are sold as Pacific red snapper. *Biological Conservation*, 141(6), 1591–1599.
- Pardo, Miguel Ángel; Jiménez, Elisa; Pérez-Villarreal, Begoña (2016). Misdescription incidents in seafood sector. *Food Control*, 62(), 277–283. [doi:10.1016/j.foodcont.2015.10.048](https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.10.048)
- Von Der Heyden, S., Barendse, J., Seebregts, A. J., Matthee, C. A. (2010). Misleading the masses: detection of mislabelled and substituted frozen fish products in South Africa. *ICES Journal of Marine Science*, 67(1), 176–185. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsp222>
- Verrez-Bagnis, V., Sotelo, C. G., Mendes, R., Silva H., Kappel, K., Schröder, U. (2019). Methods for seafood authenticity testing in Europe. *Reference Series in Phytochemistry*, 2063–2117. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_69
- Agnew, D. J., Pearce, J., Pramod, G., Peatman T., Watson R., Beddington, J. R. et al. (2009). Estimating the worldwide extent of illegal fishing. *PLoS ONE*, 4(2), Article e4570. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004570>
- Galimberti, A., De Mattia, F., Losa, A., Bruni, I., Federici, S., Casiraghi, M. et al. (2013). DNA barcoding as a new tool for food traceability. *Food Research International*, 50(1), 55–63. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.09.036>
- Rasmussen Hellberg, R. S., Morrissey, M. T. (2011). Advances in DNA-based techniques for the detection of seafood species substitution on the commercial market. *Journal of Laboratory Automation*, 16(4), 308–321. <https://doi.org/10.1016/j.jala.2010.07.004>
- Bybee, S.M., Bracken-Grissom, H., Haynes, B.D., Hermansen R. A., Byers R. L., Clement M. J. et al. (2011). Targeted amplicon sequencing (TAS): A scalable next-gen approach to multilocus, multitaxa phylogenetics. *Genome Biology and Evolution*, 3(1), 1312–1323. <https://doi.org/10.1093/gbe/evr106>
- Rusk, N. (2010). Torrents of sequence. *Nature Methods*, 8(1), 44–44. <https://doi.org/10.1038/nmeth.f330>
- Purushothaman, S., Toumazou, C., Ou, C.-P. (2006). Protons and single nucleotide polymorphism detection: A simple use for the Ion Sensitive Field Effect Transistor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 114(2), 964–968. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2005.06.069>
- MR4.2.0019–11 Methodological recommendations. 4.2. Control methods. Biological factors. Identification of the raw material composition of meat products. Retrieved from https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/e6f/mr-4.2.0019_11.pdf Accessed March 14, 2022. (In Russian)
- Murray, M. G., Thompson, W. F. (1980). Rapid isolation of higher weight DNA. *Nuclear Acids Research*, 8(19), 4321–4325. <https://doi.org/10.1093/nar/8.19.4321>
- Boom, R., Sol, C. J. A., Salimans, M. M. M., Jansen C. L., Wertheim-Van Dillen, P. M. E., Van Der Noordaa, J. (1990). Rapid and simple method for purification of nucleic acids. *Journal of Clinical Microbiology*, 28(3), 495–503. <https://doi.org/10.1128/jcm.28.3.495-503.1990>
- Alekseev, Ya.I. (2017). Development of technology for molecular genetic analysis of genetically modified agricultural plants and their processed products. Author's abstract of the dissertation for the scientific degree of Candidate of Biological Sciences. Moscow: All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology, 2017. (In Russian)
- FDA. (2012). DNA-based seafood identification. Retrieved from <https://www.fda.gov/food/science-research-food/dna-based-seafood-identification> Accessed March 01, 2022
- Wong, E. H.-K., Hanner, R. H. (2008). DNA barcoding detects market substitution in North American seafood. *Food Research International*, 41(8), 828–837. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.07.005>
- Panin, A. (2021). In which canned saury is replaced with cheaper fish? Retrieved from <https://rskrf.ru/tips/spetsproekty/v-kakikh-konservakh-sayru-zamenyayut-bolee-deshevyy-ryboy/> Accessed February 01, 2022. (In Russian)
- Retail chains sell cheap oriental mackerel under the guise of expensive Atlantic. Retrieved from <https://www.spbkontrol.ru/ekspertizy-2020/773-torgovye-seti-prodayut-deshevuyu-vostochnuyu-skumbriyu-pod-vi-dom-dorogoj-atlanticheskoy> Accessed March 14, 2022. (In Russian)
- Giusti, A., Armani, A., Sotelo, C. G. (2017). Advances in the analysis of complex food matrices: Species identification in surimi-based products using Next Generation Sequencing technologies. *Plos ONE*, 12(10), Article e0185586. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185586>
- Park, J.Y., Lee, S.Y., An, C.M., Kang J.-H., Kim J.-H., Chai J. C. et al. (2012). Comparative study between Next Generation Sequencing Technique and identification of microarray for Species Identification within blended food products. *Biochip Journal*, 6(4), 354–361. <https://doi.org/10.1007/s13206-012-6407-x>
- Bertolini, F., Ghionda, M.C., D'Alessandro, E., Geraci C., Chiofalo, V., Fontanesi, L. (2015). A next generation semiconductor based sequencing approach for the identification of meat species in DNA mixtures. *PLoS One*, 10(4), Article 0121701. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121701>
- Tillmar, A.O., Dell'Amico, B., Welander, J., Holmlund, G. (2013). A universal method for species identification of mammals utilizing next generation sequencing for the analysis of DNA mixtures. *PLoS One*, 8, Article e83761. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083761>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Фомина Татьяна Алексеевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория молекулярной биологии и биоинформатики, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Начальник отдела молекулярно-диагностических исследований испытательной референс-лаборатории, Национальный центр безопасности продукции водного промысла и аквакультуры 129626, Москва, Графский переулок, д. 14–1 Тел.: +7–903–732–74–19 E-mail: fomina1032@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8848-0632	Tatyana A. Fomina, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Scientist, Laboratory of Molecular Biology and Bioinformatics, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Head of the Department of Molecular Diagnostic Research at the Testing Reference Laboratory, National Centre for Safety of Aquatic Fisheries Products and Aquaculture 14–1, Grafskiy per., 129626, Moscow, Russia Tel.: +7–903–732–74–19 E-mail: fomina1032@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8848-0632
Кулешова Мария Геннадьевна — аспирант, Лаборатория молекулярной биологии и биоинформатики, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Молекулярный биолог, Отдел молекулярно-диагностических исследований испытательной референс-лаборатории, Национальный центр безопасности продукции водного промысла и аквакультуры 129626, Москва, Графский переулок, д. 14–1 Тел.: +7–901–597–91–25 E-mail: mariakulg@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5581-7534	Mariya G. Kuleshova, Graduate Student, Laboratory of Molecular Biology and Bioinformatics, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Molecular Biologist, Department of Molecular Diagnostic Research at the Testing Reference Laboratory, National Centre for Safety of Aquatic Fisheries Products and Aquaculture 14–1, Grafskiy per., 129626, Moscow, Russia Tel.: +7–901–597–91–25 e-mail: mariakulg@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5581-7534
Минаев Михаил Юрьевич — кандидат технических наук, руководитель лаборатории Молекулярной биологии и биоинформатики, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7–495–676–95–11 (доб. 401) E-mail: m.minaev@fncps.ru https://orcid.org/0000-0002-0038-9744 * автор для контактов	Mikhail Yu. Minaev, Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory of Molecular Biology and Bioinformatics, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7–495–676–95–11 (401) E-mail: m.minaev@fncps.ru https://orcid.org/0000-0002-0038-9744 * corresponding author
Коноров Евгений Андреевич — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Лаборатория молекулярной биологии и биоинформатики, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7–985–153–31–88 E-mail: casqy@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8748-9117	Evgeniy A. Konorov, Candidate of Technical Sciences, Senior Research Scientist, Laboratory of Molecular Biology and Bioinformatics, V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7–985–153–31–88 e-mail: casqy@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8748-9117
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-94-99>

Received 31.03.2022

Accepted in revised 21.04.2022

Accepted for publication 29.04. 2022

© Smykov I. T., 2022



Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

MILK CURD SELF-SEGMENTATION IN CHEESEMAKING TANK

Igor T. Smykov

All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking, Uglich, Yaroslavl Region, Russia

KEY WORDS:

*milk gelation, cheesemaking,
Benard cells, gel self-segmentation*

ABSTRACT

The purpose of this work is to describe and study the previously unknown phenomenon of self-segmentation of a milk curd in an open-type cheesemaking tank. Based on the analysis of the kinetics of gel formation, it has been determined that self-segmentation of the gel begins near the gel point, develops over several tens of seconds, and becomes stable as the gel condenses. The segments in the milk curd do not have a definite regular shape; their average size varies from 5 to 50 cm. The shape and size of the segments do not repeat and do not correlate with the type of cheese being produced. The displacement of the segments of the milk curd in the cheesemaking tank relative to each other in height is from 0.5 to 2 mm. The width of the boundary layer between the curd segments increases during the secondary phase of gelation from 3 to 10 mm. As a result of experimental studies, it has been shown that self-segmentation of milk gel is caused by thermogravitational convection, which forms Benard convection cells. A description of a possible mechanism of milk gel self-segmentation in open-type cheesemaking tanks is proposed. The effective role of fat globules in the mechanism of self-segmentation of the milk curd has been noted. It has been suggested that self-segmentation of the milk curd in the cheesemaking tank may cause some organoleptic defects in the finished cheese, in particular inhomogeneity of texture and color.

FUNDING: The article was prepared as part of the research under the state assignment No. FNEN-2019-0010 of the "V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems" of the Russian Academy of Sciences.

ACKNOWLEDGEMENTS: The author expresses his deep gratitude to the experienced cheesemaker Natalya Moshkina, head of the experimental workshop of VNIIMS, for her invaluable assistance in conducting experimental research in the field of cheese manufacture.

Поступила 31.03.2022

Поступила после рецензирования 21.04.2022

Принята в печать 29.04.2022

© Смыков И. Т., 2022

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

САМОСЕГМЕНТАЦИЯ МОЛОЧНОГО СГУСТКА В СЫРОДЕЛЬНОЙ ВАННЕ

Смыков И. Т.

Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, Углич, Ярославская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*гелеобразование молока,
производство сыра, ячейки
Бенара, самосегментация геля*

АННОТАЦИЯ

Цель этой работы состоит в описании и исследовании ранее неизвестного явления самосегментации молочного сгустка в сыродельной ванне открытого типа. На основе анализа кинетики гелеобразования определено, что самосегментация геля начинается вблизи геле-точки, развивается в течение нескольких десятков секунд и закрепляется по мере уплотнения геля. Сегменты в молочном сгустке не имеют определённой правильной формы, их средний размер варьируется в пределах от 5 до 50 см. Форма и размеры сегментов не повторяются и не коррелируют с видом вырабатываемого сыра. Смещение сегментов молочного сгустка в сыродельной ванне относительно друг друга по высоте составляет от 0,5 до 2 мм. Ширина граничного слоя между сегментами сгустка увеличивается в процессе вторичной фазы гелеобразования от 3 до 10 мм. В результате проведенных экспериментальных исследований показано, что самосегментация молочного геля вызывается термогравитационной конвекцией, образующей циркуляционные ячейки Бенара. Предложено описание возможного механизма самосегментации молочного геля в сыродельных ваннах открытого типа. Отмечена действенная роль жировых шариков в механизме самосегментации молочного сгустка. Высказано предположение, что самосегментация молочного сгустка в сыродельной ванне может вызвать некоторые органолептические дефекты в готовом сыре, в частности неравномерность текстуры и неравномерность цвета.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FNEN-2019-0010 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

БЛАГОДАРНОСТИ: Автор выражает глубокую признательность опытному мастеру-сыроделу Наталье Мошкиной, заведующей экспериментальным цехом ВНИИМС, за неоценимую помощь в проведении экспериментальных исследований в области производства сыра.

1. Introduction

Many thousands of experienced cheesemakers-practitioners and research scientists have observed the formation of rennet milk curd in open cheesemaking kettles, vats and tanks, but

there is no mention in the literature of visible surface changes in the milk curd. Indeed, visually it is almost impossible to notice any changes on the surface of milk, except for the initial separation of whey, throughout the entire process of formation of

FOR CITATION: Smykov, I. T. (2022). Milk curd self-segmentation in cheesemaking tank. *Food systems*, 5(2), 94-99. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-94-99>

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Смыков, И. Т. (2022). Самосегментация молочного сгустка в сыродельной ванне. *Пищевые системы*, 5(2), 94-99. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-94-99>

the rennet curd. Especially if the milk is covered with foam that forms when the milk mixture is stirred.

The mechanism of the enzymatic phase of gelation in milk is well described in molecular terms in [1,2,3,4]. The influence of various environmental factors on it is quantitatively revealed. The initial aggregation of rennet-hydrolyzed casein micelles in this phase is confirmed by a series of micrographs obtained by different authors [5,6]. It is also noted that at the end of the enzymatic phase, cooperative conformational phase transitions occur in casein molecules, which drastically change the properties of casein micelles [7,8,9].

In the descriptions of the mechanism of the enzymatic phase of gelation, it is assumed that the milk is at rest, and the interactions between the enzyme molecules and κ -casein, intermicellar interactions of destabilized micelles occur due to the diffusion (Brownian) motion of particles. However, it is well known that agitation of milk in the fermentation phase prevents gel formation. The quantitative influence of the mixing factor and the intensity of residual movements of milk in the volume on the properties of the resulting gel remains unexplored.

The secondary phase of rennet coagulation [10] includes further aggregation of destabilized micelles, leading eventually to gel formation. The mechanism of micelle aggregation in this phase can be described by the von Smoluchowski theory for diffusion-limited aggregation (DLA) [11,12]. Diffusion of particles limits the rate of aggregation and is determined by random collision and connection of particles of destabilized micelles [13]. However, even for this phase of coagulation, the known models of gelation do not take into account the effect of mixing milk on the properties of the gel. In addition, the mixing of milk can occur spontaneously, both due to conformational transitions in casein micelles at the micro level [8], and due to convective flows in the cheesemaking tank at the macro level.

Gelation, which occurs under conditions of relative rest, is the conversion of milk from a colloidal dispersion into a continuous protein phase, which includes moisture and fat globules in its pores. A number of physicochemical changes accompany such a conversion in the system, for example, the light reflectance and thermal conductivity change. These changes can be used and are used to evaluate the kinetics of gelation in milk in various studies and in the industrial production of cheese.

It is obvious that the main attention of researchers is drawn to the disclosure of the patterns of rennet gelation at the microscopic level. However, for cheese manufacturers it is primarily important to ensure the high quality of cheeses, their attractiveness to consumers. Therefore, it is necessary to have clear ideas about at what stages of the cheese manufacture technology certain defects in the finished product may occur [14]. Much attention is also paid to this area of research. Thus, in [15] it is noted that in the United States of America up to 5% of produced cheese is lost or becomes less valuable due to quality problems annually. However, some manufacturers report large losses of 20 to 30% of their product due to quality defects.

The work [16] is devoted to the problems of assessing the quality of cheese texture, its defects and measures to prevent their occurrence. Texture plays a key role in consumer perception and the market value of cheeses. Therefore, the texture of food products is assessed using instrumental and organoleptic methods, which are discussed in [17]. The texture of cheese is directly related to its microstructure and therefore various microscopy methods are of great importance here [18]. This review discusses advances in the analysis of the microstructure of cheese, including new methods and how they can be applied to understand and improve the quality of cheese. Simultaneous assessment of the texture and color of cheeses can be performed using the segmentation algorithm of the cheese fracture image

in the color space [19]. For expert evaluation, a specially developed Likert scale was used.

Despite the fact that there are many theoretical and experimental studies on the process of gelation in milk, little attention has been paid to the influence of the size, shape and design of the reservoirs in which the formation of a milk curd occurs on its sensory characteristics.

The purpose of this study was to describe the discovered phenomenon of self-segmentation of a milk curd in a cheesemaking tank, to identify its causes, to determine the manifestations of self-segmentation and its possible impact on the quality of a milk curd.

2. Objects and methods

The studies were carried out in the experimental production workshop of the All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking, a branch of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems”.

In the studies, cow's milk was used from one supplier-manufacturer — AgriVolga LLC, Yaroslavl region, Uglich district, Burmasovo village.

Rennet enzyme 90, Extra (chymosin — 90%, beef pepsin — 10%), MSA — 100000 were used in the studies. Plant of endocrine enzymes, Moscow, Zelenograd, Russia;

Cheese manufacture was carried out in an industrial-experimental cheesemaking tank with a volume of 300 liters according to standard technological production processes: heating and pasteurization of milk in a tank at a temperature of 68 °C for 10 minutes; milk cooling; the addition of calcium chloride, liquid bacterial starter and enzyme preparation; mixing and coagulation of milk at a temperature of 35 ± 1 °C, cutting and further operations for cheese molding.

Studies were carried out in the manufacture of commercial semi-hard cheese “Rossiyskiy” — the mass fraction of fat in dry matter is 50%, the mass fraction of moisture is 43%;

The change in viscosity during the formation of a milk curd in a cheesemaking tank was assessed by the change in its thermal conductivity by the hot wire method [20,21,22]. In preparation for the research, an automated system for in-line control of the process of gelation kinetics in a cheesemaking tank was used, described in [23].

Additionally, two platinum resistance thermocouples were placed in the cheesemaking tank to measure the temperature of the milk gel, one of them in the upper part of the tank, the other — in the lower part. The control of the kinetics of gelation and temperature in different parts of the tank was carried out automatically, while recording the results of observations with an interval of 2 seconds.

Changes occurring on the surface of milk in a cheesemaking tank after the addition of an enzyme preparation and before cutting the curd were recorded under oblique illumination using an Epson H285B LCD projector (Japan) as an illuminator and a screen located perpendicular to the reflected light beam. The image obtained on the screen was recorded with a video camera synchronously with the temperature and viscosity of milk in the cheesemaking tank.

A total of 32 commercial cheese productions were analyzed. Statistical processing of the obtained results was carried out in the MS Excel 2010 program, at a significance level of 0.05.

3. Results and discussion

When carrying out long-term research work in the industrial cheesemaking workshop, we noted the distortion of the image of the production ceiling light on the surface of milk in an open cheesemaking tank in the secondary phase of the formation of a milk curd. Figure 1 gives the first photographs of the image of

a ceiling light on the surface of milk in the cheesemaking tank in the enzymatic gelation phase. These images served as the basis and starting point for further research.

Figure 1a gives the reflected image of the ceiling light from the surface of milk in the enzymatic phase of gelation; it is actually a mirror image, only slightly blurred due to small foam residues. The dark spots in the photographs are large remnants of milk foam.

After some time, approximately near the gel point of the milk curd, the image of the illuminator is sharply distorted and takes the form presented in Figure 1b. Obviously, such a distortion of the image can occur only with a local deviation of the reflecting surface of the milk curd from flatness. In turn, this means that in the cheesemaking tank there are previously unknown and unexplored internal dynamic processes that violate the integrity of the structure of the milk curd in the tank.

Further observations found that the distortion of the reflected image increases throughout the entire secondary phase of gelation. This means that the ongoing internal local processes lead to the separation of the curd in the cheesemaking tank into separate segments, the boundaries between which become more and more expressed. Figure 1c gives a photograph of the reflected image of the illuminator on the surface of milk in a cheesemaking tank before the curd is ready for cutting.

Investigations have also found that in the secondary phase of gelation on the surface of the milk gel in the cheesemaking tank, a previously undescribed phenomenon of gel self-segmentation is noted. This phenomenon can be seen in an open-type cheesemaking tank under very close watch with the naked eye; however, observations are greatly hampered by the foam on the surface of the milk that forms when it is stirred. Perhaps this is what previously prevented the detection of milk gel self-segmentation.

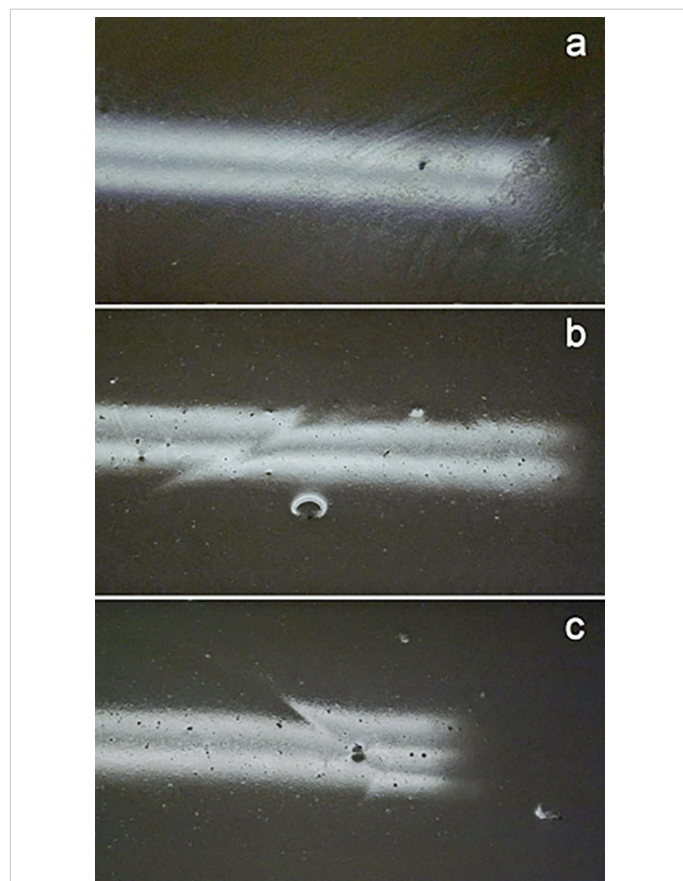


Figure 1. Image of a ceiling light reflected from the surface of milk in a cheesemaking tank during gelation

The phenomenon of self-segmentation of the gel is clearly visible under bright oblique illumination of the surface of the milk gel. Under oblique illumination, the reflective surface of milk strongly polarizes the light flux. In the LCD projector we used, the luminous flux from the light source is divided into three color (RGB) components, which pass through their polarizing filters located at different angles. Therefore, by rotating the projector around its optical axis, you can achieve maximum image contrast. In our case, the maximum image contrast was obtained with green light. In addition, the LCD projector makes it possible to form an image of regular bands of a certain width on the gel surface, which is necessary for assessing the size of the resulting segments and their boundaries.

Figure 2 gives photographs of the phenomenon of self-segmentation of a milk curd in a cheesemaking tank, obtained using oblique illumination. Photographs of the surface of the milk curd were taken immediately before the moment of its readiness for cutting. The width of the photos corresponds to the width of the cheesemaking tank — 80 cm.

Externally, Figures 1a and 1b differ significantly, however, these photographs were taken during the development of the same cheese in the same tank, but on different days.

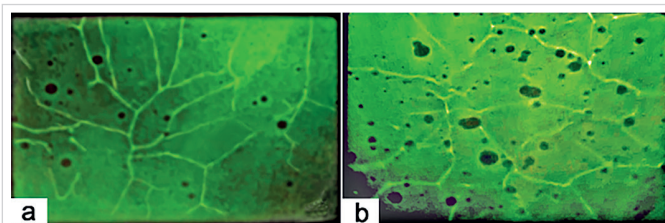


Figure 2. Photographs of self-segmentation of a milk curd in a cheesemaking tank

Self-segmentation of milk gel was repeatedly observed by us in the same cheesemaking tank and in different tanks and during the manufacture of different cheeses. At the same time, the shape of the segments and their sizes did not repeat, which did not allow us to reveal correlations between the morphology of self-segmentation and the size and shape of tanks, types of cheese, starter and enzymes, etc. Nevertheless, it can be noted that the time characteristics coincide and that the boundaries of the segments usually begin on the walls of the cheesemaking tank and the characteristic sizes of the segments are close.

The height of the displacement of milk curd segments relative to each other, the width and depth of the boundaries between the segments can be estimated using the light section method, which is widely used in the technique of measuring the unevenness of various surfaces [24]. To do this, an image of regular linear stripes of a certain width (raster) was projected onto the surface of a milk gel in a cheesemaking tank using an LCD projector. The displacement of black stripes on surface irregularities gives an idea of their width and depth. Numerical values can be obtained by measuring the surface distortion in fractions of a known black stripe width, taking into account the magnification and angle of the light source relative to the surface.

Figure 3 gives a photograph of the segmented surface of a milk curd in a cheesemaking tank, on which a line raster image is focused. Figure 4 gives an enlarged fragment of a segmented gel. The photographs clearly show that the surface of the milk curd has significant deviations from flatness, especially noticeable at the boundaries of the segments.

The watch on such deviations from flatness suggests that the milk curd in the tank is inhomogeneous in its physical properties. In some places, it can be denser, in others weaker; the ability to syneresis can also be different. Perhaps this does not affect the quality of the finished cheese, but it is also possible that the

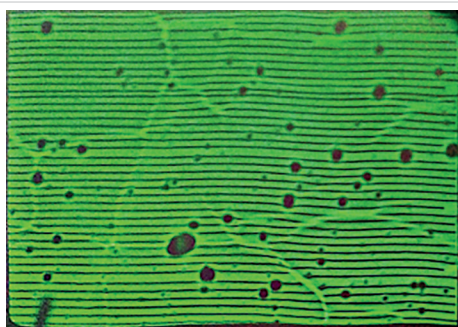


Figure 3. Image of a segmented milk curd with a raster overlay

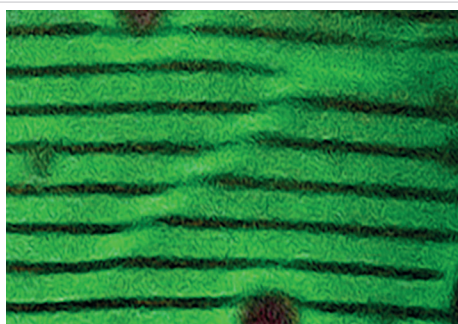


Figure 4. Enlarged photograph of a segmented milk curd

segmentation of the curd leads to various defects in the cheese, such as its color, and inhomogeneous texture.

As the photographs show, the border of the transition from one segment to another is smooth and can be convex, stepped or concave. Calculations demonstrate that with a width of images of black stripes on the bunch surface of 2.3 mm, the displacement of the stripes at the boundaries of the segments is from half to two times the width of the strip, the actual displacement of the segments in height is from 0.5 to 2 mm. In our opinion, this is a large value, and the fact that the phenomenon of milk curd self-segmentation was not previously described can be explained by its masking by a layer of foam formed during mixing. The width of the boundary layer between the gel segments increases during gelation from 3 to 10 mm.

The discovered phenomenon of milk gel self-segmentation primarily requires the resolution of two main questions: what causes self-segmentation and what is the practical significance of this phenomenon.

There may be several reasons causing self-segmentation of the gel during its formation. However, in our opinion, one of the main reasons is the thermal convection of the milk in the tank. To test this hypothesis, some studies of the thermodynamics of gelation in a cheesemaking tank were carried out.

Figure 5 gives the results of synchronous registration of changes in temperature and viscosity of the milk gel after the addition of the enzyme preparation. The results presented in Figure 5a were obtained with all three temperature sensors located in the middle of the cheesemaking tank at medium milk depth. Here, the nature of the change in the temperature of the milk gel, recorded by three closely spaced sensors, is the same, but one of the sensors has a systematic error caused by a calibration error. As can be seen from the graph, all three sensors simultaneously register a sharp stabilization of the milk temperature in the middle part of the tank after the gel point. If before the gel point the temperature of the milk in the bath gradually decreased due to natural cooling, then after the gel point it stabilized, which is evidently due to a significant

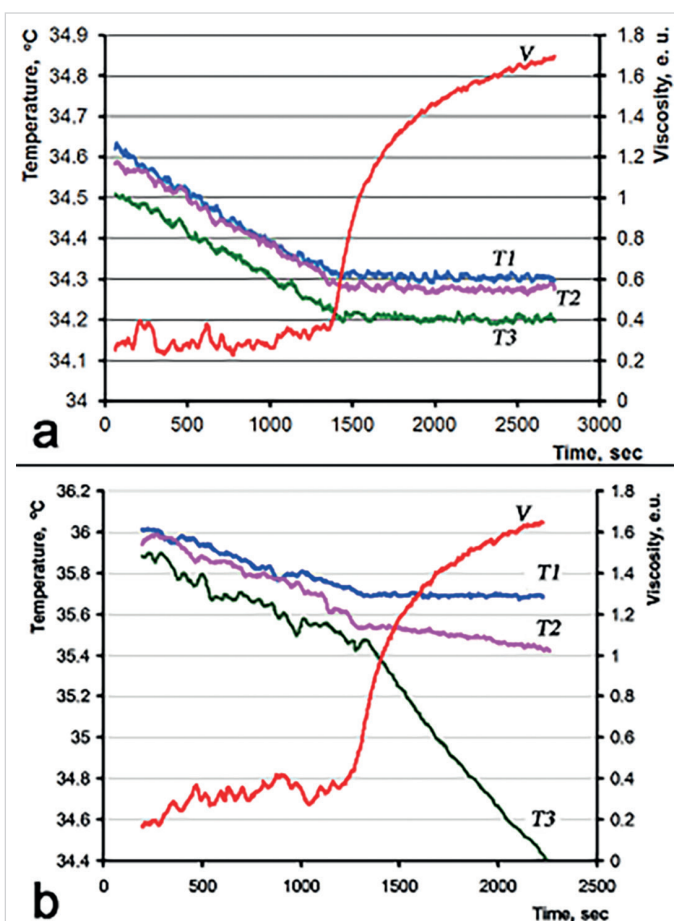


Figure 5. Changes in milk gel temperature in a cheesemaking tank

decrease in the thermal conductivity of the milk curd compared to milk.

Viscosity changes up to the gel point have significant spontaneous fluctuations in the region of the enzymatic phase, decreasing with time. Comparison of these fluctuations with synchronous video recording of phenomena on the surface of milk in the tank allows us to conclude that these fluctuations are caused by damped residual flows of milk after stopping the stirrer, which was working when the enzyme preparation was added. It should be noted here that the existence of residual flows and their role in the enzymatic phase of gelation is not taken into account in any way in the known models of the mechanism of gelation.

In the next experiment, changes in the temperature of milk in depth during gelation were carried out using three temperature sensors located at different heights along the same vertical in the middle part of the tank. One of them (*T1*, Figure 5b) was located at the average depth of milk in the tank, the second (*T2*) was in the depth of milk at a distance of 5 cm from the bottom of the tank, and the third (*T3*) at a depth of 5 cm from the surface of the milk. At the same time, using a Hot-Wire sensor, the change in viscosity (*V*) of the milk gel was recorded.

The obtained results show that in the primary enzymatic phase of gelation, there are practically no differences in the nature of temperature changes along the depth of milk. However, in the secondary phase of gelation, temperature changes along the depth of milk differ significantly. At the middle depth, the temperature of the milk is the highest and remains unchanged throughout this phase. Near the bottom of the tank, the temperature of milk is somewhat lower and slowly decreases, and near the surface, the temperature of milk is even lower than near the bottom and decreases much faster. Thus, the cooling of the

milk gel in the tank occurs both from below and from above, but more intensively from above. Obviously, these vertical temperature gradients in the cheesemaking tank cause convective movement of the milk as a whole and its components individually. As is known, convective flows coordinated within a certain volume can form Benard convection cells [25]. Cooling on the open surface of the cheesemaking tank, and hence the denser layers of milk fall down, and the warmer inner layers rise up. In our case, this temperature difference is small and, as follows from Figure 5, it is at the moment when the boundaries of the segments appear, i. e. close to the gel point, about 0.2 °C.

Stationary Benard convection cells are dissipative structures. Unlike equilibrium structures, dissipative structures are formed and preserved due to the exchange of energy and matter under nonequilibrium conditions. In known models, it is assumed that the kinematic viscosity and thermal diffusivity of the liquid are constant over time, and change only under the influence of temperature. In addition, it is expected that the liquid is homogeneous. In the case of enzymatic gelation in milk, the viscosity and thermal diffusivity change significantly not only with temperature, but also with time. It is especially important that milk is a complex heterogeneous system, the individual components of which have their own temperature-dependent parameters. For example, milk fat globules have positive buoyancy and a higher coefficient of volumetric expansion compared to other milk components, which, in the case of a temperature gradient, ensures their priority in organizing the convective movements of the liquid.

Evidently, the main factor in the occurrence of convective currents is the presence of a temperature gradient. As the graphs in Figure 5 show, near the time of the gel point, i. e. at the moment when the beginning of self-segmentation is observed, the milk temperatures are low at the bottom of the tank and on the surface, and the highest milk temperature is at an average depth. That is, in the upper part of the open-type tank, during the milk gelation, a negative temperature gradient ΔT occurs (Figure 6), which causes the emergence of circulating convection cells.

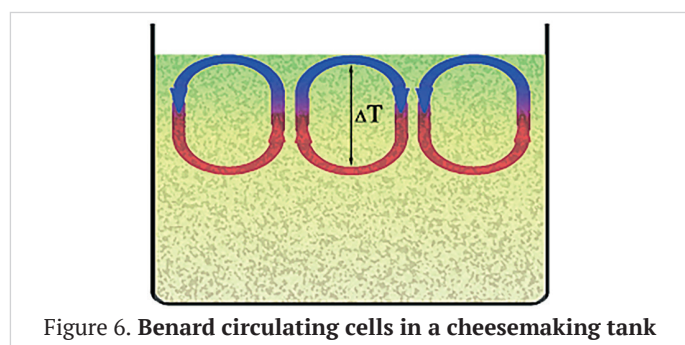


Figure 6. Benard circulating cells in a cheesemaking tank

At the same time, there is a positive temperature gradient in the lower part of the tank. This situation is also different from the conditions for the occurrence of Benard convection cells, where it is assumed that heating occurs from the lower side and cooling from the upper side. Therefore, it can be expected that

the existence of a two-level self-segmentation of the gel in a cheesemaking tank is also possible, but of a different type.

In general, the mechanism of milk gel self-segmentation in an open-type cheesemaking tank can be as follows. After adding rennet to the milk heated to the required temperature and thoroughly mixing it, hydrolysis of kappa-casein occurs. In the enzymatic phase of milk gelation, damped residual flows remain after intensive mixing. By the end of the fermentation phase, the milk in the tank is partially and unevenly cooled so that vertical temperature gradients are formed in it. When the state of milk approaches the gel point, loose aggregates (flakes) of destabilized paracasein micelles are formed in it. By this point in time, the temperature gradients in the tank reach a threshold value at which milk fat globules, which have a coefficient of thermal volume expansion significantly greater than the surrounding whey, begin to float actively. The floating-up of fat globules is initiated by the action of fluctuations of residual flows after mixing in places with the highest temperature gradient and is accompanied by the fact that fat globules carry along the flakes of paracasein micelles formed by this time. Reaching the surface, warmer volumes of liquid have a lower surface tension there and therefore spread over the surface. That particular process is observed during the expansion of segments on the surface of milk. The process of segment expansion ends when the dissipation of energy due to the increase in the viscosity of the gel exceeds the energy created by the lifting forces. After this, the gel is compacted, but its properties inside the segments and at its boundaries will be different.

Segments in the milk curd do not have a definite regular shape, their average size varies from 5 to 50 cm. Based on the proposed mechanism, the size and shape of the segments should depend on the state of the environment and the design of the cheesemaking tank.

Apparently, with a larger number of segments in the cheesemaking tank, the inhomogeneity of the milk curd in terms of its modulus of elasticity in the volume of the tank is greater, i. e. more difficult is the setting of grain and a greater spread of cheese grain in terms of its physical and chemical properties. The appearance of unacceptable color defects in the finished cheese in the form of spots and nonuniform color, as well as defects in the texture of the cheese is possible as well.

4. Conclusion

Comprehensive studies of the kinetics of gelation, temperature gradients in the cheesemaking tank and changes in the optical and geometric characteristics of the milk surface in the tank made it possible to identify and describe the phenomenon of milk gel self-segmentation.

A description of a possible mechanism of milk gel self-segmentation in open-type cheesemaking tanks based on the formation of Benard convection cells and the effective role of fat globules in this mechanism is proposed.

The research results show that self-segmentation of milk gel in a cheesemaking tank can lead to texture and color defects in the finished product, which requires further research.

REFERENCES

1. Lucey, J. A. (2020). Milk protein gels. Chapter in a book: *Milk proteins: From expression to food*. Oxford: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815251-5.00016-5>
2. Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., McSweeney P. L. H. (2017). Fundamentals of cheese science. Springer, New York, 2017.
3. Dalglish, D. G. (1993). The enzymatic coagulation of milk. Chapter in a book: Fox, P. F., (Ed.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol 1, (2nd edn. pp. 69–100) Chapman & Hall, London. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2650-6_3
4. Hyslop, D. B. (2003). Enzymatic coagulation of milk. Chapter in a book: Fox, P. F., McSweeney, P. L. H. (Eds.), *Advanced Dairy Chemistry, Vol. 1, Part B, Proteins*, (3rd edn., pp. 839–878). Kluwer Academic — Plenum Publishers, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3_24
5. Fox, P. F., Guinee, T. P. (2013). Cheese science and technology. Chapter in a book: Y. W. Park., G. F. W. Haenlein (Eds). *Milk and dairy products in human nutrition: Production, Composition and Health*. Wiley Blackwell, Oxford. <https://doi.org/10.1002/9781118534168.ch17>

6. Smykov, I. T. (2015). Kinetics of milk gelation. Part I. Coagulation mechanism. Chapter in a book: *Rheology: Principles, Applications and Environmental Impacts*. New York, NY: Nova Science Publications, 2015.
7. Arai, M., Kuwajima, K. (2000). Role of the molten globule state in protein folding. *Advanced Protein Chemistry*, 53, 209–282. [https://doi.org/10.1016/s0065-3233\(00\)53005-8](https://doi.org/10.1016/s0065-3233(00)53005-8)
8. Surkov, B. A., Klimovskii, I. I., Krayushkin, V. A. (1982). Turbidimetric study of kinetics and mechanism of milk clotting by rennet. *Milchwissenschaft*, 37, 393–395.
9. Farrel, Jr. H. M., Qi, P. X., Brown, E. M., Cooke, P. H., Tunick, M. H., Wickham, E. D. et al. (2002). Molten globule structures in milk proteins: Implications for potential new structure-function relationships. *Journal of Dairy Science*, 85(3), 459–471. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74096-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74096-4)
10. Green, M. L., Grandison, A. S. (1993). Secondary (non-enzymatic) phase of rennet coagulation and postcoagulation phenomena. Chapter in a book: Fox, P. F. (Ed.), *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, Vol. 1, *General Aspects*. (pp. 101–140) Elsevier Applied Science, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2650-6_4
11. Tuszynski, W. B. (1971). A kinetic model of the clotting of casein by rennet. *Journal of Dairy Research*, 3, 115–125.
12. Witten, T. A. Meakin, P. (1983). Diffusion-limited aggregation at multiple growth sites. *Physical Review A*, 28(10), 5632–5642. <https://doi.org/10.1103/PhysRevA.28.5632>
13. De Kruij, C. G., Holt, C. (2003). Casein micelle structure, functions and interactions. Chapter in a book: Fox, P. F., McSweeney, P. L. H. (Eds.), *Advanced Dairy Chemistry, Vol. 1, Part B, Proteins*, (3rd edn., pp. 233–276). Kluwer Academic — Plenum Publishers, New York.
14. Drake, M. A., Delahunty, C. M. (2017). Sensory Character of Cheese and Its Evaluation. Chapter in a book: P. L. H. McSweeney, P. F. Fox, P. D. Cotter, D. W. Everett (Eds.), *Cheese. Chemistry, Physics and Microbiology*, (2nd edn., pp. 517–545). Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-417012-4.00020-x>
15. Biango-Daniels, M. N., Wolfe, B. E. (2021). American artisan cheese quality and spoilage: A survey of cheesemakers' concerns and needs. *Journal of Dairy Science*, 104(5), 6283–6294. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19345>
16. Tunick, M. (2016). **Texture. Chapter in a book:** The Oxford Companion to Cheese, C. W. Donnelly (Ed.), Oxford University Press pp. 708–709.
17. Muthukumarappan, K., Karunanithy, C. (2021). Texture. Chapter in a book: *Handbook of Dairy Foods Analysis*. F. Toldrá, L. M. L. Nollet (Eds.), (2nd ed.). CRC Press Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9780429342967>
18. Ong, L., Li, X., Ong, A., Gras, S. L. (2022). New Insights into Cheese Microstructure. *Annual Review of Food Science*, 13, 89–115. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051812>
19. Danev, A., Bosakova-Ardenska, A., Boyanova, P., Panayotov, P., Kostadinova-Georgieva, L. (2019). *Cheese quality evaluation by image segmentation. Proceedings of the 20th International Conference on Computer Systems and Technologies — CompSysTech'19*. <https://doi.org/10.1145/3345252.3345258>
20. Hori, T. (1985). Objective measurements of the process of curd formation during rennet treatment of milks by the hot wire method. *Journal of Food Science*, 50(4), 911–917. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb12978.x>
21. Goncalves, B. J., Pereira, C. G., Lago, A. M. T., Goncalves, C. S., Giarola, T. M. O., Abreu, L. R. et al. (2017). Thermal conductivity as influenced by the temperature and apparent viscosity of dairy products. *Journal of Dairy Science*, 100(5), 3513–3525. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12051>
22. Miyawaki, O., Akalke, S., Yano, T., Ito, K., Saeki, Y. (1993). Shielded hot-wire viscosity sensor on-line for a flowing system using a shield of high thermal conductivity. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 57, 1816–1819. <https://doi.org/10.1271/bbb.57.1816>
23. Smykov, I. T. (2018). Milk curd cutting time determination in cheesemaking. *Food systems*, 1(2), 12–20. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-12-20> (In Russian)
24. Dennig, D., Bureick, J., Link, J., Diener, D., Hesse, C., Neumann, I. (2017). Comprehensive and highly accurate measurements of crane runways, profiles and fastenings. *Sensors*, 17(5), Article 1118. <https://doi.org/10.3390/s17051118>
25. Benard, H. (1901). Cell vortices in a liquid web. Optical methods of observation and recording. *Journal of Physics: Theories and Applications*, 10(1), 254–266. <https://doi.org/10.1051/jphystap:0190100100025400> (In French)

AUTHOR INFORMATION	СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Affiliation	Принадлежность к организации
Igor T. Smykov , Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Department of Physical Chemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-48532-9-81-21 E-mail: i_smykov@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5663-3662	Смыков Игорь Тимофеевич — доктор технических наук, главный научный сотрудник, Отдел физической химии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-48532-9-81-21 E-mail: i_smykov@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5663-3662
Contribution	Критерии авторства
Completely prepared the manuscript and is responsible for plagiarism	Автор самостоятельно подготовил рукопись и несет ответственность за плагиат
Conflict of interest	Конфликт интересов
The author declares no conflict of interest.	Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-100-106>

Поступила 11.04.2022

Поступила после рецензирования 29.04.2022

Принята в печать 06.05.2022

© Ульрих Е. В., Верхотуров В. В., 2022

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

ОСОБЕННОСТИ ФУД-ДИЗАЙНА НА 3D-ПРИНТЕРЕ. ОБЗОР

Ульрих Е. В.*, Верхотуров В. В.

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*фуд-дизайн, консистенция,
3D-печать, персонализация,
структура, вкусовые ощущения*

АННОТАЦИЯ

Технология 3D-печати привлекает большое внимание своей универсальностью и возможностью применения в различных отраслях производства, таких как аэрокосмическая промышленность, электроника, архитектура, медицина и пищевая промышленность. В пищевой промышленности данная инновационная технология называется фуд-дизайном. Трехмерная печать — это технология аддитивного производства, которая может помочь пищевой промышленности в разработке новых и более сложных пищевых продуктов и потенциально помогает производить продукты, адаптированные к конкретным потребностям. Как технология, которая создает продукты питания слой за слоем, 3D-печать может представить новую методологию создания реалистичных текстур продуктов питания путем точного размещения структурирующих элементов в продуктах питания, печати продуктов из нескольких материалов и проектирования сложных внутренних структур. Важным фактором приемлемости для потребителей, помимо внешнего вида и вкуса, является консистенция пищи. Пожилые люди и люди с дисфагией нередко страдают от недоедания из-за визуально и текстурно непривлекательной пищи. Целью данного обзора является изучение существующей литературы по 3D-печати и оценка последних разработок в области технологий, касающихся фуд-дизайна. В данном обзоре рассматриваются существующие работы по 3D-печати пищевых продуктов и последние разработки, касающиеся дизайна пищевых текстур. Обсуждаются преимущества и ограничения 3D-печати в пищевой промышленности, возможности печати на основе материалов и консистенции на основе моделей, а также будущие тенденции в 3D-печати, включая технологии приготовления пищи печатью на пищевых принтерах. Также подробно рассматриваются ключевые проблемы, препятствующие массовому внедрению 3D-печати.

Received 14.04.2022

Accepted in revised 29.04.2022

Accepted for publication 06.05.2022

© Ulrikh E. V., Verkhoturov V. V., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

FEATURES OF FOOD DESIGN ON A 3D PRINTER. A REVIEW

Elena V. Ulrikh*, Vasily V. Verkhoturov

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

KEY WORDS:

*food design, texture, 3D-printing,
personalization, structure, taste
sensations*

ABSTRACT

3D printing technology attracts considerable attention due to its versatility and possibility of using in different industries such as the aerospace industry, electronics, architecture, medicine and food industry. In the food industry, this innovative technology is called food design. 3D printing is a technology of additive manufacturing, which can help the food industry in the development of new and more complex food products and potentially help manufacture products adapted to specific needs. As a technology that create foods layer by layer, 3D printing can present a new methodology for creating realistic food textures by precise placement of structuring elements in foods, food printing from several materials and design of complex internal structures. In addition to appearance and taste, food consistency is an important factor of acceptability for consumers. The elderly and people with dysphagia not infrequently suffer from undernutrition due to visual or textual unattractiveness of foods. The aim of this review is to study the available literature on 3D printing and assess recent developments in food design technologies. This review considers available studies on 3D food printing and recent developments in food texture design. Advantages and limitations of 3D printing in the food industry, possibilities of printing based on materials and consistency based on models as well as future trends in 3D printing including technologies of food preparation by printing on food printers are discussed. In addition, key problems that prevent mass introduction of 3D printing are examined in detail.

1. Введение

Пищевая промышленность переживает смену парадигмы. Рост количества потребляемой населением пищи и стремление людей к новым индивидуальным ощущениям подталкивают производителей к разработке новых технологий, которые могут удовлетворить новые стандар-

ты потребителей [1]. Одна из таких новых технологий, 3D-печать, существует уже несколько десятилетий, однако только в 2007 году она впервые была применена в производстве пищевых структур [1]. С тех пор 3D-печать используется для создания визуально сложных геометрических структур, выходящих за рамки возможностей традиционных методов

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ульрих, Е. В., Верхотуров, В. В. (2022). Особенности фуд-дизайна на 3D-принтере. Обзор. *Пищевые системы*, 5(2), 100-106. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-100-106>

FOR CITATION: Ulrikh, E. V., Verkhoturov, V. V. (2022). Features of food design on a 3D printer. A review. *Food systems*, 5(2), 100-106. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-100-106>

производства продуктов питания [2,3]. В последнее время акцент сместился с визуальных аспектов пищевых продуктов на их контроль и персонализацию [3,4,5]. Продукты должны быть не только внешне привлекательными, но и обладать полезными питательными свойствами.

3D-печать также определяется другими терминами, такими как аддитивное многослойное производство, изготовление твердой произвольной формы и быстрое прототипирование [2,6,7]. Для простоты понимания 3D-печать — это термин, используемый для обозначения технологии продуктов питания с заданными свойствами.

Эта технология привлекла большое внимание общественности своей универсальностью и возможностью применения в различных отраслях производства, таких как аэрокосмическая промышленность, электроника, архитектура и медицина [8,9,10]. В секторе производства пищевых продуктов данная технология может быть использована для создания персонализированных пищевых продуктов, позволяющих создавать продукты питания с особыми характеристиками дизайна, вкуса и цвета, геометрической структурой, консистенцией и профилями питательных веществ [2,5,11,12].

Некоторые корпорации уже используют эту технологию при производстве своей продукции, например Hershey's (шоколад), Barilla (макароны и лапша), Ruffles (картофельные чипсы), Oreo (печенье) и Mazola (фрукты и овощи) [13]. При производстве мясных продуктов компании Aleph Farms [14] и Meatech [15] используют 3D-печать для производства мяса, выращенного в лаборатории, а Redefine Meat [16] и Novameat [17] применяют эту технологию для изготовления мяса на растительной основе.

Помимо вкуса и внешнего вида, одним из основных факторов приемлемости для потребителей является консистенция и ощущение пищи во рту [18,19,20]. В то время как вкус и внешний вид являются факторами, которые привлекают больше внимания во время производства и покупки продуктов питания, консистенция имеет решающее значение для пищевых предпочтений и также может представлять важность во время покупки [21].

В настоящее время наблюдается тенденция к снижению содержания соли, сахара и жира в пищевых продуктах, однако этот процесс имеет сложность реализации, так как перечисленные соединения являются структурными и консервирующими компонентами продуктов питания [22]. Сокращение количества соли, жира и сахара (или замена этих веществ) может осуществляться за счет использования альтернативных добавок, модификаций консистенции или неоднородного пространственного распределения соединений [22,23,24]. Однако более полезные продукты часто воспринимаются как непривлекательные и пресные по сравнению с их обычными аналогами [25,26].

Трехмерная печать — это инновационная, актуальная и, по мнению ученых, прорывная технология, которая постоянно расширяется, о чем свидетельствует растущее число обзоров, глав в книгах, а также исследовательских статей, публикуемых каждый год [1].

Цель этого обзора — изучить существующую литературу по 3D-печати и оценить последние разработки в области технологий, касающихся дизайна пищевых текстур.

2. Объекты и методы

Объектами данного исследования являлись научные публикации и патенты российских и зарубежных авторов по исследованию 3D-печати пищевых продуктов. Был проведен поиск в PubMed исследований, опубликованных в период с 1999 по 2022 годы, с использованием нескольких ком-

бинаций ключевых слов, включая следующие: 3D-печать, фуд-дизайн, пищевые продукты, вкусовые предпочтения, функциональные продукты питания, специализированное и персонализированное питание. Статьи, доступные только в виде рефератов, библиографии редакционных статей, а также статей, написанных не на английском и русском языках, были исключены. Основным методом исследования было обобщение [27]. В частности, были проанализированы статистические и исследовательские данные, относящиеся к исследованию существующих методов 3D-печати пищевых продуктов, их видового разнообразия, структуры и органолептических свойств.

3. Результаты и обсуждение

В то время как окончательное значение консистенции до сих пор не однозначно, консенсус, как это определено Международной организацией по стандартизации (ISO) [28], состоит в том, что консистенция включает в себя «все механические, геометрические и поверхностные атрибуты продукта, воспринимаемые средствами механических, тактильных и при необходимости зрительных и слуховых рецепторов» [18,21,28]. Другими словами, консистенция, по-видимому, охватывает все аспекты пищевого продукта, которые могут быть восприняты человеческими органами чувств, особенно руками и ртом.

Как восприятие консистенции, так и предпочтения у людей сильно различаются и зависят от личного опыта и культуры человека [21]. К примеру, в Японии существует более 400 терминов для описания консистенции пищи, в то время как в западных странах, таких как США и Австрия, только 78 и 105 соответственно [29].

Другой важной концепцией, которую следует учитывать, является сенсорное восприятие, или ощущение пищи во рту. Ощущение во рту определяется как ощущение консистенции пищи во время ее потребления [18]. Исследования показали, что консистенция и ощущение во рту играют важную роль в выборе пищи, при приеме пищи и даже в процессе насыщения [30,31].

На сенсорное восприятие потребителей влияют упаковка и текстурные, визуальные и тактильные свойства продуктов, что оправдывает ожидания в отношении продуктов и, следовательно, вероятность покупки [32]. Jansson-Boyd и Kobescak [33] показали, что на восприятие потребителями полезности пищи влияют визуальные имплицитные свойства поверхности. Ученые пришли к выводу, что сладкие продукты, такие как печенье, покупают с большей вероятностью, если они выглядят менее «здоровыми» и воспринимаются как более вкусные [33]. Также было обнаружено, что дизайн упаковки и рисунок поверхности влияют на сенсорное восприятие мороженого, чипсов, кофе и шоколадных напитков [34–36]. Авторы показали, что поверхности с гладкой консистенцией усиливают восприятие сладости мороженого, а шероховатые поверхности усиливают горечь кофе и соленость картофельных чипсов [34–36]. Представленные результаты могут быть полезны в продвижении более здоровых пищевых продуктов, играя с текстурными свойствами упаковки и продукта.

Оценка консистенции образцов часто выполняется с помощью реологического анализа и анализа профиля консистенции. Чаще всего изучаются текстурные свойства: твердость, когезивность, упругость, клейкость, возможность легкого измельчения при жевании и вязкость [9,20,37,38]. Твердость — это сила, необходимая для того, чтобы вызвать определенный уровень деформации, и способность пищевого продукта сохранять свою форму. Адгезионная способность связана со способностью склеивания компонен-

тов материалов и с силой, необходимой для разрыва связи между поверхностью образца и внешними поверхностями, с которыми образец соприкасается. Когезивность связана с клейкостью внутри самого образца и способностью образцов деформироваться до того, как они разорвутся. Упругость связана с эластичностью образцов и с их способностью восстанавливать свою первоначальную структуру после сжатия. Наконец, вязкость и возможность легкого измельчения при жевании связаны с энергией, необходимой для фрагментации и пережевывания пищи. Соответственно, при этом вязкость применяется только к полутвердым продуктам, а возможность легкого измельчения при жевании — к твердым продуктам [38–40].

Как упоминалось выше, 3D-печать можно применять для создания новых структур с индивидуальной консистенцией, вкусом и питательным профилем [12,13,41]. Ее также можно использовать для создания новых и сложных геометрических форм, которые придают печатной продукции уникальные характеристики [11].

Трехмерную печать можно применять для разработки более здоровых пищевых продуктов с пониженным содержанием жира, сахара и соли [31]. Одним из способов достижения этого является компонентная пространственная дисперсия материалов [26,27,31]. Например, диспергирование капелек жира во внешних слоях пищевых продуктов может повлиять на физико-химические свойства продуктов и создать более приятное ощущение во рту, в то время как неоднородное распределение соли или сахара по пищевым продуктам может улучшить их органолептические качества,

способствуя производству более здоровых пищевых продуктов со сниженным уровнем этих компонентов [26,28,29,42].

Одним из основных препятствий для использования 3D-печати является отсутствие изобилия материалов для печати. Подходящий материал должен иметь определенные характеристики для печати [2,43]. Материалы были разделены на три категории: продукты, пригодные для печати (гели, пасты, тесто), продукты, не предназначенные для печати (мясо, рыба, овощи) и альтернативные ингредиенты (насекомые, водоросли) [25,27,31].

На Рисунке 1 представлены этапы процесса 3D-печати продуктов питания, от выбора используемого материала, моделирования и нарезки 3D-структуры до методов 3D-печати и применяемой постобработки [1].

Во время процесса печати некоторые параметры такие как, скорость печати и скорость двигателя, диаметр наконечника иглы, высота иглы, скорость экструзии, температура) могут вызывать изменения в печатных структурах [3,11,29]. Следовательно, существует необходимость оптимизации состава материалов и параметров процесса печати, чтобы сбалансировать оптимальные условия и получить желаемый результат [27,33,38,40,44].

Разработчиками были предложены некоторые методологии и рекомендации с целью ускорения оценки пригодности материалов для печати и оптимизации рецептов пищевых продуктов [44,45]. Чтобы стандартизировать измерение пригодности материалов для печати, Kim с соавторами [45] предложил систему классификации пригодности для печати с использованием гидроколлоидов. Авторы выбрали метил-



Рисунок 1. Этапы процесса 3D-печати продуктов питания [1]

Figure 1. Stages of 3D food printing process [1]

целлюлозу в качестве эталонного материала и использовали ее стабильность и эксплуатационные свойства для разработки категоризированной (А, В, С и D) системы для пищи, полученной фуд-дизайном, позволяющей классифицировать пригодность пищевых продуктов для печати по сравнению с эталонным материалом. Тем не менее при сравнении эталонного материала с печатными пищевыми материалами наблюдались некоторые расхождения в скорости деформации. Эти различия заключались в количестве компонентов состава: у пищевых материалов состав многокомпонентный, в то время как у эталонного материала — однокомпонентный [45]. Чтобы облегчить процесс составления рецептуры и печати, Zhu с соавторами [44] изучили взаимосвязь между реологическими свойствами материалов и характеристиками печати, используя томатное пюре в качестве эталона, и разработали рациональное руководство, которое применяет напряжение текучести в качестве критерия при разработке рецептур пищевых продуктов. Данное руководство может быть применено при разработке рецептур на водной основе благодаря их хорошей корреляции с эталонным материалом, однако оно не может использоваться при создании рецептур продуктов на жировой основе. Это связано с тем, что такие продукты имеют отчетливую печать, схожую с печатью эталонным томатным пюре [44].

Большинству материалов требуются усилители текучести, чтобы они стали пригодными для печати или с целью улучшения их пригодности для печати [38,46]. Для этого в подавляющем большинстве исследований используются гидроколлоиды для обеспечения и улучшения вязкоупругих свойств, необходимых для экструдированного материала [28,38,47]. Гидроколлоиды увеличивают вязкость составов, позволяя повысить степень их экструзии, в дополнение к увеличению структурной стабильности и твердости печатной продукции [48–50]. Однако следует уделять некоторое внимание используемым гидроколлоидам и их концентрации, поскольку эти факторы могут привести к чрезмерной твердости составов, затрудняющих процесс экструзии и приводящих к плохой точности печати [50].

Для пищевой промышленности большая часть исследований по 3D-печати пищевых продуктов описывает экструзионную печать, и многие расходные материалы для 3D-принтеров предназначены именно для экструзионного способа. Материалы должны иметь псевдопластическое истончение при сдвиге с достаточной вязкостью, чтобы течь через иглу, и с достаточной эластичностью, чтобы восстановить свою структуру при печати [26,29,35].

Для 3D-печати применялись различные источники материалов, наиболее часто используемые из которых — шоколад, картофель и тесто [6,7,35,45,51,52]. В качестве альтернативных источников материала были введены грибы, мука насекомых и водоросли [9,28,53–55].

Большое внимание уделяется разработке здоровых пищевых продуктов, богатых клетчаткой, напечатанных на 3D-принтере [4,9,10]. Однако печать материалов с высоким содержанием волокон, в частности, является сложной задачей из-за характеристик материалов и связующих свойств, при которых материал может забивать сопло и препятствовать непрерывной экструзии [4,9,10]. Высокое содержание клетчатки также связано с хрупкими структурами из-за агрегации частиц. Было обнаружено, что добавление обезжиренного молока и гидроколлоидов уменьшало эти проблемы [10,56]. Тем не менее разработка и печать снежков, богатых клетчаткой, из нескольких пищевых материалов (грибы, композитная мука, шпинат) были успешными, и по крайней мере два из них получили хорошую приемлемость на сенсорных панелях [4,9,10,56].

Ферменты, такие как трансглютаминаза, также применялись для улучшения пригодности для печати материалов, используемых в мясных конструкциях, таких как сурими, индейка и пюре из морского гребешка [57,58].

Что касается консистенции, Le Tohic с соавторами [37] доказали, что процесс печати вызвал значительные изменения консистенции образцов сыра. Авторы подтвердили, что напечатанный сыр имел меньшую твердость, толщину, клейкость и более высокую плавкость, чем необработанный сыр, что было объяснено результатом воздействия тепла и напряжения сдвига во время процесса печати, которые вызвали структурные изменения в жировых шариках. В результате получились более мягкие структуры [37]. Диаметр сопла и скорость печати также вызывали структурные изменения твердости и ломкости конструкций из рисового крахмала, при этом большие диаметры иглы создавали печатные структуры с повышенной твердостью [38]. Точно так же Huang и его соавторы [20] оценили параметры печати (диаметр иглы), уровни заполнения и влияние периметра на точность печати и текстурные свойства отпечатков коричневого риса [20]. Наибольшая точность печати была достигнута за счет меньшего диаметра сопла и более широкого периметра [20]. Авторы заметили, что при увеличении диаметра иглы конструкции из коричневого риса переходили от мягкой консистенции к более твердой консистенции [20].

Биопечать культур живых клеток, широко используемая при создании каркасов для протезов и тканей органов, также может создавать более реалистичные консистенции пищевых продуктов. Было предложено включение тканей каллусных клеток салата и моркови в гидроколлоидные матрицы и их использование в качестве печатных материалов для имитации консистенции реальной пищи [43,59]. Vancauwenberghe с соавторами [43] применили инкапсулированные клетки салата в пектиновых матрицах, используя бычий сывороточный альбумин для создания пористости. Было показано, что на механическую прочность матриц салата/пектина положительно влияет концентрация пектина и отрицательно — пористость и концентрация клеток. Концентрация пектина влияла на жизнеспособность клеток, а более высокие концентрации препятствовали жизнеспособности [43]. Park и соавторы [59] включили клетки моркови в матрицы из альгината натрия и дополнили их с помощью ионов кальция. Было показано, что размерность структур зависит от плотности клеток, при этом более высокие концентрации приводят к отпечаткам с более низким разрешением. Механическая прочность морковно-альгинатной матрицы зависела от концентрации альгината и пролиферации клеток. Снижение твердости структур объясняли ростом клеток и образованием неравномерных скоплений клеток [59]. Оба исследования доказали, что можно печатать 3D-ткань растительных клеток с хорошей пригодностью для печати и структурной точностью для имитации настоящей пищи. Однако для разработки реалистичных текстур необходимы дополнительные исследования по улучшению свойств конструкций [43,59].

Использование материалов с различными характеристиками для создания многослойных структур с новыми консистенциями почти не применялось в других продуктах, и мало что известно о влиянии многослойных структур на воспринимаемую текстуру печатных конструкций. Для этой цели можно использовать принтеры с несколькими печатающими головками, при этом каждое сопло наносит разный материал, создавая сложные структуры из нескольких материалов с лучшим контролем над распределением и составом материалов [49]. Liu, Zhang и Bhandari [49] применили две различные методологии на принтере с двойной экструзией

Таблица 1. Влияние параметров внутренней структуры исходных материалов на свойства консистенции печатной продукции

Table 1. Effect of the internal structure parameters of initial raw materials on properties of printed product consistency

Материал	Вид принтера	Геометрическая форма	Изучаемые параметры	Воздействие на печатную продукцию	Источник
Злаки	3D-принтер Дельта 2039	Параллелепипед с внутренними кубами		Размер и положение пор влияют на печатную продукцию; Пористость отрицательно влияет на вес, влажность и активность воды; Пористость влияет на твердость, которая уменьшается со снижением относительной плотности печатной продукции	[8]
Тесто	3D-принтер	Куб, конус и сфера	Давление сжатия (300, 400, 500, 600 и 700 кПа); скорость движения иглы (3, 6, 9, 12 и 15 мм/с); диаметр иглы (0,25, 0,41, 0,58, 0,84 и 1,19 мм); уровни заполнения принтера (10, 30, 50, 70 и 100%)	Наилучшие результаты печати наблюдаются при давлении 600 кПа, скорости печати 6 мм/с, диаметре иглы 0,58 мм и уровне заполнения 50%; Добавление оливкового масла и порошка манго снижает твердость, но повышает эластичность и упругость печатной продукции; Процесс печати приводит к дальнейшему снижению твердости, клейкости, эластичности и упругости	[49]
Темный шоколад	Принтер с ротационной экструзией (Porimy 1.0)	Цилиндр со звездой, кривой Гильберта и внутренними узорами в виде сот	Уровни заполнения принтера (5, 30, 60 и 100%);	Уровень заполнения влияет на вес печатной продукции, что в свою очередь влияет на пустоты в конструкциях; Повышение процента заполнения приводит к увеличению веса отпечатков и уменьшению доли пустот в конструкциях; Увеличение уровня начинки также повышает твердость продуктов, но даже 100% начинка имеет меньшую твердость, чем литой шоколад; Звездообразные и сотовые узоры обеспечивают наибольшую стабильность и твердость при 60% заполнении отпечатков	[52]

для создания структур из нескольких материалов с использованием картофельного пюре и клубничного варенья. Одна методология заключалась в разработке различных 3D-моделей с последующим объединением в stl. файлы и назначение отдельных частей экструдеру, в то время как другая методология создавала 3D-модель и назначала разные части одной и той же модели каждому экструдеру. Обе методологии позволяют создавать визуально привлекательные структуры из нескольких материалов и изготавливать различные консистенции в одних и тех же продуктах, чередуя слои с разными консистенциями [49].

Помимо материала, используемого в печатной продукции, структура также может влиять на воспринимаемую консистенцию продукта. В 3D-печати создание отчетливых текстурных свойств в пищевых конструкциях достигается за счет введения пор в проектируемую модель и посредством печати изделий с различной внутренней структурой [32,35,60].

В Таблице 1 перечислены некоторые исследования, в которых проверялось влияние параметров внутренней структуры исходных материалов на консистенцию печатной продукции [1].

Анализ Таблицы 1 позволил сделать вывод о том, что параметры внутренней структуры (такие как рисунок, уровень и объем пустот) влияют на структурные свойства и свойства консистенции печатной пищи.

Знание влияния параметров на готовую продукцию позволяет более контролируемо изменять внутреннюю структуру для производства индивидуальных продуктов. Доказано, что технология трехмерной печати способна настраивать свойства консистенции печатной продукции путем изменения внутреннего структурного дизайна, что позволяет разрабатывать новые органолептические характеристики [35,55].

Различные материалы имеют разные характеристики жидкости, и, поскольку пищевые рецептуры состоят из разных компонентов, которые могут изменить динамику чернил, всегда существует необходимость оптимизации рецептур для достижения рациональных характеристик печати [40,49,61]. Что касается дизайнов, важным требованием

является настройка различных переменных, участвующих в печати образцов, поскольку дизайны становятся более сложными [22,36,62]. Разработка компьютерных моделей, учитывающих эти факторы и предсказывающих влияние переменных на процесс печати, теоретически могла бы ускорить весь процесс [63].

Принятие трехмерной печати широчайшим потребителем, по-видимому, зависит от осведомленности людей о технологии и ее преимуществах. Дальнейшее распространение информации о потенциале 3D-печати может помочь повысить восприимчивость потребителей к этой новой технологии [64].

4. Выводы

Трехмерная печать — это инструмент, который может произвести революцию в пищевой промышленности и способствовать эпохе персонализации, позволяя разрабатывать продукты, адаптированные к конкретным индивидуальным потребностям. Благодаря дизайну консистенции можно добиться производства более здоровых пищевых продуктов с меньшим содержанием соли, сахара и масла. В 3D-печати консистенция еды может быть разработана с помощью печати из нескольких материалов и проектирования сложных внутренних структур. На данный момент в существующей литературе, по-видимому, предполагается, что печатные пищевые продукты обладают отличной консистенцией по сравнению с традиционными продуктами — например, имеют более низкий уровень твердости, чем их традиционные аналоги, что делает их возможными альтернативами, подходящими для людей с проблемами глотания.

Численное моделирование может быть использовано для оценки печатных свойств материалов и оптимизации параметров печати. Кроме того, как и в случае применения любой другой новой технологии, следует принимать во внимание осведомленность потребителей о продуктах питания, напечатанных на 3D-принтере, и отношение населения к таким пищевым продуктам. Также следует инициировать дальнейшие рекламные и образовательные инициативы, чтобы подчеркнуть преимущества 3D-печати.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Pereira, T., Barroso, S., Gil, M. M. (2021). Food Texture Design by 3d Printing: A Review. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(2), Article 320. <https://doi.org/10.3390/foods10020320>
- Godoi, F. C., Prakash, S., Bhandari, B. R. (2016). 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. *Journal of Food Engineering*, 179, 44–54. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025>
- Sun, J., Zhou, W., Yan, L., Huang, D., Lin, L. — Y. (2018). Extrusion-based food printing for digitalized food design and nutrition control. *Journal of Food Engineering*, 220, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.028>
- Krishnaraj, P., Anukiruthika, T., Choudhary, P., Moses, J. A., Anandharamakrishnan, C. (2019). 3D extrusion printing and post-processing of fibre-rich snack from indigenous composite flour. *Food and Bioprocess Technology*, 12(10), 1776–1786. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02336-5>
- Derossi, A., Caporizzi, R., Azzollini, D., Severini, C. (2018). Application of 3D printing for customized food. A case on the development of a fruit-based snack for children. *Journal of Food Engineering*, 220, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.015>
- Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. (2018). Impact of rheological properties of mashed potatoes on 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.017>
- Yang, F., Zhang, M., Prakash, S., Liu, Y. (2018). Physical properties of 3D printed baking dough as affected by different compositions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 49, 202–210. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.01.001>
- Derossi, A., Caporizzi, R., Ricci, I., Severini, C. (2019). Critical variables in 3D food printing. Chapter in a book: Fundamentals of 3D Food Printing and Applications: Academic Press, Cambridge, MA: USA. 2019. 41–91.
- Keerthana, K., Anukiruthika, T., Moses, J. A., Anandharamakrishnan, C. (2020). Development of fiber-enriched 3D printed snacks from alternative foods: A study on button mushroom. *Journal of Food Engineering*, 287, Article 110116. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110116>
- Lille, M., Nurmela, A., Nordlund, E., Metsä-Kortelainen, S., Sozer, N. (2018). Applicability of protein and fiber-rich food materials in extrusion-based 3D printing. *Journal of Food Engineering*, 220, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.034>
- Pérez, B., Nykvist, H., Brøgger, A. F., Larsen, M. B., Falkeborg, M. F. (2019). Impact of macronutrients printability and 3D-printer parameters on 3D-food printing: A review. *Food Chemistry*, 287, 249–257. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.090>
- Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Yan, L. (2018). 3D food printing: Perspectives. Chapter in a book: Polymers for Food Applications: Springer International Publishing: Cham, Switzerland. 2018. 725–755.
- Kakuk, C. (2019). The Ultimate Guide to 3D Food Printing. Retrieved from <http://ww16.3dfoodprinting.us/wp-content/uploads/2019/04/The-Ultimate-Guide-to-3D-FoodPrinting041419.pdf?sub1=20210202-2030-1540-a773-f044d95581d1> Accessed April 8, 2022.
- Aleph Farms Aleph Farm Meat Growers. Retrieved from <https://aleph-farms.com/> Accessed April 8, 2022.
- Meatech Meatech 3D Printed Clean and Real Meat. Retrieved from <https://meatech3d.com/#intro> Accessed April 7, 2022.
- Redefine Meat for the Love of Meat. Redefine Meat. Why Redefine Meat? Retrieved from <https://www.redefinemeat.com/>. Accessed April 7, 2022.
- Novameat Barcelona Novameat Plant-Based Meat. Retrieved from <https://www.novameat.com/>. Accessed April 7, 2022.
- Stokes, J. R., Boehm, M. W., Baier, S. K. (2013). Oral processing, texture and mouthfeel: From rheology to tribology and beyond. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 18(4), 349–359. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2013.04.010>
- Sethupathy, P., Moses, J.A., Anandharamakrishnan, C. (2021). Food oral processing and tribology: Instrumental approaches and emerging applications. *Food Reviews International*, 37(5), c. 538–571. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1710749>
- Huang, M. — S., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Assessing the 3D printing precision and texture properties of brown rice induced by infill levels and printing variables. *Food and Bioprocess Technology*, 12(7), 1185–1196. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02287-x>
- Chen, J., Rosenthal, A. (2015). Food texture and structure. Chapter in a book: Modifying Food Texture: Novel Ingredients and Processing Techniques: Volume 1: Woodhead Publishing: Cambridge: UK. 2015. 3–24.
- Stieger, M., Van de Velde, F. (2013). Microstructure, texture and oral processing: New ways to reduce sugar and salt in foods. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 18(4), 334–348. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2013.04.007>
- Di Monaco, R., Miele, N.A., Cabisidan, E. K., Cavella, S. (2018). Strategies to reduce sugars in food. *Current Opinion in Food Science*, 19, 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.03.008>
- Mosca, A. C., Rocha, J. A., Sala, G., van de Velde, F., Stieger, M. (2012). Inhomogeneous distribution of fat enhances the perception of fat-related sensory attributes in gelled foods. *Food Hydrocolloids*, 27(2), 448–455. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.11.002>
- Chung, C., McClements, D. J. (2015). Structure and texture development of food-emulsion products. Chapter in a book: Modifying Food Texture: Novel Ingredients and Processing Techniques: Volume 1: Woodhead Publishing: Cambridge: UK. 2015. 133–155.
- Raghunathan, R., Naylor, R. W., Hoyer, W. D. (2006). The unhealthy — Tasty intuition and its effects on taste inferences, enjoyment, and choice of food products. *Journal of Marketing*, 70, 170–184. <https://doi.org/10.1509/jmkg.70.4.170>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G. et al. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), Article e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- International Organization for Standardization (ISO) (2020). Sensory Analysis-Methodology-Texture Profile (ISO 11036) ISO: Geneva: Switzerland. 2020.
- Mouritsen, O. G., Styrbaek, K. (2017). Mouthfeel. How Texture Makes Taste. Chapter in a book: Columbia University Press: New York: USA. 2017.
- McCrickard, K., Forde, C. G. (2016). Sensory influences on food intake control: Moving beyond palatability. *Obesity Reviews*, 17(1), 18–29. <https://doi.org/10.1111/obr.12340>
- Biswas, D., Szocs, C., Krishna, A., Lehmann, D. R. (2014). Something to chew on: The effects of oral haptics on mastication, orosensory perception, and calorie estimation. *Journal of Consumer Research*. 41(2), 261–273. <https://doi.org/10.1086/675739>
- Pramudya, R. C., Seo, H.-S. (2019). Hand-feel touch cues and their influences on consumer perception and behavior with respect to food products: A review. *Foods*, 8(7), Article 259. <https://doi.org/10.3390/foods8070259>
- Jansson-Boyd, C. V., Kobescak, M. (2020). To see is to hold: Using food surface textures to communicate product healthiness. *Food Quality and Preference*, 81, Article 103866. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103866>
- Van Rompay, T. J. L., Groothedde, S. (2019). The taste of touch: Enhancing saltiness impressions through surface texture design. *Food Quality and Preference*, 73, 248–254. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.11.003>
- Van Rompay, T. J. L., Kramer, L.-M., Saakes, D. (2018). The sweetest punch: Effects of 3D-printed surface textures and graphic design on ice-cream evaluation. *Food Quality and Preference*, 68, 198–204. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.02.015>
- Van Rompay, T. J. L., Finger, F., Saakes, D., Fenko, A. (2017). «See me, feel me»: Effects of 3D-printed surface patterns on beverage evaluation. *Food Quality and Preference*, 62, 332–339. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.12.002>
- Le Tohic, C., O'Sullivan, J. J., Drapala, K. P., Chartrin, V., Chan, T., Morrison, A. P. et al. (2018). Effect of 3D printing on the structure and textural properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 220, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.02.003>
- Oyinloye, T. M., Yoon, W. B. (2021). Stability of 3D printing using a mixture of pea protein and alginate: Precision and application of additive layer manufacturing simulation approach for stress distribution. *Journal of Food Engineering*, 288, Article 110127. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110127>
- Yang, F., Zhang, M., Bhandari, B., Liu, Y. (2018). Investigation on lemon juice gel as food material for 3D printing and optimization of printing parameters. *LWT — Food Science and Technology*, 87, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.054>
- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 15(4), 215–225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3295\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3295(01)00039-8)
- Le-Bail, A., Maniglia, B. C., Le-Bail, P. (2020). Recent advances and future perspective in additive manufacturing of foods based on 3D printing. *Current Opinion in Food Science*, 35, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.01.009>
- Mosca, A. C., Bult, J. H. F., Stieger, M. (2013). Effect of spatial distribution of tastants on taste intensity, fluctuation of taste intensity and consumer preference of (semi-)solid food products. *Food Quality and Preference*, 28(1), 182–187. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2012.07.003>
- Vancauwenberghe, V., Baiye Mfortaw Mbong, V., Vanstreels, Els., Verboven, P., Lammertyn, J., Nicolai, B. (2019). 3D printing of plant tissue for innovative food manufacturing: Encapsulation of alive plant cells into pectin based bio-ink. *Journal of Food Engineering*, 263, 454–464. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.12.003>
- Zhu, S., Stieger, M. A., van der Goot, A. J., Schutyser, M. A. I. (2019). Extrusion-based 3D printing of food pastes: Correlating rheological properties with printing behaviour. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 58, Article 102114. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102114>
- Kim, H. W., Bae, H., Park, H. J. (2018). Reprint of: Classification of the printability of selected food for 3D printing: Development of an assessment method using hydrocolloids as reference material. *Journal of Food Engineering*, 220, 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.023>
- Dick, A., Bhandari, B., Dong, X., Prakash, S. (2020). Feasibility study of hydrocolloid incorporated 3D printed pork as dysphagia food. *Food Hydrocolloids*, 107, Article 105940. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105940>
- Tan, C., Toh, W. Y., Wong, G., Lin, L. (2018). Extrusion-based 3D food printing-Materials and machines. *International Journal of Bioprinting*, 4(2), Article 143. <https://doi.org/10.18063/ijb.v4i2.143>

48. Azam, R. S. M., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. (2018). Effect of different gums on features of 3D printed object based on vitamin-D enriched orange concentrate. *Food Biophysics*, 13(3), 250–262. <https://doi.org/10.1007/s11483-018-9531-x>
49. Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B. (2018). Effect of gums on the rheological, microstructural and extrusion printing characteristics of mashed potatoes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117, 1179–1187. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.048>
50. Kim, H. W., Lee, I. J., Park, S. M., Lee, J. H., Nguyen, M.-H., Par, H. J. (2019). Effect of hydrocolloid addition on dimensional stability in post-processing of 3D printable cookie dough. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 101, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.019>
51. Hao, L., Li, Y., Gong, P., Xiong, W. (2019). Material, process and business development for 3D chocolate printing. Chapter in a book: Fundamentals of 3D Food Printing and Applications: Academic Press: Cambridge MA: USA. 2019. 207–255.
52. Mantihal, S., Prakash, S., Bhandari B. (2019). Textural modification of 3D printed dark chocolate by varying internal infill structure. *Food Research International*, 121, 648–657. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.034>
53. Feng, C., Zhang, M., Bhandari, B. (2020). Controlling the three-dimensional printing mechanical properties of Nostoc sphaeroides system. *Food Biophysics*, 15(2), 240–248. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09611-0>
54. Severini, C., Azzollini, D., Albenzio, M., Derossi, A. (2018). On printability, quality and nutritional properties of 3D printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Research International*, 106, 666–676. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.034>
55. Vieira, M. V., Oliveira, S. M., Amado, I. R., Fasolin, L. H., Vicente, A. A., Pastrana, L. M. et al. (2020). 3D printed functional cookies fortified with *Arthrospira platensis*: Evaluation of its antioxidant potential and physical-chemical characterization. *Food Hydrocolloids*, 107, Article 105893. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105893>
56. Lee, J. H., Won, D. J., Kim, H. W., Park, H. J. (2019). Effect of particle size on 3D printing performance of the food-ink system with cellular food materials. *Journal of Food Engineering*, 256, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.03.014>
57. Lipton, J., Arnold, D., Nigl, F., Lopez, N., Cohen, D., Norén, N. et al. (August 8–10, 2010). Multi-material food printing with complex internal structure suitable for conventional post-processing. Proceedings of the 21st Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium — An Additive Manufacturing Conference SFF: Austin: TX: USA. 9–11. 809–815.
58. Dong, X., Pan, Y., Zhao, W., Huang, Y., Qu, W., Pan, J. et al. (2020). Impact of microbial transglutaminase on 3D printing quality of *Scomberomorus niphonius surimi*. *LWT*, 124, Article 109123. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109123>
59. Park, S. M., Kim, H. W., Park, H. J. (2020). Callus-based 3D printing for food exemplified with carrot tissues and its potential for innovative food production. *Journal of Food Engineering*, 271, Article 109781. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109781>
60. Vancauwenbergh, V., Delele, M. A., Vanbiervliet, J., Aregawi, W., Verboven, P., Lammertyn, J. et al. (2018). Model-based design and validation of food texture of 3D printed pectin-based food simulants. *Journal of Food Engineering*, 231, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.010>
61. Guo, C., Zhang, M., Bhandari, B. (2019). Model building and slicing in food 3D printing processes: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18, 1052–1069. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12443>
62. Yang, F., Guo, C., Zhang, M., Bhandari, B., Liu, Y. (2019). Improving 3D printing process of lemon juice gel based on fluid flow numerical simulation. *LWT*, 102, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.031>
63. Yang, F., Zhang, M., Liu, Y. (2019). Effect of post-treatment microwave vacuum drying on the quality of 3D-printed mango juice gel. *Drying Technology*, 37(14), 1757–1765. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1536884>
64. Zhang, L., Lou, Y., Schutyser, M. A. I. (2018). 3D printing of cereal-based food structures containing probiotics. *Food Structure*, 18, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.10.002>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Ульрих Елена Викторовна — доктор технических наук, заместитель директора Института агроинженерии и пищевых систем по научной и международной деятельности, Калининградский государственный технический университет 236022, Калининград, проспект Советский, 1 Тел.: +7-904-960-94-96 E-mail: elen.ulrich@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4107-7277 * автор для контактов	Elena V. Ulrikh, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director of the Institute of Agroengineering and Food Systems for Scientific and International Activities, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 1236022, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-904-960-94-96 E-mail: elen.ulrich@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-4107-7277 * corresponding author
Верхотуров Василий Владимирович — доктор биологических наук, доцент, директор Института агроинженерии и пищевых систем, Калининградский государственный технический университет 236022, Калининград, проспект Советский, 1 Тел.: +7-950-099-21-62 E-mail: tpp.kafedra@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2979-9867	Vasily V. Verkhoturov, Doctor of Biological Sciences, Docent, Director of the Institute of Agroengineering and Food Systems for Scientific and International Activities, Kaliningrad State Technical University 1, Prospekt Sovetskiy, 236022, Kaliningrad, Russia Tel.: +7-950-099-21-62 E-mail: tpp.kafedra@mail.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2979-9867
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-107-113>

Поступила 13.04.2022

Поступила после рецензирования 29.04.2022

Принята в печать 06.05.2022

© Панкратов Г. Н., Мелешкина Е. П., Витол И. С., Кечкин И. А., Коломиец С. Н., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

БЕЛКОВО-ЖИРОВОЙ КОНЦЕНТРАТ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Панкратов Г. Н., Мелешкина Е. П., Витол И. С.*, Кечкин И. А., Коломиец С. Н.

Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

чечевица, лен,
бинарная зерносмесь,
технологическая схема размола,
чечевично-льняная мука,
биохимическая оценка

АННОТАЦИЯ

Пшеничная мука, особенно мука высших сортов, значительно обеднена макро-, микронутриентами и такими ценными компонентами, как незаменимые аминокислоты, эссенциальные жирные кислоты, витамины, минеральные вещества, растворимые и нерастворимые пищевые волокна. С целью обогащения пшеничной муки была получена чечевично-льняная мука (белково-жировой концентрат) с высоким содержанием белка (27,5%) и жира (11,9%). Разработанная технологическая схема совместного размола семян чечевицы (67%) и льна (33%) включала I–III драные системы, шлифовочную систему, вымольную систему, 1–3 размольные системы. При исследовании физико-химических, биохимических показателей установлено, что по механическим характеристикам белково-жировой концентрат был близок к соответствующим показателям пшеничной муки. Значительная доля альбумино-глобулиновой фракции растворимых белков (88%), а также высокое содержание наиболее дефицитной эссенциальной α -линоленовой кислоты (6,11% против 0,05% в пшеничной муке с учетом общего содержания жира) свидетельствуют о высокой пищевой и биологической ценности полученного продукта. Оценка влияния белково-жирового концентрата на показатели готовых изделий (крекеры) показала, что его внесение в количестве 15% от общего объема муки не только не ухудшает, а по некоторым критериям даже улучшает органолептические показатели. Высокая суммарная органолептическая оценка (32 балла) свидетельствует о стандартном качестве полученного продукта. Добавление 15% чечевично-льняной муки от общей массы муки при производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий позволит расширить ассортимент сбалансированных мучных изделий, существенно сократить дефицит эссенциальной α -линоленовой кислоты в рационе питания при их потреблении в соответствии с физиологическими нормами.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022–0006 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 13.04.2022

Accepted in revised 29.04.2022

Accepted for publication 06.05.2022

© Pankratov G. N., Meleshkina E. P., Vitol I. S., Kechkin I. A., Kolomiets S. N., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

PROTEIN-FAT CONCENTRATE FOR ENRICHMENT OF WHEAT FLOUR

Georgy N. Pankratov, Elena P. Meleshkina, Irina S. Vitol*, Ivan A. Kechkin, Svetlana N. Kolomiets

All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing, Moscow, Russia

KEY WORDS:

lentils, flax, binary grain mixture,
technological scheme of grinding,
lentil-flax flour, biochemical
evaluation

ABSTRACT

Wheat flour, especially high grade flour, is significantly impoverished in macro-, micronutrients and other valuable components such as essential amino acids, essential fatty acids, vitamins, minerals, soluble and insoluble dietary fibers. To enrich wheat flour, the authors produced lentil-flax flour (protein-fat concentrate) with the high protein (27.5%) and fat (11.9%) content. The developed technological scheme of the combined grinding of lentil (67%) and flax (33%) seeds included the I–III break systems, sizing system, scratch system, 1–3 reduction systems. When studying physico-chemical and biochemical indicators, it was found that the protein-fat concentrate was close to the corresponding indicators of wheat flour by mechanical characteristics. A significant proportion of the albumin-globulin fraction of soluble proteins (88%), as well as the high content of the most deficient essential α -linolenic acid (6.11% compared to 0.05% in wheat flour with regard to the total fat content) suggest the high nutritional and biological value of the obtained product. Evaluation of an effect of the protein-fat concentrate on the indicators of the finished products (crackers) showed that its introduction in an amount of 15% of the total flour volume not only did not worsen but even improved sensory indices by several criteria. The high total sensory score (32 points) indicates the standard quality of the obtained product. Addition of lentil-flax flour in an amount of 15% of total flour weight in production of bakery products as well as bakery confectionary products will allow extending the assortment of balanced farinaceous products, significantly reducing the deficiency of essential α -linolenic acid in diets upon their consumption according to the physiological norms.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS-2022–0006 of the state assignment of the V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems of RAS.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Панкратов, Г. Н., Мелешкина, Е. П., Витол, И. С., Кечкин, И. А., Коломиец, С. Н. (2022). Белково-жировой концентрат для обогащения пшеничной муки. *Пищевые системы*, 5(2), 107–113. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-107-113>

FOR CITATION: Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kechkin, I. A., Kolomiets, S. N. (2022). Protein-fat concentrate for enrichment of wheat flour. *Food systems*, 5(2), 107–113. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-107-113>

1. Введение

Для восполнения дефицита ценных пищевых компонентов, которыми обеднена пшеничная мука высших сортов, в настоящее время получают все более широкое распространение композитные виды муки, мультизерновые виды хлеба и хлебобулочных изделий, предлагаются способы получения и использования муки из нетрадиционных культур, а также используют обогатители на основе бобовых, масличных, овощных и плодовых культур для обогащения пшеничной муки. Это позволяет добиться сбалансированного состава по макро- и микронутриентам, незаменимым факторам питания, компонентам функционального назначения, таким как незаменимые аминокислоты, эссенциальные ПНЖК, витамины, макро- и микроэлементы, минорные биологически активные соединения [1–10].

Вопросы, связанные с обогащением пшеничной муки, являются крайне важными с точки зрения обеспечения населения России сбалансированными продуктами, что закреплено в Концепции государственной политики в области здорового питания, поскольку хлеб и другие мучные изделия являются продуктами массового спроса и их доля в рационе питания в нашей стране доходит до 40%, а для некоторых категорий превышает этот показатель [11–17].

Во ВНИИ зерна и продуктов его переработки разработана инновационная технология совместной переработки бинарной зерновой смеси на основе зерна пшеницы и семян льна [18–20].

Введение в состав смеси семян льна позволяет существенно обогатить и сбалансировать состав получаемых зерновых продуктов, скорректировать жирнокислотный состав полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК) семейства ω -3 и ω -6. Семена льна — ценный пищевой компонент, обладающий не только высоким содержанием белка и жира, но и уникальным составом этих макронутриентов, в первую очередь, полиненасыщенных жирных кислот. Не следует забывать и о высокой пищевой и биологической ценности белкового комплекса семян льна, который характеризуется высокой долей альбумино-глобулиновой фракции, наличием незаменимых аминокислот [6,7,11,20–22].

Но для повышения количества и качества белка этого недостаточно, необходимо внесение определенного количества семян (бобов) бобовых культур, особенно богатых белком (по содержанию белка бобовые в 3–4 раза превосходят злаковые культуры).

Семена чечевицы содержат ценный белок, содержание которого в семенах различных образцов составляет 26–31%. В его состав входят незаменимые аминокислоты: по содержанию лизина, фенилаланина, треонина и лейцина белок чечевицы сходен с белком куриного яйца, при этом метионин и триптофан находятся в дефиците. По усвояемости организмом человека (86%) белки чечевицы лишь немногим уступают белкам животного происхождения. Углеводов в семенах чечевицы около 50%, а жира — в пределах 2%. Семена чечевицы содержат значительное количество макро- и микроэлементов (железо, цинк, фосфор, магний, калий, марганец, медь, молибден, бор, кобальт), витамины (витамины группы А, В, аскорбиновая кислота, инозитол) [23,24]. В чечевице содержится большое количество селена — важнейшего элемента, участвующего в регуляторных и защитных функциях организма. 100 грамм семян чечевицы обеспечивают 77–122% рекомендуемой для человека недельной дозы селена [24]. Добавление чечевичной муки к пшеничной в количестве 15–20% повышает содержание белка в хлебе на 3–4%. Немаловажным фактором является и то, что чечевица по вкусовым качествам занимает одно из первых мест среди зернобобовых.

С учетом этого была разработана технология совместного помола трехкомпонентной зерносмеси на основе пшеницы, семян чечевицы и льна [25]. Однако процесс совместного размола зерна и семян с сильно отличающимися физико-химическими характеристиками (как показали исследования), вероятнее всего, будет сопряжен с определенными сложностями при масштабировании процесса на мукомольном производстве и может быть рекомендован для обработки мелких партий специального назначения.

Альтернативой вышеизложенному подходу может служить создание обогатителя пшеничной муки на основе семян чечевицы и льна. При этом необходимо учитывать влияние такого рода добавки на технологические, физико-химические, реологические и органолептические свойства композиционной муки, теста и хлеба.

Цель исследований — разработка технологических схем подготовки и размола бинарной смеси на основе семян чечевицы и льна для получения белково-жирового обогатителя пшеничной муки, а также характеристика полученных продуктов.

2. Материалы и методы

Объектом исследования служили семена чечевицы, белого масличного льна и чечевично-льняная мука, полученная при совместном размолот зерносмеси, которая состояла из 67% семян чечевицы и 33% семян белого льна. В Таблице 1 и Таблице 2 представлены технологические свойства и химический состав исходных компонентов зерносмеси.

Таблица 1. Технологические свойства исходных компонентов зерносмеси

Table 1. Technological properties of the initial components of the grain mixture

Культура	Влажность, %	Масса 1000 зерен, г	Натура, г/л	*Средние геометрические размеры зерновки, мм
чечевица	9,0	54,86	826	a = 6,8; b = 3,0; l = 7,2
лен белый	5,2	8,40	668	a = 2,5; b = 1,2; l = 5,2

* a — ширина, b — толщина, l — длина

Таблица 2. Химический состав исходных компонентов зерносмеси

Table 2. Chemical composition of the initial components of the grain mixture

Культура	Белок, %	Жир, %	Крахмал, %	Клетчатка, %
чечевица	28,00	2,00	50,3	10,5
лен белый	24,68	39,80	5,2	15,0

Для исследования измельчения и получения чечевично-льняной муки использовали размольно-сортировочный агрегат РСА с рифлеными вальцами для драных систем (P-10^{1/}_{см}) и вальцами с микрошероховатой поверхностью на размольных системах, лабораторным рассевом и лабораторной вымольной машиной. Белизну муки определяли методом измерения отражательной способности уплотненно-сглаженной поверхности муки с применением фотоэлектрического прибора (ГОСТ 26361–2013¹), зольность — сжиганием муки и отрубей с последующим определением массы несгораемого остатка (ГОСТ 27494–2016²). Общее содержание белка определяли по методу Кьельдаля (N×6,25) (ГОСТ 10846–91³);

¹ ГОСТ 26361–2013 «Мука. Метод определения белизны». Москва: Стандартинформ, 2014. — 16 с.

² ГОСТ 27494–2016 «Мука и отруби. Методы определения зольности». Москва: Стандартинформ, 2019. — 15 с.

³ ГОСТ 10846–91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка». Москва: Стандартинформ, 2009. — 9 с.

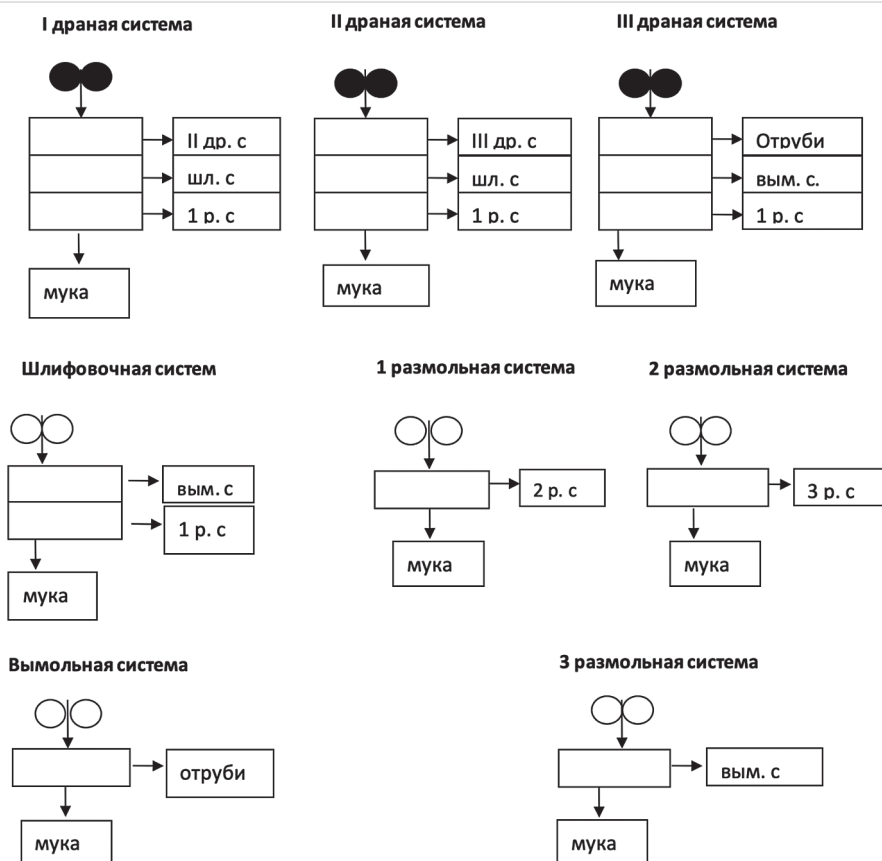


Рисунок 1. Технологическая схема размол биарной смеси (67% семена чечевицы и 33% семена льна)
Figure 1. Technological scheme of grinding of the binary grain mixture (67% lentil seeds and 33% flax seeds)

жира — по методу Сокслета (ГОСТ 29033–91⁴); клетчатки — по методу Кюшнера и Ганека; крахмала — по методу Эверса (ГОСТ 10845–98⁵); растворимого белка — по методу Лоури [26]. Определение фракционного состава белков проводили по методу Осборна; жирнокислотного состава — методом газовой хроматографии (хроматограф газовый 6890N с масс-селективным детектором Agilent 5975C, США).

Анализы проводили в трех повторностях, представляя результаты как средние арифметические. Расхождения между параллельными определениями не превышали 3% от среднего арифметического значения при доверительной вероятности $P = 0,95$.

3. Результаты и обсуждение

Процесс подготовки компонентов биарной зерносмеси, состоящей из 33% семян льна и 67% семян чечевицы, предусматривал контрольное просеивание и последующее смешивание в течение 2–3 минут.

Размол биарных смесей проводили на лабораторных мельничных установках. Драной процесс осуществляли на РСА с рифлеными вальцами, размольный процесс — на МЛУ 202 на вальцах с микрошероховатой поверхностью. Режим измельчения характеризовался суммарной величиной извлечения в драном процессе 80%, извлечение в размольном процессе составило от 40 до 60%.

Схема технологического процесса представлена на Рисунке 1.

Формирование потоков промежуточных продуктов в драном процессе проводили следующим образом: схо-

довые продукты получали на ситах 700–450 мкм; фракция крупных и средних крупнок и II драных систем направляли на шлифовочную систему. Фракции мелких крупнок и дунста направляли на 1-ю размольную систему. Отбор муки в драном процессе получали проходом сита 200 мкм. Шлифовочный процесс проводили на станке с микрошероховатой поверхностью. Продукты размол направляли: сход — на вымольную систему, смесь крупнок и дунста — на 1-ю размольную систему.

Последовательный размол круподуновых продуктов осуществляли на 1–3 размольных системах. Муку размольных систем получали проходом сита 132 мкм. Дисперсность общей муки (белково-жировой концентрат): остаток на сите 250 мкм — 0%, проход сита 160 мкм — 85%. Общий выход муки составил 78%.

При исследовании физико-химических свойств белково-жирового концентрата (БЖК) были установлены следующие значения показателей:

- белизна — (– 13,2 ед. пр.);
- зольность — 2,8%;
- объемная масса — 490 г/л; при диапазоне значений объемной массы для различных видов и сортов муки — 300–600 г/л (среднее значение для пшеничной муки — 500 г/л);
- угол естественного откоса — 48°; при среднем значении для пшеничной муки — 45°;
- коэффициент трения по стальной поверхности для белково-жирового концентрата — 0,6; для пшеничной муки соответственно — 0,75.

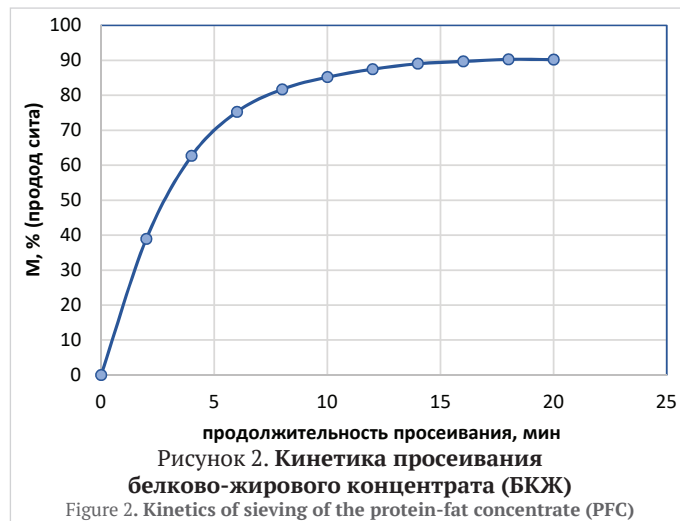
Таким образом, белково-жировой концентрат по своим механическим свойствам был близок к соответствующим показателям пшеничной муки. Показатель белизны концентрата ожидаемо имел отрицательное значение, а его зольность значительно (более чем в 5 раз) превышала зольность

⁴ ГОСТ 29033–91 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира». Москва: ИПК «Издательство стандартов», 2009. — 6 с.

⁵ ГОСТ 10845–98 «Зерно и продукты его переработки. Метод определения крахмала». Москва: ИПК «Издательство стандартов», 2001. — 4 с.

пшеничной муки (среднее значение для пшеничной муки — 0,5). Однако при добавлении БВК к пшеничной хлебопекарной муке в количестве, не превышающем 15%, эти показатели не должны сказываться отрицательно на качестве готовых изделий, особенно мучных кондитерских изделий.

Немаловажное значение при переработке сырья, содержащего значительное количества жира, имеет показатель севкости сит. Кинетика просеивания БЖК на сите 160 мкм (контрольное просеивание) представлена на Рисунке 2.



Анализ кинетики просеивания БЖК показывает, что процесс заканчивается к 12 минуте. Это свидетельствует о меньшей севкости по сравнению с пшеничной мукой, для которой норма составляет 10 минут.

Химический состав продуктов переработки двухкомпонентной смеси, состоящей из 67% семян чечевицы и 33% семян белого масличного льна, представлен в Таблице 3. Обращает на себя внимание тот факт, что содержание общего белка и жира в продуктах размолла распределяется примерно одинаково с небольшим превосходством в образце отрубей, при этом содержание клетчатки в отрубях ожидаемо превосходит ее количество в муке более чем в 7 раз.

Таблица 3. Химический состав продуктов переработки двухкомпонентной смеси на основе чечевицы и льна

Table 3. Chemical composition of the products of processing of the binary mixture based on lentil and flax

Образец	Белок, %	Жир, %	Крахмал, %	Клетчатка, %
мука (БЖК)	27,46	11,9	52,34	2,4
отруби	28,31	12,9	28,50	17,3

Для оценки фракционного состава белков по Осборну: альбумины выделяли дистиллированной водой, глобулины — 10%-ным раствором NaCl, проламины — 70%-ным этанолом, глютелины — 0,2%-ным раствором NaOH. Соотношение фракций растворимых белков двухкомпонентной муки и отрубей представлено на Рисунке 3.

Полученные данные свидетельствуют о высокой доле альбумино-глобулиновой фракции, как в муке (88%), так и в отрубях (86%), отсутствием фракции спирторастворимых белков в обоих случаях и примерно равным количеством щелочорастворимых белков, доля которых составила для муки 9%, для отрубей — 10%.

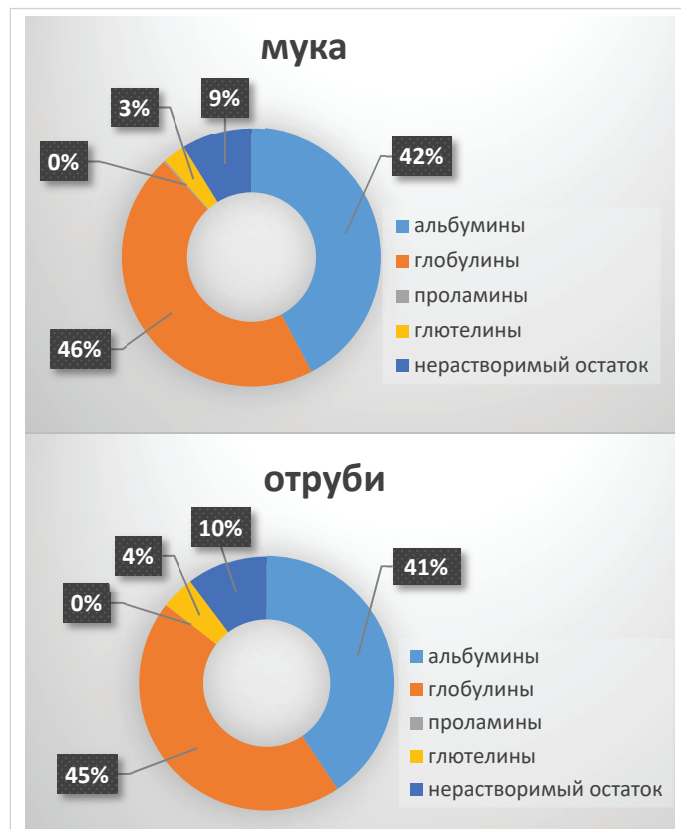
Данные по жирнокислотному составу полученной чечевично-льняной муки вызывают интерес с точки зрения ее пищевой ценности и говорят о возможности ее использования в качестве обогатителя муки пшеничной. В качестве

контроля использовали данные по жирнокислотному составу пшеничной муки и трехкомпонентной муки, полученной при совместном размоле зерносмеси, которая состояла из 85% зерна пшеницы, 10% семян чечевицы и 5% семян льна [25] (Таблица 4).

Таблица 4. Жирнокислотный состав чечевично-льняной муки

Table 4. Fatty acid composition of lentil-flax flour

Наименование жирных кислот	Содержание ВЖК, %		
	мука пшеничная	мука трехкомпонентная	мука чечевично-льняная
C 14: 0 миристиновая	< 0,1	< 0,1	< 0,1
C 16: 0 пальмитиновая	19,64 ± 1,57	11,85 ± 0,95	5,95 ± 0,48
C 16: 1 пальмитолеиновая	< 0,1	0,16 ± 0,02	< 0,1
C 17: 0 маргариновая	< 0,1	< 0,1	< 0,1
C 17: 1 маргаринолеиновая	< 0,1	< 0,1	< 0,1
C 18: 0 стеариновая	1,21 ± 0,13	3,55 ± 0,46	4,75 ± 0,52
C 18: 1 олеиновая	17,54 ± 1,40	17,22 ± 1,38	19,28 ± 1,56
C 18: 2 линолевая	57,95 ± 2,90	41,73 ± 3,09	18,16 ± 1,45
C 18: 3 α-линоленовая	2,95 ± 0,32	24,00 ± 0,48	51,42 ± 2,57
C 20: 0 арахидовая	< 0,1	0,18 ± 0,02	< 0,1
C 20: 1 гондоиновая	0,73 ± 0,08	0,42 ± 0,05	< 0,1
C 20: 2 эйкозодиеновая	< 0,1	< 0,1	< 0,1
C 22: 0 бегеновая	< 0,1	0,21 ± 0,02	0,2 ± 0,02
C 22: 1 эруковая	< 0,1	< 0,1	< 0,1
C 22: 2 докозодиеновая	< 0,1	< 0,1	< 0,1





Контроль — мука пшеничная 100%



Опыт — мука пшеничная 85% + БЖК 15%

Рисунок 4. Выпечка крекеров из пшеничной муки (100%) и муки пшеничной, обогащенной БЖК

Figure 4. Baking of crackers from wheat flour (100%) and wheat flour enriched with PFC

Результаты анализа жирнокислотного состава чечевично-льняной муки (67% семян чечевицы и 33% семян льна) с учетом общего содержания жира в образцах свидетельствует о небольшом увеличении доли линолевой кислоты (семейство ω -6): 0,93%; 1,17% и 2,16% и о значительном увеличении наиболее дефицитной эссенциальной α -линоленовой кислоты (семейство ω -3): 0,05%; 0,67% и 6,11% соответственно для муки пшеничной, трехкомпонентной и чечевично-льняной. Результаты позволяют сделать заключение, что хлебобулочные и мучные кондитерские изделия с добавлением 15% чечевично-льняной муки (БЖК) от общей массы муки при их потреблении в соответствии с физиологическими нормами [27,28] нивелируют недостаток ПНЖК и в определенной степени повышают сбалансированность рациона питания современного человека.

Для оценки влияния БЖК (15% от общего объема муки) на показатели готовых изделий выпекали крекеры методом пробной лабораторной выпечки (опыт). В качестве контроля использовали муку пшеничную хлебопекарную (Рисунок 4).

Оценку качества крекера проводили согласно методике, в которую наряду со стандартизованными показателями качества были включены разработанные новые показатели, характеризующие свойства готового крекера и связанные с показателями качества муки и реологическими свойствами теста: толщина 10-ти крекеров, формоустойчивость, жесткость, разность длины и ширины, органолептическая оценка внешнего вида, текстура, вкус и запах оценивались по пятибалльной шкале (Таблицы 4 и 5).

Добавление к пшеничной муке (контроль) БЖК на основе семян чечевицы и льна в количестве 15% способствовало получению более нежного, тонкого и хрустящего, более золотистого по цвету и почти правильной формы крекера (разница между длиной и шириной составила 1,8 мм, что меньше установленной нормы 2,5–3,5 мм). Цвет у контрольного варианта был светло-золотистый, форма изделия — в пределах нормы; отмечалось превышение по толщине, жесткости и небольшое превышение по формоустойчивости.

Таблица 5. Физико-химические показатели качества крекера

Table 5. Physico-chemical indicators of cracker quality

Вариант	Толщина 10 крекеров, мм	Вес 10 крекеров, г	Длина, мм	Ширина, мм	Разница между длиной и шириной, мм	Жесткость, кгс	Формоустойчивость, Н/D, мм
Контроль	89	82,4	52,1	54,7	2,6	3309	0,167
Опыт	80	68,6	51,3	53,1	1,8	2355	0,153

Таблица 6. Органолептические показатели качества крекера

Table 6. Sensory indicators of cracker quality

Вариант	Цвет, балл	Форма, балл	Состояние поверхности, балл	Вид в изломе, балл	Текстура, балл	Вкус, балл	Запах, балл	Суммарная оценка, балл
Контроль	5	4	4	4	4	5	4	30
Опыт	5	5	4	4	5	5	4	32

Состояние поверхности у двух вариантов было следующим: гладкая с единичными неровностями, четкими отверстиями, небольшими вздутиями. Вид в изломе также у двух вариантов равномерно пропеченный, без следов непромеса; пористость неравномерная, слоистость выражена, были единичные небольшие уплотнения. Текстура крекера с добавлением БЖК нежная, легко ломалась, при разжевывании во рту рассыпалась; у контроля этот показатель хороший, продукт ломался с характерным хрустом, легко разжевывался.

Вкус у исследуемых вариантов был свойственный крекеру, приятный, ярко выраженный, без постороннего привкуса. Запах у двух вариантов — свойственный крекеру, приятный, не ярко выраженный. Суммарная органолептическая оценка у обоих вариантов составила более 28 баллов, что свидетельствует о стандартном качестве полученного продукта.

4. Выводы

Разработанная технологическая схема совместного размола семян чечевицы и льна с высоким (33%) содержанием последних позволила получить белково-жировой концентрат с высоким содержанием белка (27,5%) и жира (11,9%). Оценка физико-химических и биохимических показателей полученного БЖК показала следующее: во-первых, механические характеристики БЖК близки к соответствующим показателям пшеничной муки; во-вторых, установлено значительное преобладание альбумино-глобулиновой фракции (88%) растворимых белков; в-третьих, выявлено преимущество БЖК по содержанию эссенциальной α -линоленовой кислоты (6,11% с учетом общего содержания жира) в сравнении с пшеничной и трехкомпонентной мукой (0,05%; 0,67% соответственно). Все это свидетельствует о высокой пищевой и биологической ценности полученного продукта и возможности его использования в качестве обогатителя пшеничной муки. Данный вывод подтверждается и высокими органолептическими показателями (суммарная оценка 32 балла) готовых изделий (крекеры).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ahmad, A., Zulfiqar, S., Chatha, Z. A. (2020). Development of roasted flax seed cookies and characterization for chemical and organoleptic parameters. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 57(1), 229–235. <http://doi.org/10.21162/pakjas/20.6552>
- Bhise, S., Kaur, A., Aggarwal, P. (2014). Development of protein enriched noodles using texturized defatted meal from sunflower, flaxseed and soybean. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5882–5889. <http://doi.org/10.1007/s13197-014-1630-1>
- Bochkarev M. S., Egorova E. Y., Reznichenko I. Y., Poznyakovskiy V. M. (2016). Reasons for the ways of using oilcakes in food industry. *Foods and Raw Materials*, 49(1), 4–12. <http://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-4-12>
- Ganorkar, P. M., Jain, R. K. (2013). Flaxseed — a nutritional punch. *International Food Research Journal*, 20(2), 519–525.
- Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal Food Science Technology*, 51(9), 1633–1653. <http://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>
- Gutte, K. B., Sahoo, A. K., Ranveer, R. C. (2015). Bioactive components of flaxseed and its health benefits. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 31(1), 42–51, Article 09.
- Khouryieh, H., Aramouni, F. (2013). Effect of flaxseed flour incorporation on the physical properties and consumer acceptability of cereal bars. *Food Science and Technology International*, 19(6), 549–556. <http://doi.org/10.1177/1082013212462231>
- Бакуменко, О. Е., Алексеев, Е. В., Некрасова, Э. И., Гильмиярова, О. Д. (2022). Исследование влияния порошка из семян пажитника на показатели качества ржано-пшеничного хлеба. *Пищевая промышленность*, 2, 12–15. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.2.2.002>
- Березина, Н. А., Артемов, А. В., Никитин, И. А. (2020). Разработка ржано-пшеничных хлебобулочных изделий из мучных поликомпонентных смесей для функционального и диетического питания. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 5–6(377–378), 29–34. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.5-6.6>
- Ефремов, Д. П. (2021). Перспективные отечественные разработки в области производства мучных изделий с семенами льна и продуктами их переработки. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 83(4), 209–218. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-4-209-218>
- Миневич, И. Э. (2019). Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях. *Health, Food & Biotechnology*, 1(2), 97–120. <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224>
- Конева, С. И., Егорова, Е. Ю., Козубаева, Л. А., Резниченко, И. Ю. (2019). Влияние льняной муки на реологические свойства теста из пшеничной и льняной муки и качество хлеба. *Техника и технология пищевых производств*, 49(1), 85–96. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-85-96>
- Тутельян, В. А., Никитюк, Д. Б., Батурин, А. К., Васильев, А. В., Гаппаров, М. Г., Жилинская, Н. В. и др. (2020). Нутриом как направление «главного удара»: определение физиологических потребностей в макро- и микронутриентах, минорных биологических активных веществах пищи. *Вопросы питания*, 89(4), 24–34. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039>
- Тюрин, И. А., Невская, Е. В., Тюрин, О. И., Борисова, А. Е. (2019). Разработка хлебопекарной композитной смеси с высоким содержанием белка для обогащенных хлебобулочных изделий. *Хлебопродукты*, 9, 53–55. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-31-9-53-55>
- Кущенкова, В. С., Неповинных, В. Н., Гринев, В. С., Лобунь, Е. В., Широков, А. А., Марк Го (2019). Разработка технологии хлеба повышенной пищевой ценности с добавкой цельнозерновых семян сафлора. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 4(370), 36–40. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.9>
- Крячко, Т. И., Малкина, Д. В., Жиркова, Е. В., Мартиросян, В. В., Смирнова, С. А., Славянский, А. А. (2019). Влияние порошка из капусты брокколи на хлебопекарные свойства пшеничной муки и реологические характеристики теста. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 2–3(368–369), 31–35. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.2-3.8>
- Вершинина, О. Л., Гончар, В. В., Росляков, Ю. Ф., Еремина А. Е., Симонян Э. А. (2019). Особенности технологии безглютеновых хлебобулочных изделий. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 2–3(368–369), 39–41. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.2-3.10>
- Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kechkin, I. A., Nagainikova, Yu. R. (2020). Technological schemes for the processes of preparation and milling binary grain mixtures and biochemical evaluation of produced products. *Food systems*, 3(3), 14–19. <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-3-14-19>
- Pankratov, G. N., Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Nagainikova, Yu. R., Kechkin, I. A. (2021). Development of technological schemes for the processes of preparation and milling of two-component grain mixtures. *IOP Conference Series. Earth and environmental science*, 640(3), Article 022049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022049>
- Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kechkin, I. A., Nagainikova, Yu. R., Kolomiets, S. N. (2020). Wheat-linen flour: Conditions for producing and biochemical features. *Russian Agricultural Sciences*, 46(4), 404–409. <http://doi.org/10.3103/S1068367420040138>
- Vitol, I. S., Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P. (2021). Biochemical characteristics of new varieties of flour from a binary mixture of wheat and flax. *IOP Conference Series. Earth and environmental science*. 640(3), Article 022050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022050>
- Мелешкина, Е. П., Панкратов, Г. Н., Витол, И. С., Кандроков, Р. Х. (2019). Новые функциональные продукты из двухкомпонентной зерновой смеси пшеницы и льна. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, 2, 54–58. <http://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/54-58>
- Пашенко, В. Л. (2006). Бобы чечевицы — перспективный белковый обоганитель пищевых продуктов. *Успехи современного естествознания*, 12, 97.
- Кондыков, И. В. (2012). Культура чечевицы в мире и Российской Федерации (обзор). *Зернобобовые и крупяные культуры*, 2(2), 13–20.
- Панкратов, Г. Н., Мелешкина, Е. П., Витол, И. С., Кечкин, И. А., Коломиец, С. Н. (2022). Технологические показатели новых сортов трехкомпонентной муки. *Пищевая промышленность*, 5, 16–19. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.004>
- Нечаев, А. П., Траубенберг, С. Е., Кочеткова, А. А., Колпакова, В. В., Витол, И. С., Кобелева, И. Б. (2006). Пищевая химия. Лабораторный практикум. СПб.: ГИОРД, 2006.
- MP 2.3.1.0253–21 Методические рекомендации «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». 2021 (Утверждены 22.07.21)
- Попова, А. Ю., Тутельян, В. А., Никитюк, Д. Б. (2021). О новых нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. *Вопросы питания*, 90(4)(536), 6–19. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>

REFERENCES

- Ahmad, A., Zulfiqar, S., Chatha, Z. A. (2020). Development of roasted flax seed cookies and characterization for chemical and organoleptic parameters. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 57(1), 229–235. <http://doi.org/10.21162/pakjas/20.6552>
- Bhise, S., Kaur, A., Aggarwal, P. (2014). Development of protein enriched noodles using texturized defatted meal from sunflower, flaxseed and soybean. *Journal of Food Science and Technology*, 52(9), 5882–5889. <http://doi.org/10.1007/s13197-014-1630-1>
- Bochkarev M. S., Egorova E. Y., Reznichenko I. Y., Poznyakovskiy V. M. (2016). Reasons for the ways of using oilcakes in food industry. *Foods and Raw Materials*, 49(1), 4–12. <http://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-4-12>
- Ganorkar, P. M., Jain, R. K. (2013). Flaxseed — a nutritional punch. *International Food Research Journal*, 20(2), 519–525.
- Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal Food Science Technology*, 51(9), 1633–1653. <http://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>
- Gutte, K. B., Sahoo, A. K., Ranveer, R. C. (2015). Bioactive components of flaxseed and its health benefits. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 31(1), 42–51, Article 09.
- Khouryieh, H., Aramouni, F. (2013). Effect of flaxseed flour incorporation on the physical properties and consumer acceptability of cereal bars. *Food Science and Technology International*, 19(6), 549–556. <http://doi.org/10.1177/1082013212462231>
- Bakumenko, O. E., Alexeev, E. V., Nekrasova, E. I., Gilmiyarova, O. D. (2022). Research on the effect of fenugreek seed powder on the quality indicators of ryewheat bread. *Food Industry*, 2, 12–15. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.2.2.002> (In Russian)
- Berezina, N. A., Artemov, A. V., Nikitin, I. A. (2020). Development of rye-wheat bakery products from flour multi-component mixtures for functional and dietary nutrition. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 5–6(377–378), 29–34. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.5-6.6> (In Russian)
- Efremov, D. P. (2021). Promising Russian developments in the production of flour products with flax seeds and products of their processing. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 83(4), 209–218. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-4-209-218> (In Russian)
- Minevich, I. E. (2019). Functional significance of flax seeds and practice of their use in food technologies. *Health, Food & Biotechnology*, 1(2), 97–120. <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224> (In Russian)
- Koneva, S. I., Egorova, E. Yu., Kozubaeva, L. A., Reznichenko, I. Yu. (2019). The effect of flaxseed flour on the rheological properties of dough made of flaxseed and wheat flour and bread quality. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(1), 85–96. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-85-96> (In Russian)
- Tutelyan, V. A., Nikityuk, D. B., Baturin, A. K., Vasiliev, A. V., Gapparov, M. G., Zhilinskaya, N. V. et al. (2020). Nutriome as the direction

- of the “main blow”: determination of physiological needs in macroand micronutrients, minor biologically active substances. *Problems of Nutrition*, 89(4), 24–34. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039> (In Russian)
14. Tyurina, I. A., Nevskaya, E. V., Tyurina, O. I., Borisova, A. E. (2019). Development of a bakery composite mixture with a high protein content for enriched bakery products. *Bread Products*, 9, 53–55. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-31-9-53-55> (In Russian)
 15. Kutsenkova, V. S., Nepovinnikh, N. V., Grinev, V. S., Lyubun, E. V., Shirokov, A. A., Mark (Qingbin), Guo (2019). Development of technology of bread with enhanced nutritional value with the addition of whole-ground safflower seeds. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 4(370), 36–40. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.4.9> (In Russian)
 16. Kryachko, T. I., Malkina, V. D., Zhirkova, E. V., Martirosyan, V. V., Smirnova, S. A., Slavyanskiy, A. A. (2019). Influence of the broccoli cabbage powder on baking properties of wheat flour and rheological characteristics of dough. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 2–3(368–369), 31–35. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.2-3.8> (In Russian)
 17. Vershinina, O. L., Gonchar, V. V., Roslyakov, Yu. F., Eremina, A. E., Simonyan, E. A. (2019). Features technology of gluten-free bakery products. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 2–3(368–369), 39–41. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.2-3.10> (In Russian)
 18. Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kechkin, I. A., Nagainikova, Yu. R. (2020). Technological schemes for the processes of preparation and milling binary grain mixtures and biochemical evaluation of produced products. *Food Systems*, 3(3), 14–19. <http://doi.org/10.21523/2618-9771-2020-3-3-14-19>
 19. Pankratov, G. N., Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Nagainikova, Yu. R., Kechkin, I. A. (2021). Development of technological schemes for the processes of preparation and milling of two-component grain mixtures. *IOP Conference Series. Earth and environmental science*, 640(3), Article 022049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022049>
 20. Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kechkin, I. A., Nagainikova, Yu. R., Kolomiets, S. N. (2020). Wheat-linen flour: Conditions for producing and biochemical features. *Russian Agricultural Sciences*, 46(4), 404–409. <http://doi.org/10.3103/S1068367420040138>
 21. Vitol, I. S., Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P. (2021). Biochemical characteristics of new varieties of flour from a binary mixture of wheat and flax. *IOP Conference Series. Earth and environmental science*. 640(3), Article 022050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022050>
 22. Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N., Vitol, I. S., Kandrov, R. Kh. (2019). New functional foods from two components grain mixture (wheat and flax). *Vestnik of the Russian Agricultural Sciences*, 2, 54–58. <http://doi.org/10.30850/vrsn/2019/2/54-58> (In Russian)
 23. Paschenko, V. I. (2006). Beans of lentil — perspective albuminous dresser foodstuff. *Advances in Current Natural Sciences*, 12, 97. (In Russian)
 24. Kondykov, I. V. (2012). Crop of lentil in the world and in the Russian Federation (Review). *Legumes and Groat Crops*, 2(2), 13–20. (In Russian)
 25. Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kechkin, I. A., Kolomiets, S. N. (2022). Technological indicators of various grades of three-component flour. *Food Industry*, 5, 16–19. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.004> (In Russian)
 26. Nechaev, A. P., Traubenberg, S. E., Kochetkova, A. A., Kolpakova, V. V., Vitol, I. S., Kobeleva, I. B. (2006). Food Chemistry. Laboratory practical work. St. Petersburg: GIOR, 2006. (In Russian)
 27. MR2.5.1.0253–21 Methodological recommendations “Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation”. 2021 (Approved 22.07.21) (In Russian)
 28. Popova, A. Yu., Tutelyan, V. A., Nikityuk, D. B. (2021). On the new (2021) norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation *Problems of Nutrition*, 90(4(536)), 6–19. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19> (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Панкратов Георгий Несторович — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-499-976-33-14 E-mail: pankratof.gn@yandex.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3000-8631	Georgy N. Pankratov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7-499-976-33-14 E-mail: pankratof.gn@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3000-8631
Мелешкина Елена Павловна — доктор технических наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-499-976-23-23 E-mail: mep5@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1339-7150	Elena P. Meleshkina, Doctor of Technical Sciences, Director, All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7-499-976-23-23 E-mail: mep5@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1339-7150
Витол Ирина Сергеевна — кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-926-709-02-07 E-mail: vitolis@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5362-8909 * автор для контактов	Irina S. Vitol, Candidate of Biological Sciences, Docent, Senior Researcher, All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7-926-709-02-07 E-mail: vitolis@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5362-8909 * corresponding author
Кечкин Иван Александрович — кандидат технических наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-905-766-08-30 E-mail: kechkin87@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2367-3676	Ivan A. Kechkin, Candidate of Technical Sciences, Research Fellow, All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7-905-766-08-30 E-mail: kechkin87@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2367-3676
Коломиец Светлана Николаевна — кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-905-766-08-30 E-mail: kolomietcs@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3130-2285	Svetlana N. Kolomiets, Candidate of Agricultural Science, Senior Researcher, All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7-926-238-25-67 E-mail: kolomietcs@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3130-2285
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-114-120>

Поступила 15.03.2022

Поступила после рецензирования 27.04.2022

Принята в печать 06.05.2022

© Симоненко Е. С., Купаева Н. В., Симоненко С. В., Мануйлов Б. М., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА НА ОСНОВЕ КОБЫЛЬЕГО МОЛОКА

Симоненко Е. С.^{1*}, Купаева Н. В.², Симоненко С. В.¹, Мануйлов Б. М.¹

¹ Научно-исследовательский институт детского питания — филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, Истра, Московская область, Россия

² Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

кисломолочный продукт,
кобылье молоко, коровье
молоко, антиоксидантная,
антимикробная активность,
индекс атерогенности

АННОТАЦИЯ

В последние годы заметно возрос интерес к использованию кобыльего молока в питании человека, а также к применению этого продукта для лечения и профилактики таких заболеваний, как, например, гепатит, хронические патологии желудочно-кишечного тракта, туберкулез и пр. Полезные свойства молока кобыл обусловлены в первую очередь его существенными отличиями от повсеместно распространенного коровьего молока. Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что потребление кисломолочных продуктов обеспечивает различные преимущества для здоровья, а использование пробиотических культур в составе заквасок для кисломолочных продуктов позволяет добавить продукту ряд функциональных свойств. Однако единственный доступный на рынке кисломолочный продукт из кобыльего молока — это кумыс. В связи с этим создание новых кисломолочных продуктов на основе кобыльего молока является актуальным и востребованным. Были разработаны кисломолочные продукты на основе кобыльего молока и кобыльего молока с добавлением коровьего с использованием ассоциации, состоящей из закваски для йогурта и пробиотического штамма *L. rhamnosus* F. Целью работы являлось определение функциональных свойств кисломолочных продуктов на основе кобыльего молока и кобыльего молока с добавлением коровьего методами *in vitro*. Доказано, что продукты обладают высокой общей антиоксидантной емкостью, антирадикальной и антимикробной активностями, а также низким значением атерогенности (1,22); отношение общего содержания гипохолестеринемических к гиперхолестеринемическим жирным кислотам составляет 1,40.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № 0529–2022–000 Научно-исследовательского института детского питания — филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи.

Received 15.03.2022

Accepted in revised 27.04.2022

Accepted for publication 06.05.2022

© Simonenko E. S., Kupaeva N. V., Simonenko S. V., Manuilov B. M., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

STUDY OF FUNCTIONAL PROPERTIES OF A FERMENTED MARE'S MILK PRODUCT

Elena S. Simonenko^{1*}, Nadegda V. Kupaeva², Sergey V. Simonenko¹, Boris M. Manuilov¹

¹ Scientific Research Institute of Baby Food — a branch Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Istra, Moscow region, Russia

² V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

KEY WORDS:

fermented milk product, mare's
milk, cow's milk, antioxidant,
antimicrobial activity,
atherogenicity index

ABSTRACT

In the last few years, there has been a growing interest in the use of mare's milk for human nutrition as well as in the use of this product for treatment and prevention of diseases such as hepatitis, chronic pathologies of the gastrointestinal tract, tuberculosis and others. The beneficial properties of mare's milk are determined first of all by its significant differences from ubiquitous cow's milk. Many studies show that consumption of fermented milk products offers various advantages for health and the use of probiotic cultures in the composition of starters for fermented milk products allows imparting several functional properties to a product. However, kumis is the only available fermented milk product from mare's milk on the market. Therefore, the development of new fermented milk products based on mare's milk is topical and highly demanded. Fermented milk products were developed based on mare's milk and mare's milk with addition of cow's milk using the association consisted of the starter for yogurt and the probiotic strain *L. rhamnosus* F. The aim of the work was to determine functional properties of fermented milk products based on mare's milk and mare's milk with addition of cow's milk by *in vitro* methods. It was proved that the products had the high total antioxidant capacity, antiradical and antimicrobial activities as well as the low value of atherogenicity (1.22); the ratio of hypocholesterolemic fatty acids to hypercholesterolemic fatty acids is 1.40.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. 0529–2022–000 of the state assignment of the Scientific Research Institute of Baby Food — affiliate of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Симоненко, Е. С., Купаева, Н. В., Симоненко, С. В., Мануйлов, Б. М. (2022). Изучение функциональных свойств кисломолочного продукта на основе кобыльего молока. *Пищевые системы*, 5(1), 114–120. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-114-120>

FOR CITATION: Simonenko, E. S., Kupaeva, N. V., Simonenko, S. V., Manuilov, B. M. (2022). Study of the functional properties of a fermented milk product based on mare's milk. *Food systems*, 5(1), 114–120. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-114-120>

1. Введение

Среди огромного количества различных продуктов животного и растительного происхождения наиболее ценными в пищевом отношении, являются молоко и молочные продукты. Основные компоненты молока: молочный жир, белок и молочный сахар (лактоза) специфичны. Они содержатся только в молоке. Важное место в рационе питания человека занимает коровье молоко. В пищевых целях помимо коровьего молока употребляется овечье, козье, верблюжье, кобылье, олень, ослиное и молоко некоторых других животных. Молоко различных животных неодинаково по составу, что связано с их видовыми особенностями, условиями обитания и кормления. Определенный интерес вызывает кобылье молоко, которое значительно отличается от молока других сельскохозяйственных животных и наиболее приближено по составу к женскому.

Традиционно кобылье молоко широко применяется у многих народов мира. Его используют в питании людей с пищевой аллергией, в частности аллергией на коровье молоко, а также в технологиях специализированных пищевых продуктов для диетического лечебного и диетического профилактического питания.

Основной продукт молочного коневодства — кумыс. В России в настоящее время производится около пяти тысяч тонн кобыльего молока в год. Широкое его использование в молочной промышленности перспективно [1]. Кобылье молоко значительно отличается от молока других сельскохозяйственных животных по содержанию основных компонентов, специфическому составу молочного жира и белка (Таблица 1).

Таблица 1. Состав молока от различных видов млекопитающих

Table 1. Composition of milk from different mammalian species

Млеко- питающее	Общий белок	Казеин	Сыворо- точные белки	Жиры	Угле- воды	Зола
	%	%	%	%	%	%
Человек	1,2	0,5	0,7	3,8	7,0	0,2
Лошадь	2,2	1,3	0,9	1,7	6,2	0,5
Корова	3,5	2,8	0,7	3,7	4,8	0,7
Буйволица	4,0	3,5	0,5	7,5	4,8	0,7
Коза	3,6	2,4	0,9	4,1	4,7	0,8
Овца	5,8	4,9	0,9	7,9	4,5	0,8

Молоко кобылы представляет собой белую жидкость голубоватого оттенка, менее жирное и более жидкое, чем коровье молоко. Имеет сладковатый, несколько терпкий вкус, обусловленный повышенным содержанием сахара. По содержанию молочного сахара, белка, минеральных солей кобылье молоко сходно с женским и существенно отличается от коровьего молока (Таблица 1) [2].

В коровьем молоке из белков преобладает казеин, который составляет около 85% всех белковых веществ, на долю сывороточных белков (альбумина и глобулина) приходится 15%. В коровьем молоке растворимые белки (альбумин, глобулин) составляют 15%, в кобыльем молоке — до 49,3%, в женском молоке — 75,5%. Поэтому коровье молоко относят к казеиновому, а кобылье молоко, как и женское — к альбуминовому [3,4]. Кроме того, казеин коровьего молока при скисании даёт плотный сгусток, а казеин кобыльего и женского выпадает в форме мелких хлопьев, почти не ощутимых на языке и не меняющих консистенцию жидкости. Белки кобыльего молока более полноценны и легкоусвояемы, по химическому составу и биологическим свойствам приближены к белкам женского молока. Кобылье молоко полностью

обеспечивает потребность детей младшего возраста в минеральных веществах, необходимых для растущего организма.

Как по общему количеству, так и по содержанию незаменимых аминокислот белки кобыльего молока настолько же биологически полноценны, насколько белки женского молока. Так, при отсутствии или недостаточном содержании незаменимых аминокислот в организме нарушается образование тканевых белков, ферментов, антител, белков крови, белковоподобных гормонов и других физиологически важных соединений, что приводит к изменению обмена веществ и нарушению жизнедеятельности организма.

Кобылье молоко от коровьего различается по количественному и химическому составу жира. Жировые шарики кобыльего молока имеют несколько меньшие размеры, чем жировые шарики коровьего молока, средний их диаметр — 2,1 мкм, шарики диаметром до 3 мкм составляют 89%, от 3 до 6 мкм — 9%. Жировые шарики коровьего молока имеют диаметр от 0,5 до 22 мкм, основное их количество составляет 2–3 мкм. Поэтому кобылье молоко никогда не отстаивается, т. е. не дает сливок и не сбивается в масло. Благодаря малому размеру жировых шариков кобыльего молока, жир кобыльего молока быстрее гидролизует и лучше усваивается организмом. Качество жира кобыльего молока превосходит качество жира коровьего молока [1,2,4,5]. Жир кобыльего молока богат ненасыщенными кислотами, среди которых преобладают линолевая, арахидоновая и особенно линоленовая кислоты.

Кобыльему молоку характерно соотношение ненасыщенных жирных кислот к насыщенным в липидной фазе 1,3, тогда как у коровьего — 0,45, у него сбалансированный аминокислотный состав и, как следствие, кобылье молоко отличается высокой усвояемостью белков [6,7].

Молочный сахар кобыльего молока содержится в количестве 6,5%, т. е. в полтора раза выше, чем в коровьем молоке. Лактоза кобыльего молока является высокоактивным бифидогенным фактором, что обуславливает его незаменимость в продуктах детского и лечебно-профилактического питания.

Использование культур (*Streptococcus salivarius subsp. thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus* и *Lactobacillus rhamnosus* F) при производстве кисломолочных продуктов, помимо улучшения функционально-технологических свойств продукта, может способствовать повышению сроков хранения и биологической активности продукта. Так, штамм *L. rhamnosus* F обладает выраженной антимикробной активностью против *E. coli*, *S. Aureus* и *S. typhimurium*, *K. pneumoniae* [8,9]; характеризуется природной устойчивостью к широкому спектру антибактериальных препаратов [10]; при сквашивании молока способен высвобождать биоактивные пептиды, обладающие антиоксидантными и гипотензивными свойствами [11]. В клинических исследованиях показано, что *L. rhamnosus* (в капсулах) улучшает чувствительность к инсулину [12].

L. bulgaricus и *L. acidophilus* способствует снижению уровня холестерина в крови пациентов при ежедневном их употреблении в виде капсул в течение 16 недель. В исследованиях *in vitro* установлено, что штаммы лактобацилл *L. acidophilus*, *L. Bulgaricus* и *L. casei* ATCC393 при внесении в среду холестерина, снижают его уровень в среде, что сопровождалось повышением концентрации копростанола. Выявленный гипохолестеринемический эффект обусловлен наличием внутриклеточной и внеклеточной холестеринредуктазы, которая превращает холестерин в копростанол [13]. Также установлено, что *L. bulgaricus* и *L. rhamnosus* обладают гепатопротекторными эффектами и подавляют воспалительные реакции; *L. bulgaricus* способствует улучшению почечной дисфункции и может нейтрализовать секрецию воспалительных факторов,

регулируя сигнальный путь NF-κB, а также предотвращая воспалительное повреждение [14].

Целью проведения исследований являлось определение функциональных свойств кисломолочных продуктов на основе кобыльего молока и кобыльего молока с добавлением коровьего.

2. Объекты и методы

Объектами исследования являлись образцы кисломолочных продуктов на основе кобыльего молока (Образец 1), на основе кобыльего молока с добавлением коровьего молока (Образец 2) и кисломолочный продукт на основе коровьего молока с термофильными бактериями (Образец 3).

Состав продуктов приведен в Таблице 2.

Таблица 2. Основные показатели состава исследуемых продуктов

Table 2. Main indicators of the composition of the studied products

Наименование показателя	Наименование кисломолочного продукта		
	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Массовая доля жира, %	2,0	2,2	3,3
Массовая доля белка, %	2,9	2,8	3,0
Массовая доля углеводов, %	12	6,7	4,7

На основании данных о жирнокислотном составе сырья и продукта на основе кобыльего молока с добавлением коровьего молока (Таблица 3) были рассчитаны индекс атерогенности (ИА) [15,16], отношение общего содержания гипохолестеринемических жирных кислот к гиперхолестеринемическим жирным кислотам (Н/Н ratio) [17]. Расчеты проводились по формулам, приведенным ниже.

Таблица 3. Жирнокислотный анализ сырья и продукта

Table 3. Fatty acid analysis of the raw material and products

Жирные кислоты, г/100 г	Молоко		Продукт с соотно- шением кобыльего и коровьего молока
	кобылье	коровье	
Насыщенные:			
Масляная	—	0,11	0,027
Капроновая	следы	0,08	0,02
Каприловая	0,04	0,04	0,04
Каприновая	0,09	0,00	0,06
Лауриновая	0,09	0,1	0,092
Миристиновая	0,11	0,51	0,2
Пальмитиновая	0,30	0,64	0,38
Стеариновая	0,03	0,35	0,1
Мононенасыщенные:			
Пальмитолеиновая	0,1	0,09	0,097
Олеиновая	0,32	0,78	0,43
Полиненасыщенные:			
Линолевая	0,19	0,09	0,16
Линоленовая	0,44	0,03	0,33
Арахидоновая	—	0,09	0,022

На основании данных о жирнокислотном составе сырья и продуктов на основе ККобМ и КобМ/КорМ был рассчитан индекс атерогенности (ИА) [18,19], указывающий на связь между суммой проатерогенных жирных кислот и суммой неэтерифицированных жирных кислот по формуле:

$$IA = \frac{[C12:0 + (4 \times C14:0) + C16:0]}{\Sigma H\text{ЭЖК}} \quad (1)$$

Отношение общего содержания гипохолестеринемических жирных кислот к гиперхолестеринемическим ЖК (H/H_{ratio}) рассчитывали по формуле:

$$\frac{H}{H_{ratio}} = \frac{(cis\ C18:1 + \Sigma ПНЖК)}{(C12:0 + C14:0 + C16:0)} \quad (2)$$

Известно, что антиоксидантными свойствами обладают многие продукты питания, а сами антиоксиданты способны нейтрализовать свободные радикалы путем переноса электрона и/или атома водорода (механизмы SET и HAT, соответственно). Поэтому комплексную оценку антиоксидантного потенциала образцов исследовали двумя методами, позволяющих определить антирадикальную активность, показывающую способность образца ингибировать свободные радикалы, и общую антиоксидантную емкость (ОАЕ), характеризующую концентрацию антиоксидантов в эквиваленте кверцетина.

Антирадикальную активность измеряли методом DPPH (the DPPH radical scavenging activity, RSA%), который считается достоверным и простым анализом для оценки поглощающей активности, поскольку соединение DPPH является стабильным радикалом, и его не нужно генерировать, как в других анализах антирадикальной активности. Метод DPPH является смешанным методом и учитывает все антиоксиданты, действующие по механизму SET (single electron transfer) и по механизму HAT (hydrogen atom transfer). ОАЕ образцов определяли методом FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power), учитывающего антиоксиданты, действующие по механизму SET (single electron transfer). Выбор данных методов обоснован тем, что методы DPPH и FRAP являются наиболее применимыми для изучения образцов животного происхождения, тогда как ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) чаще используется для изучения водорастворимых образцов, в частности растительных компонентов, напитков, лекарств, и позволяет определить общую антиоксидантную емкость, выражаемую в эквиваленте trolox. В случае образцов животного происхождения необходимо подбирать методики пробоподготовки, поскольку белковые молекулы способны снижать флуоресценцию, на которой основан данный метод.

Для получения экстрактов образцы кисломолочного продукта тщательно перемешивали до получения гомогенной субстанции, после чего отбирали 10 г образца и смешивали с 10 мл 96% этанола, тщательно перемешивали и выдерживали в течение 20 ч при 22 ± 2 °C. Полученный экстракт фильтровали через фильтровальную бумагу для количественных анализов с массовой долей золы до 0,03% (ФБ-III, ГОСТ 12026–76¹). Экстракты хранили при минус 40 °C.

Общую антиоксидантную емкость образцов кисломолочных продуктов определяли методом FRAP на спектрофотометре СФ-2000 (Спектр, Россия) в соответствии с методикой Benzie и Strain в авторской модификации [20].

Реактив FRAP готовили посредством смешивания 0,3 М ацетатного буфера (pH 3,6), 10 мМ раствора фотометрического реагента 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (Sigma-aldrich, Швейцария), растворенного в 40 мМ соляной кислоте, и 20 мМ водного раствора хлорида железа (III) (PanReac AppliChem, Испания) в соотношениях 10:1:1.

Для измерения ОАЕ экстрактов кисломолочных продуктов готовили реакционную смесь: 1,45 мл свежеприготовленного реактива FRAP и 50 мкл образца или дистиллированной воды в качестве контрольной пробы. Реакционную смесь инкубировали в течение 30 мин при 37 °C в темноте, после чего регистрировали оптическую плотность при длине волны 594 нм.

¹ ГОСТ 12026–76 «Бумага фильтровальная лабораторная. Технические условия». Москва: Стандартинформ, 2005. — 7 с.

Общую антиоксидантную емкость рассчитывали по градуировочному графику ($R^2 = 0,9988$), для построения которого использовали раствор кверцетина (Sigma-aldrich, Индия) в диапазоне концентраций 1 мкМ–250 мкМ. Результат выражали в нмоль-экв. кверцетина / г продукта.

Антирадикальную активность образцов кисломолочных продуктов определяли методом DPPH в соответствии с методикой [21]. Для проведения анализа к 1,45 мл 75 мкМ раствора DPPH-2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (ChemCruz, Santa Cruz Biotechnology, США) приливали 50 мкл экстракта или метанола в качестве контрольной пробы.

Реакционную смесь инкубировали в течение 30 мин в темноте при температуре 22 ± 2 °С. Оптическую плотность регистрировали при длине волны 517 нм.

Антирадикальную активность рассчитывали по формуле, выражая в процентах активности улавливания свободных радикалов DPPH (RSA%).

$$DPPH\ RSA\ (\%) = \frac{D_k - D_o}{D_k} \times 100\% \quad (3)$$

где D_k — оптическая плотность контрольной пробы,
 D_o — оптическая плотность образца.

Измерения проводили в трех повторностях.

При изучении спектра антимикробной активности разработанного кисломолочного продукта в качестве тест-культур использовали *S. aureus* ATCC 6538, *E. coli* ATCC 25922, *Salmonella typhimurium*. Антимикробную активность определяли диско-диффузионным методом.

Тестируемые штаммы *E. coli* B-125, *S. typhimurium* и *S. aureus* ATCC 6538 культивировали при температуре (37 ± 1) °С в течение 24 ч на скошенном агаре. Затем готовили суспензию клеток, которую в количестве 1% вносили в регенерированную питательную среду СПА при температуре (45 ± 2) °С, тщательно перемешивали и разливали в стерильные чашки Петри так, чтобы высота слоя питательной среды составляла 5 мм. После застывания питательной среды делали лунки стеклянной трубочкой диаметром 5 мм, в которые вносили 50 мкл кисломолочного продукта.

Чашки выдерживали при комнатной температуре в течение 3 ч, затем термостатировали при температуре (37 ± 1) °С. Измерение зон ингибирования проводили через 24 ч.

3. Результаты и обсуждение

В соответствии с приведенными в разделе «Материалы и методы» формулами, индекс атерогенности кобыльего молока составил 0,79; коровьего молока — 2,57; кисломолочного продукта с соотношением кобыльего и коровьего молока — 1,22. Данный показатель указывает на связь между суммой проантерогенных жирных кислот и суммой незатерифицированных жирных кислот. Чем ниже ИА, тем больше положительный эффект. В соответствии с данными о том, что индекс атерогенности в зависимости от вида сырья может варьировать в диапазоне от 0,03 до 3,58, для продуктов — от 1,42 до 5,13 [22], при этом для молока на разных этапах лактации показан диапазон от 4,08 до 5,13 [23], можно отметить низкие индексы атерогенности как для кобыльего молока, так и для кисломолочного продукта на его основе.

Отношение общего содержания гипохолестеринемических жирных кислот к гиперхолестеринемическим жирным кислотам составляло 1,90 для кобыльего молока; 0,79 — для коровьего молока; 1,40 — для кисломолочного продукта с соотношением кобыльего и коровьего молока. Для молочных продуктов из коровьего молока диапазоны составляют 0,32–1,29, для коровьего молока — 0,34–0,75 [22], для йогуртов — 0,54–1,29 [23]. В соответствии с тем, что данный индекс достаточно точно отражает влияние жирнокислот-

ного состава на риск возникновения сердечно-сосудистых заболеваний, и учитывая взаимосвязь низкого индекса с положительным эффектом, можно предположить, что кисломолочный продукт с использованием кобыльего и коровьего молока может оказывать опосредованное влияние на уровень холестерина и его фракций.

Результаты определения общей антиоксидантной емкости образцов кисломолочных продуктов методом FRAP представлены на Рисунке 1 и в Таблице 4.

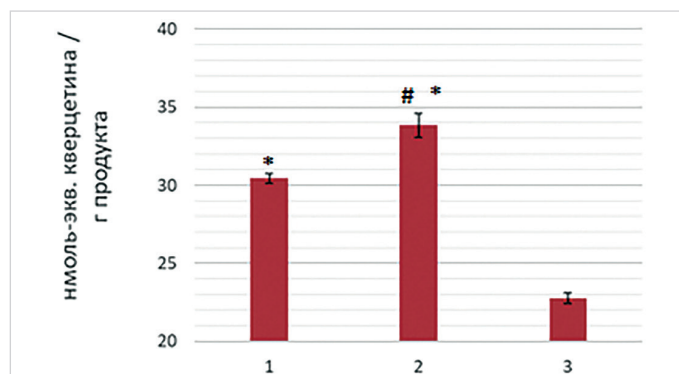


Рисунок 1. Результаты определения общей антиоксидантной емкости кисломолочных продуктов методом FRAP: 1 — образец 1; 2 — образец 2; 3 — образец 3

Figure 1. Results of determination of the total antioxidant capacity of the fermented milk products by the FRAP method: 1 — sample 1; 2 — sample 2; 3 — sample 3

Таблица 4. Общая антиоксидантная емкость кисломолочных продуктов методом FRAP (в нмоль-экв. кверцетина / г продукта)

Table 4. Total antioxidant capacity of the fermented milk products by the FRAP method (in nmol quercetin equivalent/g product)

Наименование	Характеристика выборки	Значение показателя
Образец 1	ME ± SD	30,44 ± 0,33
	P 25–P75	30,43–30,72
Образец 2	ME ± SD	33,83 ± 0,75
	P 25–P75	33,54–34,28
Образец 3	ME ± SD	22,77 ± 0,33
	P 25–P75	22,67–22,99

Результаты определения антирадикальной активности образцов кисломолочных продуктов методом DPPH представлены на Рисунке 2 и в Таблице 5.

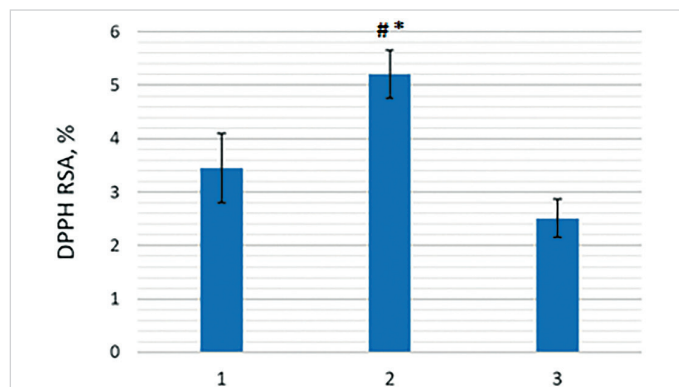


Рисунок 2. Результаты определения антирадикальной активности образцов кисломолочных продуктов методом DPPH: 1 — образец 1; 2 — образец 2; 3 — образец 3

Figure 2. Results of determination of the antiradical activity of the fermented milk product samples by the DPPH method: 1 — sample 1; 2 — sample 2; 3 — sample 3

Таблица 5. Антирадикальная активность
кисломолочных продуктов DPPH RSA (в %)
Table 5. Antiradical activity of the fermented milk products
DPPH RSA (in %)

Наименование	Характеристика выборки	Значение показателя
Образец 1	ME ± SD	3,45 ± 0,64
	P 25-P75	2,62–4,00
Образец 2	ME ± SD	5,21 ± 0,45
	P 25-P75	4,83–5,66
Образец 3	ME ± SD	2,51 ± 0,37
	P 25-P75	2,24–2,95

Таким образом показано, что образцы кисломолочных продуктов 1 и 2 обладали высокими показателями общей антиоксидантной емкости — 30,44 [30,43–30,72] и 33,83 [33,54–34,28] нмоль-экв. кверцетина/г продукта, соответственно, превышая значения образца 3 на 33,7% и 48,6%, соответственно. Наибольшая антирадикальная активность также была выявлена у образцов 1 и 2–3,45 [2,62–4,00] и 5,21 [4,83–5,66] %, соответственно. При этом показатель образца 1 превышал показатель образца 3 на 37,5%, образец 2 превышал значения образцов 1 и 3 на 51,0% и в 2 раза, соответственно.

Антимикробная активность является одним из наиболее важных свойств заквасочных микроорганизмов, используемых при создании кисломолочных продуктов, что позволяет использовать их в разработке функциональных продуктов для улучшения здоровья человека. С этой целью определили спектр антимикробной активности разработанного кисломолочного продукта на основе кобыльего молока. Данные по антимикробной активности разработанных кисломолочных продуктов представлены в Таблице 6.

Таблица 6. Спектр антимикробной активности
разработанного кисломолочного продукта

Table 6. Spectrum of the antimicrobial activity
of the developed fermented milk product

№ п/п	Вид продукта	Диаметр зоны ингибирования роста тест-культуры, мм		
		<i>S. aureus</i> ATCC 6538	<i>E. coli</i> ATCC 25922	<i>Salmonella</i> <i>typhimurium</i>
1	Образец 1	12,5 ± 0,5	14,0 ± 0,5	12,5 ± 0,5
2	Образец 2	13 ± 0,5	15,0 ± 0,5	13 ± 0,5

В результате проведенных исследований установлено, что разработанный кисломолочный продукт на основе кобыльего молока обладает антимикробной активностью, которая незначительно варьируется в зависимости от выбранных условно-патогенных штаммов. Наибольшую антимикробную активность данный кисломолочный продукт проявляет по отношению к *E. coli* ATCC 25922. Диаметр зоны ингибирования *E. coli* ATCC 25922 составляет 14 ± 0,5 мм для продукта на основе кобыльего молока с добавлением сухого кобыльего молока и 15 ± 0,5 мм для продукта на основе кобыльего молока с добавлением сухого коровьего молока. По отношению к *S. aureus* ATCC 6538 и *Salmonella typhimurium* разработанные кисломолочные продукты на основе кобыльего молока показали одинаковую антимикробную активность, диаметр зоны ингибирования роста тест-штаммов составил 12,5–13 мм.

4. Выводы

Кисломолочные продукты на основе кобыльего молока и с добавлением коровьего молока обладали высокими показателями общей антиоксидантной емкости (FRAP) и антирадикальной активности (метод DPPH), значения которых превышали значения кисломолочного продукта на основе коровьего молока на 33,7% и 48,6%, соответственно, а также на 37,5% и в 2 раза, соответственно.

В результате анализа жирнокислотного состава и расчетов индексов для кисломолочного продукта на основе кобыльего и коровьего молока установлены низкие значения индекса атерогенности (1,22). При этом отношение общего содержания гипохолестеринемических жирных кислот к гиперхолестеринемическим жирным кислотам составляло 1,40.

Исследования антимикробной активности кисломолочных продуктов показали наибольшую антимикробную активность разработанных продуктов по отношению к *E. coli* ATCC 25922. Диаметр зоны ингибирования *E. coli* ATCC 25922 составил 14 ± 0,5 мм для продукта на основе ККобМ и 15 ± 0,5 мм для продукта на основе КобМ/КорМ. По отношению к *S. aureus* ATCC 6538 и *Salmonella typhimurium* ATCC 14028 разработанные КП показали одинаковую антимикробную активность, диаметр зоны ингибирования роста тест-штаммов составил 12,5–13 мм. Наличие зон ингибирования роста условно-патогенных микроорганизмов позволяет свидетельствовать о наличии высокой антимикробной активности разработанных продуктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Ахатова, И.А., Маершина, Н.А., Ахметшина, Г.В. (2008). Поведенческие признаки как объект отбора в молочном коневодстве. Уфа: Гилем, 2008.
- Реабилитация и комплексное лечение больных в кумысолечебном санатории «Юматово» / Под ред. Л. Т. Гильмутдиновой. — Уфа, Юматово, 2004.
- Козлов, С.А., Парфенов, В.А. Коневодство. (2004). СПб.: Издательство «Лань», 2004.
- Сатыев, Б.Х., Махмутов, К.З., Самохвалов, В.И. (2001). Коневодство Башкортостана. Уфа, 2001.
- Твердохлеб, Г.В., Раманаскас, Р.И. (2006). Химия и физика молока и молочных продуктов. М.: ДеЛи принт, 2006.
- Синявский, Ю.А., Якунин, А.В., Торгаутов, А.С., Бердыгалиев, А.Б. (2016). Сравнительная оценка жирнокислотного состава, индексов атерогенности и тромбогенности молока различных видов сельскохозяйственных животных. *Проблемы современной науки и образования*, 7(49), 180–186.
- Симоненко, Е.С., Бегунова, А.В. (2021). Разработка кисломолочного продукта на основе кобыльего молока и ассоциации молочнокислых микроорганизмов. *Вопросы питания*, 90(5), 115–125. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-115-125>
- Бегунова, А.В., Рожкова, И.В., Ширишова, Т.И., Крысанова, Ю.И. (2020). Антимикробные свойства *Lactobacillus* в кисломолочных продуктах. *Молочная промышленность*, 6, 22–23. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-06-22-23>
- Fedorova, T. V., Vasina, D. V., Begunova, A. V., Rozhkova, I. V., Raskoshnaya, T. A., Gabrielyan, N. I. (2018). Antagonistic activity of lactic acid bacteria *Lactobacillus* spp. against clinical isolates of *Klebsiella pneumoniae*. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 54(3), 277–287. <https://doi.org/10.1134/s0003683818030043>
- Бегунова, А.В., Рожкова, И.В. (2020). Антибиотикорезистентность молочнокислых бактерий с пробиотическими свойствами. *Молочная промышленность*, 9, 48–50. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-09-48-49>
- Begunova, A. V., Savinova, O. S., Glazunova, O. A., Moiseenko, K. V., Rozhkova, I. V., Fedorova, T. V. (2021). Development of antioxidant and antihypertensive properties during growth of *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus rhamnosus* and *Lactobacillus reuteri* on cow's milk: Fermentation and peptidomics study. *Foods*, 10(1), Article 17. <https://doi.org/10.3390/foods10010017>
- Kim, Y. A., Keogh, J. B., Clifton, P. M. (2018). Probiotics, prebiotics, synbiotics and insulin sensitivity. *Nutrition Research Reviews*, 31(1), 35–51. <https://doi.org/10.1017/S095442241700018X>
- Kumar, M., Nagpal, R., Kumar, R., Hemalatha, R., Verma, V., Kumar, A. et al. (2012). Cholesterol-lowering probiotics as potential biotherapeutics for metabolic diseases. *Experimental Diabetes Research*, 2012, Article 902917. <https://doi.org/10.1155/2012/902917>
- Chen, Y., Li, R., Chang, Q., Dong, Z., Yang, H., Xu, C. (2019). *Lactobacillus bulgaricus* or *Lactobacillus rhamnosus* suppresses NF-κB signaling

- pathway and protects against AFB1 -induced hepatitis: A novel potential preventive strategy for aflatoxicosis? *Toxins*, 11(1), Article 17. <https://doi.org/10.3390/toxins11010017>
15. Santos-Silva, J., Bessa, R. J. B., Santos-Silva, F. (2002). Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. fatty acid composition of meat. *Livestock Production Science*, 77(2–3), 187–194. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00059-3)
 16. Chen, S., Bobe, G., Zimmerman, S., Hammond, E. G., Luhman, C. M., Boylston, T. D. et al. (2004). Physical and sensory properties of dairy products from cows with various milk fatty acid compositions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3422–3428. <https://doi.org/10.1021/jf035193z>
 17. Федулова, Л. В. (2021). Теоретическая обоснованность и практическая эффективность комплексного подхода к исследованиям специализированных пищевых продуктов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова, 2021.
 18. Ulbricht, T. L. V., Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: Seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), 985–992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M)
 19. Slastin, V.V., Samusieva, E.S., Moskalchuk, L.V., Usatiuk, O.M. (2015). Specific Influence of different food fatty acids on cardiovascular system. *Scientific Works of NUFT*, 21(4), 7–16. (In Ukrainian)
 20. Chernukha, I., Kotenkova, E., Derbeneva, S., Khvostov, D. (2021). Bioactive compounds of porcine hearts and aortas may improve cardiovascular disorders in humans. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14) <https://doi.org/10.3390/ijerph18147330>
 21. Mehlem, A., Hagberg, C. E., Muhl, L., Eriksson, U., Falkevall, A. (2013). Imaging of neutral lipids by oil red O for analyzing the metabolic status in health and disease. *Nature Protocols*, 8(6), 1149–1154. <https://doi.org/10.1038/nprot.2013.055>
 22. Ivanova, S., Angelov, L. (2017). Assessment of the content of dietary trans fatty acids and biologically active substances in cow's milk and curd. *Modern Chemistry*, 5(6), 86–92. <https://doi.org/10.11648/j.mc.20170506.11>
 23. Ahmad, N., Manzoor, M. F., Shabbir, U., Ahmed, S., Ismail, T., Saeed, F. et al. (2020). Health lipid indices and physicochemical properties of dual fortified yogurt with extruded flaxseed omega fatty acids and fibers for hypercholesterolemic subjects. *Food Science and Nutrition*, 8(1), 273–280. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1302>
 1. Akhatova, I.A., Maershina, N.A., Akhmetshina, G.V. (2008). Behavioral traits as an object of selection in dairy horse breeding. Ufa: Gilem, 2008.
 2. Rehabilitation and comprehensive treatment of patients in the kumysolechebny sanatorium "Yumatovo" / Edited by L. T. Gilmudinova. Ufa, Yumatovo, 2004.
 3. Kozlov, S.A., Parfenov, V.A. (2004). Horse breeding. St. Petersburg: Publishing House "Lan", 2004.
 4. Satyev, B.H., Makhmutov, K.Z., Samokhvalov, V.I. (2001). Horse breeding of Bashkortostan. Ufa, 2001.
 5. Tverdokhlebo, G.V., Ramanauskas, R.I. (2006). Chemistry and physics of milk and dairy products. Moscow: Deli Print, 2006.
 6. Sinyavskiy, Yu. A., Yakunin, A. V., Torgautov, A. C., Berdygaliev, A. B. (2016). Comparative evaluation of fatty acid composition, atherogenic index and thrombogenicity milk of different species of farm animals. *Problems of Modern Science and Education*, 7(49), 180–186. (In Russian)
 7. Simonenko, E. S., Begunova, A. V. (2021). Development of fermented milk product based on mare milk and lactic microorganisms association. 90(5), 115–125. *Problems of Nutrition*, <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-115-125> (In Russian)
 8. Begunova, A. V., Rozhkova, I. V., Shirshova, T. I., Krysanova, Yu. I. (2020). Antimicrobial properties of lactobacillus in fermented milk products. *Milk Industry*, 6, 22–23. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-06-22-23> (In Russian)
 9. Fedorova, T. V., Vasina, D. V., Begunova, A. V., Rozhkova, I. V., Raskoshnaya, T. A., Gabrielyan, N. I. (2018). Antagonistic activity of lactic acid bacteria lactobacillus spp. against clinical isolates of klebsiella pneumoniae. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 54(3), 277–287. <https://doi.org/10.1134/s0003683818030043>
 10. Begunova, A. V., Rozhkova, I. V. (2020). Antibiotic resistance of lactic acid bacteria with probiotic properties. *Milk Industry*, 9, 48–50. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-09-48-49> (In Russian)
 11. Begunova, A. V., Savinova, O. S., Glazunova, O. A., Moiseenko, K. V., Rozhkova, I. V., Fedorova, T. V. (2021). Development of antioxidant and antihypertensive properties during growth of lactobacillus helveticus, lactobacillus rhamnosus and lactobacillus reuteri on cow's milk: Fermentation and peptidomics study. *Foods*, 10(1), Article 17. <https://doi.org/10.3390/foods10010017>
 12. Kim, Y. A., Keogh, J. B., Clifton, P. M. (2018). Probiotics, prebiotics, synbiotics and insulin sensitivity. *Nutrition Research Reviews*, 31(1), 35–51. <https://doi.org/10.1017/S095442241700018X>
 13. Kumar, M., Nagpal, R., Kumar, R., Hemalatha, R., Verma, V., Kumar, A. et al. (2012). Cholesterol-lowering probiotics as potential biotherapeutics for metabolic diseases. *Experimental Diabetes Research*, 2012, Article 902917. <https://doi.org/10.1155/2012/902917>
 14. Chen, Y., Li, R., Chang, Q., Dong, Z., Yang, H., Xu, C. (2019). Lactobacillus bulgaricus or lactobacillus rhamnosus suppresses NF-KB signaling pathway and protects against AFB1 -induced hepatitis: A novel potential preventive strategy for aflatoxicosis? *Toxins*, 11(1), Article 17. <https://doi.org/10.3390/toxins11010017>
 15. Santos-Silva, J., Bessa, R. J. B., Santos-Silva, F. (2002). Effect of genotype, feeding system and slaughter weight on the quality of light lambs. II. fatty acid composition of meat. *Livestock Production Science*, 77(2–3), 187–194. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00059-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00059-3)
 16. Chen, S., Bobe, G., Zimmerman, S., Hammond, E. G., Luhman, C. M., Boylston, T. D. et al. (2004). Physical and sensory properties of dairy products from cows with various milk fatty acid compositions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3422–3428. <https://doi.org/10.1021/jf035193z>
 17. Fedulova, L. V. (2021). Theoretical validity and practical effectiveness of an integrated approach to the research of specialized food products. Author's abstract of the dissertation for the scientific degree of Doctor of Technical Sciences. Moscow: V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems, 2021. (In Russian)
 18. Ulbricht, T. L. V., Southgate, D. A. T. (1991). Coronary heart disease: Seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), 985–992. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(91\)91846-M](https://doi.org/10.1016/0140-6736(91)91846-M)
 19. Slastin, V.V., Samusieva, E.S., Moskalchuk, L.V., Usatiuk, O.M. (2015). Specific Influence of different food fatty acids on cardiovascular system. *Scientific Works of NUFT*, 21(4), 7–16. (In Ukrainian)
 20. Chernukha, I., Kotenkova, E., Derbeneva, S., Khvostov, D. (2021). Bioactive compounds of porcine hearts and aortas may improve cardiovascular disorders in humans. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14) <https://doi.org/10.3390/ijerph18147330>
 21. Mehlem, A., Hagberg, C. E., Muhl, L., Eriksson, U., Falkevall, A. (2013). Imaging of neutral lipids by oil red O for analyzing the metabolic status in health and disease. *Nature Protocols*, 8(6), 1149–1154. <https://doi.org/10.1038/nprot.2013.055>
 22. Ivanova, S., Angelov, L. (2017). Assessment of the content of dietary trans fatty acids and biologically active substances in cow's milk and curd. *Modern Chemistry*, 5(6), 86–92. <https://doi.org/10.11648/j.mc.20170506.11>
 23. Ahmad, N., Manzoor, M. F., Shabbir, U., Ahmed, S., Ismail, T., Saeed, F. et al. (2020). Health lipid indices and physicochemical properties of dual fortified yogurt with extruded flaxseed omega fatty acids and fibers for hypercholesterolemic subjects. *Food Science and Nutrition*, 8(1), 273–280. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1302>

REFERENCES

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Симоненко Елена Сергеевна — младший научный сотрудник, лаборатория технологий продуктов питания детей и дошкольного и школьного возраста Научно-исследовательский институт детского питания — филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи 143500, Московская область, Истра, ул. Московская, 48 Тел.: +7-498-313-03-96 E-mail: nir@niidp.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2878-8069 * автор для контактов	Elena S. Simoneko, Junior Researcher, Laboratory of Food Technologies for Children and Preschool and School Age, Scientific Research Institute of Baby Food — a branch Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety 48, Moskovskaya str., Moscow region, 143500, Istra, Russia Tel.: +7-498-313-03-96 E-mail: nir@niidp.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2878-8069 * corresponding author
Купаева Надежда Владимировна — младший научный сотрудник, Экспериментальная клиника-лаборатория биологически активных веществ животного происхождения, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина 26 Тел.: +7-495-676-95-11 (доб. 128) E-mail: n.kupaeva@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1066-5589	Nadezhda V. Kupaeva, Junior Researcher, Experimental Clinic-Laboratory of Biologically Active Substances of Animal Origin, V. M. Gorbatoev Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 (128) E-mail: n.kupaeva@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1066-5589
Симоненко Сергей Владимирович — доктор технических наук, директор, Научно-исследовательский институт детского питания — филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи 143500, Московская область, Истра, ул. Московская, 48 Тел.: +7-498-313-03-96 E-mail: dir@niidp.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6999-5048	Sergey V. Simoneko, Doctor of Technical Sciences, Director, Scientific Research Institute of Baby Food — a branch Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety 48, Moskovskaya str., Moscow region, 143500, Istra, Russia Tel.: +7-498-313-03-96 E-mail: dir@niidp.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6999-5048
Мануйлов Борис Михайлович — доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник, лаборатория технологий продуктов геродиетического питания, Научно-исследовательский институт детского питания — филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи 143500, Московская область, Истра, ул. Московская, 48 Тел.: +7-498-313-03-96 E-mail: economy@niidp.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8235-8457	Boris M. Manuilov, Doctor of Biological Sciences, Professor, Senior Researcher, Laboratory of Technologies of Herodietic Nutrition Products, Scientific Research Institute of Baby Food — a branch Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety 48, Moskovskaya str., Moscow region, 143500, Istra, Russia Tel.: +7-498-313-03-96 E-mail: economy@niidp.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8235-8457
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-121-131>

Поступила 06.05.2022

Поступила после рецензирования 20.05.2022

Принята в печать 26.05.2022

© Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В., Ульянова Е. В., Моисеева А. А., Томгорова С. М., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФРУКТОВЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ

Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В.*, Ульянова Е. В., Моисеева А. А., Томгорова С. М.

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

фруктовые дистилляты,
плодовые водки,
идентификация, косточковое
сырье, биохимический состав,
пектиновые вещества,
ароматизующие летучие
компоненты

АННОТАЦИЯ

Качественные характеристики спиртных напитков на основе фруктовых дистиллятов формируются в основном за счет концентрации и соотношения ароматизующих летучих компонентов, часть из которых переходит в продукт из исходного сырья. Анализ данных по биохимическому составу отдельных видов косточкового сырья дает возможность научно обосновать режимные параметры отдельных стадий производства, а также позволяет выявлять случаи фальсификации. В данном обзоре рассматриваются вопросы, касающиеся поиска химических маркеров для плодовых водок, изготовленных на основе дистиллятов из сливы, алычи, вишни, черешни, абрикоса и персика. Приведены данные по содержанию редуцирующих сахаров, титруемой кислотности, свободных аминокислот, pH и по сахарокислотному индексу рассматриваемого фруктового сырья. Показаны значительные интервалы варьирования этих показателей в зависимости от вида сырья и региона культивирования. Рассмотрены вопросы оценки пектинового комплекса отдельных видов косточкового сырья. Представлена схема гидролиза пектиновых веществ фруктового сырья, проходящего на стадии его подготовки к дистилляции. Показана важная роль этого процесса в формировании качественных характеристик фруктовых дистиллятов и спиртных напитков на их основе (плодовых водок). Приведены данные по составу и концентрации ароматизующих летучих компонентов отдельных видов косточкового сырья. Представлены данные по основным физико-химическим характеристикам ароматизующих летучих компонентов, обнаруженных в рассматриваемых видах свежих фруктов, и способам их исследования. Дана обобщенная оценка технологических особенностей подготовки отдельных видов фруктового сырья к сбраживанию и дистилляции в зависимости от его биохимического состава. В целом анализ данных, представленных в настоящем обзоре, позволил сделать заключение о перспективности исследований, направленных на разработку идентификационных показателей фруктовых дистиллятов и плодовых водок с использованием первичных ароматизующих летучих компонентов сырья.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках выполнения исследований по государственному заданию FGUS-2022-0004 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН.

Received 06.05.2022

Accepted in revised 20.05.2022

Accepted for publication 26.05.2022

© Krikunova L. N., Dubinina E. V., Uljanova E. V., Moiseeva A. A., Tomgorova S. M., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

SCIENTIFIC AND PRACTICAL ASPECTS OF ASSESSING THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF RAW MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF FRUIT DISTILLATES

Ludmila N. Krikunova, Elena V. Dubinina*, Ekaterina V. Uljanova,
Aleksandra A. Moiseeva, Svetlana M. Tomgorova

All-Russian Scientific Research Institute of the Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:

fruit distillates, fruit vodkas,
identification, stone raw materials,
biochemical composition, pectin
substances, aroma-forming
volatile components

ABSTRACT

Quality characteristics of spirit drinks based on fruit distillates are formed mainly due to the concentration and the ratio of aroma-forming volatile components, part of which is transferred to a product from the initial raw materials. Analysis of data on the biochemical composition of the individual types of stone raw materials makes it possible to substantiate scientifically the regime parameters of the individual production stages and allows revealing adulteration. The present review considers questions concerning the search of chemical markers for fruit vodkas made on the basis of distillates from plum, cherry plum, cherry, sweet cherry, apricot and peach. The data are presented on the content of reducing sugars, titratable acidity, free amino acids, pH and sugar-acid index of the fruit raw materials under consideration. Significant variations of these indices depending on a raw material type and region of cultivation are shown. The questions of evaluation of the pectin complex in the individual types of stone raw materials are considered. The scheme of hydrolysis of pectin substances of fruit raw materials occurring at the stage of its preparation for distillation is presented. An important role of this process in formation of quality characteristics of fruit distillates and spirit drinks on their basis (fruit vodkas) is shown. The data on the composition and concentration of aroma-forming volatile components of individual types of stone raw materials are given. The data on the main physico-chemical characteristics of aroma-forming volatile components found in

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Крикунова, Л.Н., Дубинина, Е.В., Ульянова, Е.В., Моисеева, А.А., Томгорова, С.М. (2022). Научно-практические аспекты оценки биохимического состава сырья для производства фруктовых дистиллятов. *Пищевые системы*, 5(2), 121-131. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-121-131>

FOR CITATION: Krikunova, L.N., Dubinina, E.V., Uljanova, E.V., Moiseeva, A.A., Tomgorova, S.M. (2022). Scientific and practical aspects of assessing the biochemical composition of raw materials for the production of fruit distillates. *Food systems*, 5(2), 121-131. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-121-131>

the fresh fruit types under consideration and methods for their analysis are presented. The generalized estimation of technological peculiarities of preparation of individual types of fruit raw materials for fermentation and distillation depending on their biochemical composition is given. In general, analysis of the data presented in this review allowed making a conclusion about prospects of investigations aimed to the development of identification indices of fruit distillates and fruit vodkas using the primary aroma-forming volatile components of raw materials.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS-2022–0004 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

В настоящее время большой популярностью пользуются спиртные напитки — плодовые водки, к которым относится винодельческий продукт с объемной долей этилового спирта не менее 37,5%, изготовленный из одного или нескольких наименований плодовых дистиллятов, имеющих вкус и аромат используемого сырья. Популярность этого вида элитных спиртных напитков в европейских странах объясняется их высокими потребительскими свойствами — уникальным ароматом и вкусом, характерным для исходного сырья. Потребительские свойства напитков на основе фруктовых дистиллятов определяются их вкусоароматическим профилем и показателями безопасности, которые зависят от особенностей биохимического состава сырья, а также способов и режимных параметров его переработки [1–4]. Для производства таких дистиллятов в мировой практике используют широкий ассортимент фруктового сырья. На его биохимический состав, кроме физиологических особенностей вида, оказывают влияние различия природно-климатических условий произрастания.

В соответствии с действующими нормативными документами фруктовые дистилляты и все плодовые водки производят без добавления ароматизаторов и красителей. Наиболее часто используемые для производства плодовых водок фрукты — это сливы, абрикосы, вишни, груши и яблоки. В Российской Федерации такие напитки промышленно выпускаются в незначительных объемах, хотя отечественная сырьевая база весьма обширна — во всех регионах нашей страны можно найти сырье для их производства, в том числе дикорастущее [5–7].

В данном обзоре рассматриваются вопросы, касающиеся поиска химических маркеров для плодовых водок, изготовленных на основе дистиллятов из косточкового сырья — сливы, алычи, вишни, черешни, абрикоса и персика. Все эти фрукты объединяет то, что они являются плодами деревьев, принадлежащих к семейству розоцветных. Наиболее популярны сливовые водки, которые в основном производятся в Чехии, Польше, Словакии, Венгрии, Болгарии, Сербии и Румынии [8–10].

Органолептические свойства (аромат и вкус) плодовых водок в основном определяются составом и концентрацией летучих ароматобразующих соединений. Эти соединения условно можно разделить на следующие четыре группы в соответствии с последовательностью стадий технологического процесса: первичные — летучие вещества, переходящие из исходного сырья в готовый продукт в неизменном виде; вторичные — компоненты, образующиеся в процессе спиртового брожения; третичные — летучие соединения, образующиеся в процессе дистилляции; четвертичные — вещества, образующиеся в процессе выдержки или длительного хранения [11].

Углубленный анализ данных по оценке биохимического состава отдельных видов фруктового косточкового сырья с позиции их использования в технологии дистиллятов и напитков на их основе позволяет научно обосновать режимные параметры отдельных стадий производства, а также

выявлять случаи фальсификации. Именно данному направлению для оценки качественных характеристик косточкового сырья, культивируемого на территории Российской Федерации, посвящена настоящая статья.

2. Характеристика биохимического состава фруктового косточкового сырья

Основные показатели биохимического состава фруктового косточкового сырья, такие как содержание сахаров, титруемых кислот, а также пектиновых и фенольных веществ, достаточно хорошо изучены [12–21]. Согласно имеющимся данным, для таких видов, как слива, алыча, вишня, абрикос, персик, относящихся к роду *Prunus*, содержание редуцирующих сахаров варьируется в довольно широких пределах в зависимости от вида и региона произрастания (Таблица 1). Выявлено, что по массовой концентрации редуцирующих сахаров исследованное фруктовое сырье можно подразделить на две группы: с низким содержанием сахаров — до 100 г/дм³ (слива, алыча) и высоким — свыше 100 г/дм³ (абрикос). Персики и вишня занимают промежуточное положение.

Установлены также существенные отличия по массовой концентрации титруемых кислот в различных видах фруктового сырья. Данный показатель, во-первых, определяет выбор режимных параметров первичной переработки сырья. Во-вторых, влияет на процессы новообразования на стадиях сбраживания и дистилляции. Отличительной особенностью плодов персика, который культивируется преимущественно в южных регионах страны, по сравнению с другими видами косточкового сырья, является меньшее (0,7–0,9%) содержание органических кислот, чем в остальных косточковых плодах. В связи с этим вкус персиков слаще, чем, например, у абрикосов, содержащих больше сахаров и органических кислот.

Известно, что одним из основных показателей оценки технологических свойств фруктового сырья для производства дистиллятов является сахаро-кислотный индекс. Данный показатель для исследованных видов плодов варьировался в широких пределах.

Таблица 1. Сравнительная характеристика биохимического состава отдельных видов фруктового косточкового сырья [12–21]

Table 1. Comparative characteristics of the biochemical composition of the individual types of fruit stone raw materials [12–21]

Наименование сырья	Показатели				
	Массовая концентрация, г/дм ³			Сахаро-кислотный индекс	pH
	редуцирующих сахаров	титруемых кислот	суммы свободных аминокислот		
Слива	80,2–95,1	16,5–19,0	1,8–3,5	4,8–5,3	2,8–3,1
Алыча	55,4–75,3	20,5–23,0	1,1–1,8	2,3–2,7	2,5–3,0
Вишня	69,8–110,2	11,0–15,0	1,5–3,0	6,0–7,5	3,0–3,5
Абрикос	110,2–129,8	14,5–18,5	1,4–1,9	7,0–7,5	3,0–3,5
Персик	84,3–108,3	4,2–6,3	5,5–8,3	15,4–20,1	4,1–4,8

Максимальные значения сахаро-кислотного индекса имели плоды персика, минимальные — алыча и слива. Сахаро-кислотный индекс характеризует соотношение сахаров и кислот в сырье и позволяет выбрать определенные режимные параметры его подготовки к сбраживанию и дистилляции. Используемые для сбраживания фруктового сырья винные расы дрожжей адаптированы к низким значениям pH — на уровне 2,5–3,5. В результате ранее проведенных исследований установлено, что только при таком значении активной кислотности происходит наиболее интенсивный синтез ценных ароматобразующих компонентов — сложных эфиров высших жирных кислот [22–23]. Кроме того, следует учитывать, что процесс сбраживания фруктового сырья длительный (от 5 дней до месяца). Использование сернистого ангидрида в качестве консерванта в технологии фруктовых дистиллятов запрещено, т. к. его применение приводит к образованию меркаптановых соединений, снижающих органолептические характеристики продукта, а образующаяся сернистая кислота агрессивна для оборудования [24]. Поэтому для фруктового сырья с высоким сахаро-кислотным индексом требуется проводить дополнительное подкисление. Для фруктов с высокой титруемой кислотностью и низким сахаро-кислотным индексом проводят разбавление мезги или суслы водой, что позволяет снизить негативное воздействие высокой кислотности на дрожжи [25].

По суммарному содержанию свободных аминокислот исследованные виды фруктового сырья также существенно отличаются. Максимальным содержанием свободных аминокислот характеризуются плоды персиков, а минимальным — плоды алычи. При этом интервал варьирования данного показателя зависел от вида сырья и изменялся в 1,4–2,1 раза.

3. Характеристика пектинового комплекса отдельных видов фруктового косточкового сырья

По сравнению с другими видами сырья (к примеру, с теми, которые используются для выработки зерновых дистиллятов, предназначенных к производству виски), фруктовое сырье содержит повышенное количество пектиновых веществ. К пектиновым веществам относят растворимый пектин (pectin) и протопектин (protopectin). Растворимый пектин — водорастворимое вещество, свободное от целлюлозы и состоящее из остатков полностью или частично метоксилированной полигалактуроновой кислоты. В зависимости от количества метоксильных групп и степени полимеризации существуют различные пектины. Н-пектин (H-pectin) — высокоэтерифицированный пектин, степень метоксилирования более 50% и L-пектин (L-pectin) — низко-

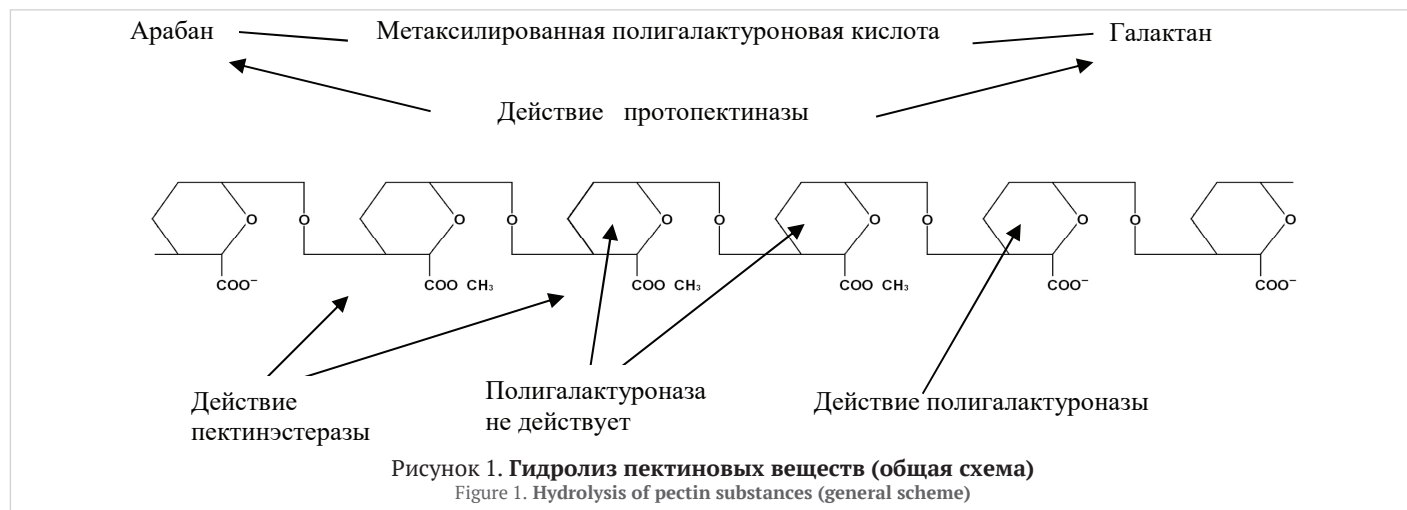
этерифицированный пектин, степень метоксилирования менее 50%. Протопектин — нерастворимый в воде природный пектин [26].

Пектиновые вещества в зависимости от содержания и характеристик затрудняют выход сока из плодов, тем самым влияя на процессы сбраживания и дистилляции. Одновременно они могут быть причиной ухудшения органолептических характеристик готового алкогольного продукта. Кроме того, как было установлено ранее, пектиновые вещества являются потенциальными источниками образования метанола.

Массовая концентрация пектиновых веществ в косточковом фруктовом сырье варьирует в пределах 0,2–1,6%. При этом максимальное суммарное содержание пектиновых веществ было ранее выявлено в образцах черешни и сливы, а минимальное — в вишне [27]. Кроме общего содержания пектиновых веществ в плодах, предназначенных для производства дистиллятов, принципиальным является соотношение растворимого пектина и протопектина, массовая доля полигалактуроновой кислоты, содержание метоксильных групп и степень метоксилирования. Все перечисленные параметры оказывают влияние на эффективность перехода компонентов сырья в растворимое состояние, то есть на процесс сокоотдачи, а также определяют содержание метанола в конечном фруктовом дистилляте [28–31].

Анализ изучаемого сырья показал, что пектиновые вещества косточковых плодов характеризуются высоким соотношением содержания протопектина (ПП) к растворимому пектину (РП). Данный показатель варьирует в пределах 69–91%. Критерием оценки сырья для использования в технологии дистиллятов также является такой показатель, как содержание полигалактуроновой кислоты в пектине. Например, в вишне данный показатель находится в пределах 44,0–48,2%. По степени метоксилирования пектинов выявлены существенные отличия между плодами сливы, абрикосов и вишни. Плоды первых двух культур относятся к высокоэтерифицированному сырью (слива — 61–67%; абрикос — 64–68%), а вишня (около 40%) — к низкоэтерифицированному [32–37].

Пектиновые вещества в ходе технологического процесса получения дистиллята могут быть подвержены кислотному и/или ферментативному гидролизу. Ферменты, субстратами для которых являются пектиновые вещества сырья, подразделяются на две группы: пектолитические — гидролизующие пектиновые вещества с участием воды (гидролазы), и негидролитические — принадлежащие к классу лиаз. Общая схема гидролиза пектиновых веществ приведена на Рисунке 1 [38].



Полигалактуроназа делится на эндо- и экзо-фермент. Первый (эндо-ПГ) катализирует гидролиз α -1,4-гликозидных связей между неэтерифицированными остатками галактуроновой кислоты в различных пектиновых полисахаридах. Гидролиз происходит неупорядоченным способом, предпочтительно расщепляются внутренние связи полимеров. Экзополигалактуроназа (экзо-ПГ) катализирует расщепление конечных α -1,4-гликозидных связей между неэтерифицированными остатками галактуроновой кислоты в различных пектиновых полисахаридах с образованием моногалактуроновой кислоты.

Пектинэстераза катализирует гидролитическое расщепление метоксильных групп от растворимого пектина с образованием метилового спирта и полигалактуроновой кислоты.

Гидролиз протопектинового комплекса включает две стадии: расщепление связей между цепями макромолекул протопектина с другими компонентами клеточных стенок и гидролиз самих полимерных цепей протопектина с образованием продуктов гидролиза с различной молекулярной массой и растворимостью в воде.

В разрушении протопектина, по данным [39], принимают участие ферменты, эффективно гидролизующие структурные полисахариды растений, в основном целлюлозу и гемицеллюлозы. Их действие проявляется в разрушении внутренних связей в молекулах полисахаридов, например, β -1,4-гликозидных связей в молекулах целлюлозы.

На процесс гидролиза пектина сырья определяющее влияние оказывает его растворимость. Установлено [26,40], что растворимость пектина зависит от степени его полимери-

зации и степени этерификации. Этот показатель возрастает при повышении степени этерификации и уменьшении молекулярной массы. Из двух пектинов с разными молекулярными массами легче растворяется пектин с меньшей длиной цепи, но с большим количеством метоксильных групп. Пектины со степенью этерификации 66% хорошо растворимы, при 40% и менее — мало растворимы.

4. Ароматобразующие летучие компоненты фруктового сырья

Обобщенные данные по оценке литературных источников позволили дать представление об основных первичных ароматобразующих летучих компонентах, присутствующих в отдельных видах фруктового косточкового сырья. Эти вещества относятся к шести классам — это карбонильные соединения (высококипящие альдегиды и кетоны), сложные эфиры высших спиртов и карбоновых кислот, высшие и ароматические спирты, лактоны, терпены и летучие фенолы (Таблица 2).

4.1. Слива и алыча

Данные по идентификации и содержанию отдельных летучих компонентов плодов слив и алычи приведены в работах [14,15,43–45]. Все вышеперечисленные в Таблице 2 летучие компоненты являются характерными активными соединениями запаха в свежих плодах слив, поскольку их концентрации намного превышают пороговые значения восприятия запаха. При этом выявлено, что эфиры, безусловно, являлись преобладающими летучими веществами в сливе, внося свой вклад в создание ноток фруктового аромата.

Таблица 2. Ароматобразующие летучие компоненты косточкового фруктового сырья [8–9, 11, 41–42]
Table 2. Aroma-forming volatile components of stone fruit raw materials [8–9, 11, 41–42]

Классы летучих веществ	Наименование ароматобразующих летучих компонентов			
	Слива	Вишня	Абрикос	Персик
Альдегиды и кетоны	2-ноненаль, 2-деценаль, нонаналь, деканаль, 2-гексеналь, фенилацетальдегид, 2-гептеналь, октадеканаль	2-гексеналь, гексаналь, 2-пропанон, 3-гексеналь, нонаналь, геранилацетон, бензальдегид	β -циклоцитраль, гексаналь, гексен-2-аль, 6-метил-5-гептен-2-он	3-октанон, октаналь, нонаналь, 3,5-октадиен-2-он, 2-ноненаль
Эфиры	2-метилбутаноат, гексилацетат, этилбутаноат, изобутилацетат, бутилацетат, 3-гексенилацетат, пентилацетат, пропилацетат, 2-гексенилацетат, этилгептаноат, 3-гексенилгексаноат, этилпентаноат, гексил-2-метилбутаноат, изопентилгексаноат, октилацетат, этилгексаноат	этилкаприлат, метилкаприлат, этилкаприлат, этилаурилат, этилмиристат, этилпальмиат, метилпальмиат, фенилэтилоктаноат	2-метилбутаноат, метилантрацилат, этилацетат, гексилацетат, пропилацетат, этилбутаноат, гексилацетат, бутилацетат, 3-метил-1-бутанолацетат, 3-гексен-1-олацетат	гексилацетат, 3-гексенилацетат
Спирты	3-гексенон, 1-гексанон, 1-бутанол	2-гексен-1-ол, бензиловый спирт		1-пентанол, бензиловый спирт, 1-гептанол, 1-октен-3-ол
Лактоны	γ -додекалактон, γ -декалактон, δ -декалактон, γ -ноналактон		γ -декалактон, γ -додекалактон	γ -декалактон
Терпены	β -ионон, нерол, лимонен, мирцен, линалоол	линалоол, α -терпинеол, β -цитронеллол, нерол, гераниол, изогераниол	оцименол, лимонен, линалоол, β -ионон, ментон, β -мирцен, β -цис-оцимен	линалоол, β -ионон
Фенольные вещества	эвгенол	эвгенол	—	—

Авторами работы [15] было идентифицировано 58 сложных эфиров, что составляло 58,8% от общего количества соединений. Среди них бутилацетат (3,8 мг/кг), гексилацетат (3,4 мг/кг), пропилацетат (1,0 мг/кг), этилбутаноат (0,8 мг/кг), гексилгексаноат (7,2 мг/кг) были самыми многочисленными представителями этого класса. Эти соединения были обнаружены значительно выше их порогов восприятия запаха, за исключением гексилгексаноата. Несмотря на сравнительно невысокое содержание этилбутаноата по сравнению с другими эфирами, данное соединение играет очень важную в создании аромата европейской сливы.

Спирты содержались в концентрациях 3,7 мг/кг фруктов, что составляло 14,4% от общего количества определенных летучих соединений сливы [15]. Гексанол (1,7 мг/кг) был самым распространенным из одиннадцати извлеченных спиртов, и это соединение было обнаружено в концентрациях, намного превышающих порог восприятия его запаха.

Лактоны, такие как внутримолекулярные эфиры 4- и 5-гидроксикислот, были третьим доминирующим классом летучих соединений слив (10,2% от общего количества соединений). Среди них преобладал δ -декалактон (1,2 мг/кг). Лактоны, особенно γ -лактоны, являются важными ароматобразующими соединениями и, как правило, представляют собой дескрипторы фруктового запаха. Сообщалось [45–46] о присутствии γ -декалактона и γ -додекалактона в абрикосах и персиках.

Терпены составляли 1,5 мг/кг, что соответствовало 6,0% от общего количества летучих соединений сливы [15]. Линалоол и лимонен были доминирующими компонентами. Сообщалось, что монотерпены являются летучими компонентами фруктов, отвечающими за широкий спектр очень приятных ароматов.

Альдегиды и кетоны составляют 0,9 и 0,3 мг/кг соответственно, что в сумме составляет 4,9% от общего количества летучих соединений сливы [15]. Нонаналь (0,3 мг/кг) содержится в кожце сливы богатой восками и имеет душистый древесный аромат.

Кислоты, алканы и фенолы составляют 0,5, 0,4 и 0,04 мг/кг соответственно, что в сумме составляет 4% от общего состава, однако в концентрациях, превышающих порог восприятия запаха, был обнаружен только эвгенол. Интересно отметить, что эвгенол, как и другие ароматические соединения, имеет различный аромат в зависимости от его концентрации. Он обладает фруктовым ароматом при низких концентрациях и острым ароматом при более высоких концентрациях [45]. Алканы, вероятно, мало влияют на аромат, потому что они обычно имеют высокий порог восприятия запаха.

Также среди летучих соединений сливы был идентифицирован диэтилдисульфид (0,05 мг/кг), концентрация которого превышала порог восприятия запаха.

4.2. Вишня, черешня

Вопросам оценки технологических свойств плодов вишни и черешни, используемой в качестве сырья для производства фруктовых дистиллятов и напитков на их основе, посвящены работы отечественных и зарубежных ученых [47–49]. Так же, как при анализе летучих компонентов сливы, у вишни и черешни были выявлены типичные классы соединений: эфиры, спирты, лактоны, терпены (Таблица 2). Все перечисленные вещества, как и в случае анализа образцов сливы, являются ароматобразующими, поскольку их концентрации намного превышают пороговые значения восприятия запаха. Систематизированных данных по массовому распределению отдельных летучих соединений вишни по классам в литературе не обнаружено. Имеются лишь отдельные сведения.

Так, авторы работы [50] показали, что наиболее распространенным летучим соединением в свежих плодах вишни является 2-пропанон. Кроме того, в исследованных сортах вишни (Lapins, канадский гигант, Ferovia и Skeena) были также идентифицированы 2-гексеналь и ацетальдегид, по содержанию уступающие только 2-пропанону. К классу спиртов в вишне принадлежат 2-гексен-1-ол и бензиловый спирт. Данные спирты авторы рекомендовали использовать в качестве маркера, позволяющего различать сорта вишни.

В вишне выявлены также другие компоненты, влияющие на аромат данного вида плодов: метил-2-гидроксибензоат, 2-метил-1,3-бутадиен и D-лимонен [50,51]. Следует отметить, что сложные эфиры, являющиеся важными компонентами аромата фруктов, в том числе и вишни, обладают очень привлекательными запахами с низкими порогами их восприятия.

В другой работе [52] приведены данные по содержанию в плодах вишни таких соединений, как 2-гексеналь и гексаналь, представляющих собой карбонильные соединения. Они придают зеленоватые нотки свежим плодам вишни и по этой причине известны как «летучие вещества зеленых листьев» с низким порогом восприятия.

При анализе образцов черешни (сладкой вишни), из которой производят дистилляты в Европейских странах, было идентифицировано 50 летучих веществ (в работе [53] приводятся данные по 12 сортам). Преобладающими среди них были 2-гексенол, бензальдегид, гексаналь и 2-гексаналь. Данные соединения предложено использовать для разделения коммерческих и новых сортов вишни на различные подгруппы. Точно так же авторы работ [47,54–55] провели исследование по определению ароматобразующих соединений в ряде сортов черешни, произрастающих в Китае. Было идентифицировано 52 летучих вещества, среди которых присутствовали гексаналь, 2-гексеналь, 1-гексанол, 2-гексен-1-ол, бензальдегид, бензиловый спирт, этилацетат и этиловый эфир гексановой кислоты. Все перечисленные соединения являются характерными летучими ароматическими веществами плодов черешни, ответственными за зеленые, апельсиновые, миндальные и цветочные нотки. Многие из летучих соединений вишни, такие как цитронеллол, нерол, гераниол, γ -гераниол, изогераниол, изогераниол, 1,1,6-триметил-1, 2-дигидронафталин (ТДН), 1-(2,3,6-триметилфенил)бута-1,3-диен (ТПБ), совсем недавно были впервые идентифицированы в этих косточковых плодах [52].

4.3. Абрикосы

При оценке качественного и количественного состава летучих компонентов плодов абрикосов были идентифицированы 23 летучих соединения [45–46]. Среди них 10 соединений (этилацетат, гексилацетат, лимонен, β -циклоцитраль, γ -декалактон, 6-метил-5-гептен-2-он, линалоол, β -ионон, ментон и гексен-2-аль), признанных ответственными за ароматические ноты, связанные с ароматом абрикоса. Их предложено рассматривать как молекулярные индикаторы ароматического качества абрикоса и использовать в качестве маркеров отдельных сортов абрикоса.

При анализе 14 основных китайских сортов абрикоса было идентифицировано 208 летучих веществ, в том числе 80 сложных эфиров, 25 альдегидов, 15 терпенов, 21 кетон, 39 спиртов, 27 олефинов и 1 кислота [46]. Соединения пропилацетат, 3-метил-1-бутанолацетат, 3-гексен-1-олацетат, d-лимонен, β -линалоол, гексаналь, гексилацетат, бутилацетат, β -мирцен, этилбутаноат и β -цис-оцимен были основными соединениями, ответственными за аромат у данных сортов. Результаты исследований показали, что отдельные

сорта характеризовались высоким уровнем сложных эфиров, другие накапливали больше терпенов и обладали более сильным цветочным ароматом. Также были обнаружены сорта абрикосов с высоким уровнем концентрации спиртов и альдегидов, отличавшиеся зеленым ароматом [45].

4.4. Персики

По данным, приведенным в работах [56–57], уникальный аромат персика обусловлен сотнями летучих соединений, образующихся на этапах созревания. Эти летучие соединения в основном состоят из спиртов, сложных эфиров, лактонов, альдегидов, кетонов и терпеноидов. Каждое летучее соединение имеет свои собственные запаховые ноты, и их различные комбинации способствуют неповторимому вкусу и аромату этих фруктов. Однако не все летучие соединения отвечают за общий аромат персика. Обонятельное воздействие этих соединений зависит от того, превышают ли их концентрации порог восприятия запаха. Авторы работы [56] провели сравнение ароматических характеристик персика с белой мякотью и персика с желтой мякотью на основе значения активности запаха и характеристик запаха. Выявлен значительный вклад 26 обонятельно-активных соединений в их аромат. Среди них 15 соединений не показали различий в концентрации и способствовали появлению фруктовых, цветочных, сладких и т. д. запахов обоих видов персиков; 2-нонаналь, 1-пентанол и стирол показали значительно более высокие концентрации в персиках с белой мякотью. Данные соединения давали гораздо более сильные сивушные и бальзамические запахи. Аналогично, 3-гексенилацетат, октаналь, нонаналь и 3,5-октадиен-2-он показали значительно более высокие концентрации в персиках с желтой мякотью. Они давали гораздо более сильный банановый, цитрусовый и медовый ароматы; кроме того, бензиловый спирт, 1-гептанол, 1-октен-3-ол и 3-октанон с древесным, земляным, грибным и лавандовым оттенками были обнаружены исключительно в персиках с белой мякотью, делая их аромат уникальным. Отдельные сложные эфиры, такие как гексилацетат и 3-гексенилацетат, вносят свой вклад в создание ноток фруктового запаха, а γ -декалактон считается одним из наиболее важных летучих соединений плодов персика [56]. При этом установлено, что концентрации летучих эфиров и лактонов увеличиваются по мере созревания плодов. Летучие терпеновые соединения, по данным [57], создают сладкие и цветочные ноты, в которых линалоол и β -ионон считаются основными ароматическими соединениями зрелых плодов. Альдегиды и летучие спирты, которые обуславливают травянистые оттенки аромата, являются основными ароматобразующими соединениями в незрелых фруктах.

В целом, суммарное содержание ароматобразующих соединений косточковых плодов, независимо от вида, варьирует в пределах 10–100 мг на килограмм свежих фруктов. Столь низкое содержание данных компонентов в сырье представляет значительные трудности для их идентификации и количественного определения в готовой алкогольной продукции, что требует использования специальных довольно трудоемких приемов пробоподготовки [57].

5. Характеристика отдельных первичных ароматобразующих компонентов фруктового сырья

Некоторые характеристики наиболее распространенных летучих компонентов, принадлежащих к различным классам и присутствующих в ароматах всех косточковых плодов в концентрациях, которые превышают пороги восприятия их запахов, приведены в Таблице 3.

Таблица 3. Характеристика отдельных ароматобразующих летучих компонентов фруктового косточкового сырья [15, 58–59]

Table 3. Characteristics of individual aroma-forming volatile components of fruit stone raw materials [15, 58–59]

Группа веществ	Наименование компонента	Молекулярная масса, г/моль	Температура кипения, °C	Показатель преломления
Эфиры	Пропилацетат	102,13	102	1,383
	Бутилацетат	116,16	126	1,395
	Изобутилацетат	116,16	116–118	1,389–1,391
	Гексилацетат	144,21	338	1,409
Спирты	Гексанол	102,18	157	1,418
	Октанол	130,23	195	1,428–1,431
	Гексадеканол	242,44	210	1,428
	Октадеканол	270,49	210	1,457
Альдегиды	Гексаналь	100,16	129	1,4035
	Гептаналь	114,18	153	1,3877–1,3879
	Нонаналь	142,24	195	1,4245
	Декааналь	156,2	207	1,427–1,430
Терпены	D-лимонен*	136,24	175,5–176,5	1,4720
	L-лимонен*	136,24	175,5–176,5	1,4717
Лактоны	γ -декалактон	170,252	281	1,449
	δ -декалактон	170,252	117–120	1,458

D-лимонен и L-лимонен — оптические изомеры

Молекулярная масса и температура кипения — показатели, позволяющие идентифицировать летучий компонент при хроматографических методах анализа. Различия в температуре кипения дают основания охарактеризовать поведение летучего компонента при дистилляции. Минимальная температура кипения (к примеру, у пропилацетата, равная 102 °C) позволяет с большой долей вероятности отнести такие вещества к примесям, переходящим в среднюю фракцию. Летучие компоненты с более высокой температурой кипения (свыше 150 °C), скорее всего, будут переходить в хвостовую фракцию или оставаться в барде. Такое различие позволяет выдвинуть гипотезу о возможности оценки первичных ароматических летучих компонентов, переходящих из исходного сырья, либо, напротив, теряющихся в процессе фракционированной дистилляции. На практике для обогащения фруктового дистиллята такими труднолетучими ароматобразующими компонентами используют такой технологический прием, как добавление хвостовой фракции от предыдущей дистилляции к последующей партии сброженного сырья.

Различия в значениях молекулярной массы и температуры кипения, связанных с летучестью данных ароматобразующих соединений, позволяют их разделить и количественно определить в составе сложной смеси с использованием хроматографических методов анализа. Наиболее часто для этих целей используют сочетание газовой хроматографии с масс-спектрометрией [8–10].

Показатель преломления (индекс) — безразмерная физическая величина, характеризующая различие фазовых скоростей света в двух средах. Значение абсолютного показателя преломления зависит от состава и строения вещества, его агрегатного состояния, температуры, давления и так далее. При нормальных условиях данный показатель является индивидуальной характеристикой вещества и позволяет оценить чистоту выделенного ароматического компонента. Для веществ, принадлежащих к одному гомологическому ряду, показатель преломления с увеличением молекулярной

массы увеличивается. Для двух терпеновых соединений, D-лимонена и L-лимонена, являющихся оптическими изомерами, все характеристики, включая показатели преломления, одинаковы. Для их разделения и количественного определения необходимо использовать специальные хиральные хроматографические колонки.

6. Технологические особенности подготовки отдельных видов фруктового сырья к сбраживанию и дистилляции

Первичные ароматобразующие вещества плодов фруктов присутствуют в сырье преимущественно в связанном состоянии внутри клеточных оболочек. С целью повышения их концентрации на стадии первичной подготовки сырья можно использовать различные способы обработки мезги — тепловое воздействие [60], мацерацию [60,61], деструкцию высокомолекулярных полимеров сырья в присутствии микробных ферментных препаратов [60,62].

Все виды плодового косточкового сырья, рассматриваемого в данном обзоре, — абрикосы, сливы, вишня, персик — как показано выше, отличаются высоким содержанием пектиновых веществ, которые снижают выход сока из этих плодов и затрудняют процесс высвобождения ароматобразующих компонентов. С целью преодоления этих технологических трудностей при переработке плодов используют комплексные ферментные препараты пектолитического действия, позволяющие разрушить пектиновые вещества клеточных структур плодовой мезги, что способствует увеличению выхода сока и повышению ароматичности. Данный технологический прием, имея отмеченные преимущества, приводит к переводу протопектина фруктового сырья в растворимое состояние, увеличивая риск повышения концентрации метанола — одного из самых токсичных летучих компонентов фруктовых дистиллятов и напитков на их основе. Ранее было отмечено, что пектиновые вещества, в зависимости от их характеристик (растворимость, степень метоксилирования и т. д.), могут служить потенциальными источниками образования метанола на стадии сбраживания. Кроме того, при выборе технологических режимов переработки отдельных видов фруктового сырья целесообразно учитывать его собственный ферментный комплекс (активность полигалактуроназы, пектинэстеразы). Такой научный подход позволяет прогнозировать эффективность переработки сырья и концентрацию метанола. К примеру, авторы работы [60] установили, что сбраживание абрикосовой мезги, в отличие от использования в качестве сырья сока из абрикосов, приводят к повышению концентрации метанола более чем в 2,5 раза. В то же время последний вариант

(сбраживание сока) дает дистиллят со слабо выраженным ароматом абрикосов и простым вкусом. Авторы рекомендуют для обработки этого вида плодов дробное брожение, предусматривающее частичное подбраживание сока на мезге, отделение мезги и дображивание сока без мезги. В целом, метанол практически всегда обнаруживается во всех образцах фруктовых дистиллятов, что является подтверждением их природного происхождения [63].

Следует отметить, что в импортных плодовых водках часто регистрируются довольно высокие концентрации метанола, значительно превышающие этот показатель для плодовых водок отечественного производства, указанный в ГОСТ Р 52135–2003 «Плодовые водки. Общие технические условия» — не более 3,5 г/дм³ безводного спирта. Например, по данным авторов [64], концентрация метанола в исследованных ими образцах фруктовых бренди варьировала от 932 мг/дм³ до 12053 мг/дм³, что практически соответствует нормам для напитков из абрикосов (максимально допустимая концентрация — 12 г/дм³). Концентрация метанола в плодовых водках в первую очередь определяется содержанием пектиновых веществ в исходном сырье. Кроме того, величина данного показателя зависит от технологических особенностей переработки фруктов. По количественному содержанию метанола в плодовой водке (фруктовом бренди) можно дать оценку подлинности продукта и определить возможную фальсификацию, например, выявить добавление спирта-ректификата или подсахаривание мезги, а также использование более дешевого зернового сырья.

7. Заключение

В целом, анализ данных, представленных в настоящем обзоре, позволил установить основные, научно обоснованные факторы, определяющие технологические особенности первичной переработки различных видов фруктового косточкового сырья. Показана роль пектиновых веществ исходного сырья в формировании качественных характеристик дистиллятов и плодовых водок. Дана оценка состава и концентрации первичных ароматобразующих летучих компонентов в отдельных видах косточковых плодов. Рассмотрены их основные физические характеристики, включая температуру кипения и показатель преломления, позволяющие проводить их разделение и идентификацию. Приведенные в обзоре данные позволили сделать заключение о перспективности исследований, направленных на изучение возможности использования первичных ароматических веществ фруктового косточкового сырья в качестве идентификационных показателей фруктовых дистиллятов и плодовых водок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K., Patelski, P., Dziekońska-Kubczak, U., Strąk, E. (2017). The effect of distillation conditions and alcohol content in “heart” fractions on the concentration of aroma volatiles and undesirable compounds in plum brandies. *Journal of the Institute of Brewing*, 123(3), 452–463. <https://doi.org/10.1002/jib.441>
- Rodríguez-Bencomo, J. J., Pérez-Correa, J. R., Orriols, I., López, F. (2016). Spirit distillation strategies for aroma improvement using column reflux. *Food and Bioprocess Technology*, 9(11), 1885–1892. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1776-0>
- Vyviurska, O., Zvršková, H., Špáňik, I. (2017). Distribution of enantiomers of volatile organic compounds in selected fruit distillates. *Chirality*, 29(1), 14–18. <https://doi.org/10.1002/chir.22669>
- Agalarov, R., Ragimov, R., Gasanov, R. (2017). Characterization of traditional fruit brandy produced in Azerbaijan. *Advances in Biology and Earth Sciences*, 2(3), 263–270.
- Раджабов, А.К., Попов А. Е., Воскобойников, Ю.В., Фесютин, И.А. (2021). К вопросу о подборе и размещении сортов яблони для расщивания в товарных садах в средней зоне плодородия России. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, 2, 5–13. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-5-13>
- Мельников, А.Б., Михайлушкин, П.В., Ищенко, Н.В. (2020). Роль продукции садоводства в обеспечении продовольственной безопасности России. *Международный сельскохозяйственный журнал*, 6(378), 8–10. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-16105>
- Куликов, И.М., Минаков, И.А. (2018). Приоритетные направления развития садоводства в условиях импортозамещения и формирования экспортоориентированной экономики. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*, 9(42), 30–36. <https://doi.org/10.33938/189-30>
- Coldea, T. E., Socaci, C., Moldovan, Z., Mudura, E. (2014). Minor volatile compounds in traditional homemade fruit brandies from Transylvania-Romania, as determined by GC–MS analysis. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42(2), 530–537. <https://doi.org/10.1583/nbha4229607>
- Bajer, T., Hill, M., Ventura, K., Bajero, P. (2020). Authentication of fruit spirits using HS-SPME/GC-FID and OPLS methods. *Scientific Reports*, 10(1), Article 18965. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75939-0>

10. Cvetković, D., Stojiljković, P., Zvezdanović, J., Stanojević, J., Stanojević, L., Karabegović, I. (2020). The identification of volatile aroma compounds from local fruit based spirits using a headspace solid-phase microextraction technique coupled with the gas chromatography-mass spectrometry. *Advanced Technologies*, 9(2), 19–28. <https://doi.org/10.5937/savtneh2002019c>
11. Tešević, V., Nikicevic, N., Jovanovic, A., Djokovic, D., Vujisic, L., Vuckovic, I. et al. (2005). Volatile components from old plum brandies. *Food Technology and Biotechnology*, 43(4), 367–372.
12. Абиляфазова, Ю.С. (2017). Биохимическая оценка плодов персика в условиях черноморского побережья Краснодарского края. *Новые технологии*, 3, 64–68.
13. Абиляфазова, Ю.С. (2021). Биохимический состав плодов персика в субтропиках России. *Садоводство и виноградарство*, 2, 19–23. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-2-19-23>
14. Попова, А.Ю. (2014). Оценка потребительских свойств и биохимического состава сортов сливы коллекции ВНИИГиСПР им. И. В. Мичурина. *Плодоводство и ягодоводство России*, 39, 181–184.
15. Pino, J.A., Quijano, C.E. (2012). Study of the volatile compounds from plum (*Prunus domestica* L. cv. Horvin) and estimation of their contribution to the fruit aroma. *Food Science and Technology (Campinas)*, 32(1), 76–83. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000006>
16. Чалая, Л.Д., Причко, Т.Г. (2015). Химические изменения биологически активных веществ при хранении плодов абрикоса (*Armeniaca Vulgaris* Lam.): сортовые особенности. *Сельскохозяйственная биология*, 50(5), 620–627. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.5.620rus>
17. Борзых, Н.В., Жбанова, Е.В., Богданов, Е.Р., Кружков, А.В. (2020). Оценка сортов сливы и вишни по некоторым химико-технологическим показателям плодов. *Селекция и сортоизведение садовых культур*, 7(1–2), 30–33. <https://doi.org/10.24411/2500-0454-2020-11208>
18. Wang, H., Ma, Y., Li, M., Shi, L., Zhang, S., Wang, W. et al. (2018). Volatiles of ripe fruit *Prunus salicina* L. cv. Friar as determined by gas chromatography-mass spectrophotometry as developed during cold storage. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2622–2631 <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1536149>
19. Bianchia, T., Weesepoel, Y., Koot, A., Iglesias, I., Eduardo, I., Gratacós-Cubarsí, M. et al. (2017). Investigation of the aroma of commercial peach (*Prunus persica* L. Batsch) types by Proton Transfer Reaction–Mass Spectrometry (PTR-MS) and sensory analysis. *Food Research International*, 99, 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.007>
20. Макашкина, М.А., Павел, А.Р., Ветрова, О.А. (2020). Изучение биохимического состава плодов во ВНИИСПК. *Селекция и сортоизведение садовых культур*, 7(1–2), 99–102. <https://doi.org/10.24411/2500-0454-2020-11225>
21. Дубинина, Е.В., Крикунова, Л.Н., Песчанская, В.А., Тришканева, М.В. (2021). Научные аспекты разработки идентификационных критериев дистиллятов из фруктового сырья. *Техника и технология пищевых производств*, 51(3), 480–491. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-480-491>
22. Fariña, L., Medina, K., Urruty, M., Urruty, M., Dellacassa, E., Carrau, F. (2012). Redox effect on volatile compound formation in wine during fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Chemistry*, 134(2), 933–944. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.209>
23. Saerens, S.M.G., Delvaux, F., Verstrepen, K.J., Van Dijck, P., Thevelein, J.M., Delvaux, F. R. (2008). Parameters Affecting Ethyl Esters Production by *Saccharomyces cerevisiae* during Fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(2), 454–461. <https://doi.org/10.1128/AEM.01616-07>
24. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Рейтблат, Б. Б. (2011). Теория и практика плодового виноделия. Москва: Развитие, 2011.
25. Дубинина Е. В., Крикунова Л. Н., Трофимченко В. А., Томгорова, С. М. (2020). Сравнительная оценка способов сбраживания кизила при производстве дистиллятов. *Пиво и напитки*, 2, 45–49. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10020>
26. Донченко, Л.В., Фирсов, Г.Г. (2007). Пектин: основные свойства, производство и применение. Москва: ДеЛи принт, 2007.
27. Созаева, Д.Р., Джабоева, А.С., Шаова, Л.Г., Цагоева, О.К. (2016). Содержание пектинов в различных видах плодовых культур и их физико-химические свойства. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 2(68), 170–174. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-2-170-174>
28. Ovodov, Yu.S. (2009). Current views on pectin substances. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 35(3), 269–284.
29. Patova, O.A., Golovchenko, V.V., Ovodov, Y.S. (2014). Pectic polysaccharides: structure and properties. *Russian Chemical Bulletin*, 63(9), 1901–1924. <https://doi.org/10.1007/s11172-014-0681-9>
30. Бодякина, И.М., Багрянцев, В.А., Котов, В.В., Лукин, А.Л. (2012). Потенциометрическое определение состава и степени этерификации молекул пектина. *Вестник Воронежского государственного университета, серия: Химия. Биология. Фармация*, 2, 9–13.
31. Lurie, S., Zhou, H.-W., Lers, A., Sonogo, L., Alexandrov, S., Shomer, I. (2003). Study of pectin esterase and changes in pectin methylation during normal and abnormal peach ripening. *Physiologia Plantarum*, 119(2), 287–294. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2003.00178.x>
32. Тры, А. В. (2015). Химическая характеристика пектина, выделенного из растительного сырья. *Приволжский научный вестник*, 2, 8–10.
33. Gawkowska, D., Cybulska, J., Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A Review. *Polymers*, 10(7), Article 762. <https://doi.org/10.3390/polym10070762>
34. Хайтметова, С.Б., Тураев, А.С., Мухитдинов, Б.И., Халилова, Г.А. (2021). Выделение и физико-химические характеристики пектина из нетрадиционного природного сырья. *Химия растительного сырья*, 4, 75–82. <https://doi.org/10.14258/jcpm.2021048412>
35. Mohnen, D. (2008). Pectin structure and biosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology*, 11(3), 266–277. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.03.006>
36. Freitas, C.M.P., Coimbra, J.S.R., Souza, V.G.L., Sousa, R.C.S. (2021). Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A Review. *Coatings*, 11, Article 922. <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>
37. Крикунова, Л.Н., Дубинина, Е.В. (2018). Способы снижения содержания метанола в дистиллятах из растительного сырья. *Ползуновский вестник*, 3, 19–24.
38. Бутова, С.Н. (2004). Биотехнологическая деградация отходов растительного сырья. Москва: Типография Россельхозакадемии, 2004.
39. Rodionova, N.A., Bezborodov, A.M. (1997). Localization of enzyme systems that degrade cell wall polysaccharides in higher plants: pectinases (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 33(5), 415–432.
40. Canton, M., Drincovich, M.F., Lara, M. V., Vizzotto, G., Robert, P. W., Famiani, F. et al. (2020). Metabolism of stone fruits: Reciprocal contribution between primary metabolism and cell wall. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 1054. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01054>
41. Причко, Т.Г., Чалая, Л.Д., Смелик, Т. Л. Содержание ароматических веществ в концентрированных соках из плодов яблоны и вишни. Электронный ресурс <https://fh.kubstu.ru/juk/issues/issue09/st0907.pdf> Дата доступа 15.04.2022
42. Салина, Е.С., Левгерова, Н.В., Сидорова, И.А. (2018). Технологическая характеристика новых сортов вишни селекции ВНИИСПК для производства сока. *Современное садоводство*, 2(26), 22–27. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10204>
43. Оганесянц, Л. А., Песчанская, В.А., Дубинина, Е.В., Алиева, Г.А. (2013). Качественный и количественный состав летучих компонентов плодовых водок. *Виноделие и виноградарство*, 6, 22–24.
44. Nunes, C., Coimbra, M.A., Saraiva, J., Rocha, S.M. (2008). Study of the volatile components of a candied plum and estimation of their contribution to the aroma. *Food Chemistry*, 111(4), 897–905. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.003>
45. Śliwińska, M., Wiśniewska, P., Dymerski, T., Wardencki, W., Namieśnik J. (2015). The flavour of fruit spirits and fruit liqueurs: A review. *Flavour and Fragrance Journal*, 30(3), 197–207. <https://doi.org/10.1002/ffj.3237>
46. Guillot, S., Peytavi, L., Bureau, S., Lepoutre, J.-P., Crouzet, J. et al. (2006). Aroma characterization of various apricot varieties using headspace — solid phase microextraction combined with gas chromatography — mass spectrometry and gas chromatography — olfactometry. *Food Chemistry*, 96(1), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.016>
47. Оганесянц, Л.А., Песчанская, В.А., Алиева, Г.А., Дубинина, Е.В. (2013). Ресурсосберегающая технология дистиллята из вишневой мезги. *Пищевая промышленность*, 7, 29–31.
48. Feng, J.-R., Xi, W.-P., Li, W.-H., Liu, H.-N, Liu, X.-F., Lu, X.-Y. (2015). Volatile characterization of major apricot cultivars of Southern Xinjiang Region of China. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 140(5), 466–471. <https://doi.org/10.21273/jashs.140.5.466>
49. Zhang, X., Jiang, Y. M., Peng, F. T., He, N. B., Li, Y. J., Zhao, D. C. (2007). Changes of aroma components in Hongdeng sweet cherry during fruit development. *Agricultural Science in China*, 6, 1376–1382. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(07\)60186-2](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60186-2)
50. Bernalte, D. M., Hernandez, M. T., Vidal-Aragon, M. C., Sabio, E. (1999). Physical, chemical, flavor and sensory characteristics of two sweet cherry varieties grown in 'Valle del Jerte' (Spain). *Journal of Food Quality*, 22(4), 403–416. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1999.tb00173.x>
51. Vavoura, A. V., Badeka, A. V., Kontakos, S., Kontominas, M. G. (2015). Characterization of four popular sweet cherry cultivars grown in greece by volatile compound and physicochemical data analysis and sensory evaluation. *Molecules*, 20(2), 1922–1940. <https://doi.org/10.3390/molecules20021922>
52. Serradilla, M.J., Martín, A., Ruiz-Moyano, S., Hernández, A., López-Corrales, M., Córdoba, M.D.G. (2012). Physicochemical and sensorial characterization of four sweet cherry cultivars grown in Jerte Valley (Spain). *Food Chemistry*, 133, 1551–1559. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.048>
53. Matsui, K. (2006). Green leaf volatiles: hydroperoxide lyase pathway of oxylipin metabolism. *Journal of Current Opinion in Plant Biology*, 9(3), 274–80. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2006.03.002>
54. Girard, B., Kopp, T. C. (1998). Physico-chemical characteristics of selected sweet cherry cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(2), 471–476. <https://doi.org/10.1021/jf970646j>
55. Sun, S. Y., Jiang, W. G., Zhao, Y. P. (2010). Characterization of the aroma-active compounds in five sweet cherry cultivars grown in Yantai (China). *Flavour and Fragrance Journal*, 25(4), 206–213. <https://doi.org/10.1002/ffj.1994>
56. Zhu, J., Xiao, Z. (2019). Characterization of the key aroma compounds in peach by gas chromatography — olfactometry, quantitative measurements and sensory analysis. *European Food Research and Technology*, 245(1), 129–141. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3145-x>

57. Liu, W., Zhang, Y., Ma, R., Yu, M. (2022). Comparison of aroma trait of the white-fleshed peach 'Hu Jing Mi Lu' and the yellow-fleshed peach 'Jin Yuan' based on odor activity value and odor characteristics. *Horticulturae*, 8(3), Article 245. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030245>
58. Wen, Y.-Q., He, F., Zhu, B.-Q., Lan, Y.-B., Pan, Q.-H., Li, C.-Y., Reeves, M.J. et al. (2014). Free and glycosidically bound aroma compounds in cherry (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*, 152, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.092>
59. Malaman, F. S., Moraes, L. A. B., West, C., Ferreira, J., Oliveira, A. L. (2011). Supercritical fluid extracts from the Brazilian cherry (*Eugenia uniflora* L.): Relationship between the extracted compounds and the characteristic flavour intensity of the fruit. *Food Chemistry*, 124(1), 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.109>
60. Восканян, О. С., Фаизова, Д. В., Жирова, В. В., Загоруйко, А. В. (2019). Влияние способа обработки сырья на показатели абрикосового сока для приготовления плодовой водки. *Вопросы науки: инноватика, техника и технологии*, 1, 135–138.
61. Крикунова, Л.Н., Дубинина, Е.В. (2018, 23–28 февраля). Способ повышения эффективности производства вишневого дистиллята. В сборнике: Материалы конференций ГИИИ «Нацразвитие», Санкт-Петербург, Российская Федерация, 67–70.
62. Chauhan, S.K., Tyagi, S.M., Singh, D. (2001). Pectinolytic liquefaction of apricot, plum, and mango pulps for juice extraction. *International Journal of Food Properties*, 4(1), 103–109. <https://doi.org/10.1081/IJFP-100002190>
63. Wiśniewska, P., Śliwińska, M., Dymerski, T., Wardencki, W., Namieśnik, J. (2016). The analysis of raw spirits — A review of methodology. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(1), 5–10. <https://doi.org/10.1002/jib.288>
64. Winterová, R., Mikulíková, R., Mazáč, J., Havelec, P. (2008). Assessment of the authenticity of fruit spirits by gas chromatography and stable isotope ratio analyses. *Czech Journal of Food Sciences*, 26(5), 368–375. <https://doi.org/10.17221/1610-cjfs>

REFERENCES

1. Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K., Patelski, P., Dziekońska-Kubczak, U., Strąk, E. (2017). The effect of distillation conditions and alcohol content in "heart" fractions on the concentration of aroma volatiles and undesirable compounds in plum brandies. *Journal of the Institute of Brewing*, 123(3), 452–463. <https://doi.org/10.1002/jib.441>
2. Rodríguez-Bencomo, J. J., Pérez-Correa, J. R., Orriols, I., López, F. (2016). Spirit distillation strategies for aroma improvement using column reflux. *Food and Bioprocess Technology*, 9(11), 1885–1892. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1776-0>
3. Vyvurska, O., Zvršková, H., Španík, I. (2017). Distribution of enantiomers of volatile organic compounds in selected fruit distillates. *Chirality*, 29(1), 14–18. <https://doi.org/10.1002/chir.22669>
4. Agalarov, R., Ragimov, R., Gasanov, R. (2017). Characterization of traditional fruit brandy produced in Azerbaijan. *Advances in Biology and Earth Sciences*, 2(3), 263–270.
5. Radzhabov A. K., Popov, A. E., Voskoboynikov, Yu. V., Fesyutin, I. A. (2021). On the selection and placement of apple varieties for growing in commercial orchards in the middle zone of fruit growing in Russia. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2, 5–13. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-2-5-13> (In Russian)
6. Melnikov, A. B., Mikhaylushkin, P. V., Ischenko, N. V. (2020). The role of horticultural products in ensuring food security in Russia. *Mezhdunarodnyi Sel'skokhozyaistvennyi Zhurnal*, 6(378), 8–10. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-16105> (In Russian)
7. Kulikov, I.M., Minakov, I.A. (2018). Priority directions of agricultural development under import substitution and the formation of export-oriented economy. *Economy, Labor, Management in Agriculture*, 9(42), 30–36. <https://doi.org/10.33938/189-30> (In Russian)
8. Coldea, T. E., Socaciu, C., Moldovan, Z., Mudura, E. (2014). Minor volatile compounds in traditional homemade fruit brandies from Transylvania-Romania, as determined by GC–MS analysis. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42(2), 530–537. <https://doi.org/10.1583/nbha4229607>
9. Bajer, T., Hill, M., Ventura, K., Bajerová, P. (2020). Authentication of fruit spirits using HS-SPME/GC-FID and OPLS methods. *Scientific Reports*, 10(1), Article 18965. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75939-0>
10. Cvetković, D., Stojilković, P., Zvezdanović, J., Stanojević, J., Stanojević, L., Karabegović, I. (2020). The identification of volatile aroma compounds from local fruit based spirits using a headspace solid-phase microextraction technique coupled with the gas chromatography-mass spectrometry. *Advanced Technologies*, 9(2), 19–28. <https://doi.org/10.5937/savteh2002019c>
11. Tešević, V., Nikicevic, N., Jovanovic, A., Djokovic, D., Vujisic, L., Vuckovic, I. et al. (2005). Volatile components from old plum brandies. *Food Technology and Biotechnology*, 43(4), 367–372.
12. Abilfazova, Ju. S. (2017). Biochemical assessment of peach fruits under the conditions of the black sea coast of the Krasnodar territory. *New Technologies*, 3, 64–68. (In Russian)
13. Pino, J.A., Quijano, C.E. (2012). Biochemical composition of peach fruits in the subtropical regions of Russia. *Horticulture and Viticulture*, 2, 19–23. <https://doi.org/10.3167/0235-2591-2021-2-19-23> (In Russian)
14. Popova, O. Yu. (2014). Estimation of consumer properties and chemical composition of plum varieties of collections of I. V. Michurin All Russian Research Institute for genetics and breeding of fruit plants. *Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia*, 39, 181–184. (In Russian)
15. Pino, J.A., Quijano, C.E. (2012). Study of the volatile compounds from plum (*Prunus domestica* L. cv. Horvin) and estimation of their contribution to the fruit aroma. *Food Science and Technology (Campinas)*, 32(1), 76–83. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000006>
16. Chalaya, L.D., Prichko, T.G. (2015). Changes of active compounds in apricot fruits caused by storage depend on characteristic features of varieties. *Agricultural Biology*, 50(5), 620–627. <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2015.5.620rus> (In Russian)
17. Borzykh, N.V., Zhdanova, Ye.V., Bogdanov R. E., Kruzhkov, A.V. (2020). Assessment of plum and cherry varieties by some chemical-technological indicators of fruits. *Selection and Variety Breeding of Garden Crops*, 7(1–2), 30–33. <https://doi.org/10.24411/2500-0454-2020-11208> (In Russian)
18. Wang, H., Ma, Y., Li, M., Shi, L., Zhang, S., Wang, W. et al. (2018). Volatiles of ripe fruit *Prunus salicina* L. cv. Friar as determined by gas chromatography-mass spectrophotometry as developed during cold storage. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2622–2631 <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1536149>
19. Bianchia, T., Weesepoel, Y., Koot, A., Iglesias, I., Eduardo, I., Gratacós-Cubarsí, M. et al. (2017). Investigation of the aroma of commercial peach (*Prunus persica* L. Batsch) types by Proton Transfer Reaction–Mass Spectrometry (PTR-MS) and sensory analysis. *Food Research International*, 99, 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.007>
20. Makarkina, M.A., Pavel, A.R., Vetrova, O.A. (2020). Study of biochemical composition of fruits at VNIISPK. *Selection and Variety Breeding of Garden Crops*, 7(1–2), 99–102. <https://doi.org/10.24411/2500-0454-2020-11225> (In Russian)
21. Dubinina, E. V., Krikunova, L. N., Peschanskaya, V. A., Trishkaneva, M. V. (2021). Scientific aspects of identification criteria for fruit distillates. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(3), 480–491. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-480-491> (In Russian)
22. Fariña, L., Medina, K., Urruty, M., Urruty, M., Dellacassa, E., Carrau, F. (2012). Redox effect on volatile compound formation in wine during fermentation by *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Chemistry*, 134(2), 933–944. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.209>
23. Saerens, S.M.G., Delvaux, F., Verstrepen, K.J., Van Dijck, P., Thevelein, J.M., Delvaux, F. R. (2008). Parameters Affecting Ethyl Esters Production by *Saccharomyces cerevisiae* during Fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(2), 454–461. <https://doi.org/10.1128/AEM.01616-07>
24. Oganesyants, L.A., Panasuk, A.L., Reitlat, B.B. (2011). Theory and practice of fruit winemaking. Moscow: Development, 2011. (In Russian)
25. Dubinina, E. V., Krikunova, L. N., Trofimchenko, V. A., Tomgorova, S. M. (2020). Comparative evaluation of the cornel berry fermentation methods in the production of distillates. *Beer and Beverages*, 2, 45–49. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10020> (In Russian)
26. Donchenko, L.V., Firsov, G.G. (2007). Pectin: basic properties, production and application. Moscow: ДеЛи принт ДеЛи: Print. 2007. (In Russian)
27. Sozaeva, D.R., Dzhaboeva, A.S., Shaova, L.G., Tsagoeva, O.K. (2016). The pectin content in different types of fruit crops and their physicochemical characteristics. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2(68), 170–174. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-2-170-174> (In Russian)
28. Ovodov, Yu.S. (2009). Current views on pectin substances. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 35(3), 269–284.
29. Patova, O.A., Golovchenko, V.V., Ovodov, Y.S. (2014). Pectic polysaccharides: structure and properties. *Russian Chemical Bulletin*, 63(9), 1901–1924. <https://doi.org/10.1007/s11172-014-0681-9>
30. Bodyakina, I.M., Bagryantsev, V.A., Kotov, V.V., Lukin, A.L. (2012). The potentiometric determination composition and degree etherification molecules of pectin. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*, 2, 9–13. (In Russian)
31. Lurie, S., Zhou, H.-W., Lers, A., Sonogo, L., Alexandrov, S., Shomer, I. (2003). Study of pectin esterase and changes in pectin methylation during normal and abnormal peach ripening. *Physiologia Plantarum*, 119(2), 287–294. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2003.00178.x>
32. Try, A.V. (2015). Chemical characteristics of pectin substances extracted from plant materials. *Volga Scientific Bulletin*, 2, 8–10. (In Russian)
33. Gawkowska, D., Cybulska, J., Zdunek, A. (2018). Structure-related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A Review. *Polymers*, 10(7), Article 762. <https://doi.org/10.3390/polym10070762>
34. Khaymetova, S. B., Turaev, A. S., Muhitdinov, B. I., Khalilova, G. A. (2021). Isolation and physicochemical characterization of pectin from nonconventional natural raw materials. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, (4), 75–82. <https://doi.org/10.14258/JCPRM.2021048412> (In Russian)
35. Mohnen, D. (2008). Pectin structure and biosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology*, 11(3), 266–277. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2008.03.006>
36. Freitas, C.M.P., Coimbra, I.S.R., Souza, V.G.L., Sousa, R.C.S. (2021). Structure and applications of pectin in food, biomedical, and pharmaceutical industry: A Review. *Coatings*, 11, Article 922. <https://doi.org/10.3390/coatings11080922>

37. Krikunova, L.N., Dubinina, E.V. (2018). Methods for reducing the methanol content in distillates from vegetable raw materials. *Polzunovskiy Vestnik*, 3, 19–24. (In Russian)
38. Butova, S.N. (2004). Biotechnological degradation of plant waste. Moscow: Printing house of the Russian Agricultural Academy, 2004. (In Russian)
39. Rodionova, N.A., Bezborodov, A.M. (1997). Localization of enzyme systems that degrade cell wall polysaccharides in higher plants: pectinases (Review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 33(5), 415–432.
40. Canton, M., Drincovich, M.F., Lara, M. V., Vizzotto, G., Robert, P. W., Famiani, F. et al. (2020). Metabolism of stone fruits: Reciprocal contribution between primary metabolism and cell wall. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 1054. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01054>
41. Prichko, T.G., Chalya, L.D., Smelik, T. L. Aromatic content in the con-
cen-bathroom juices from apple fruit and Vishnu. Retrieved from <https://fh.kubstu.ru/juk/issues/issue09/st0907.pdf> Accessed April 01, 2022. (In Russian)
42. Salina, E.S., Levgerova, N.S., Sidorova, I.A. (2018). Technological characteristics of new cherry varieties of VNIISPK breeding for juice production. *Contemporary Horticulture*, 2(26), 22–27. <https://doi.org/10.24411/2312-6701-2018-10204> (In Russian)
43. Oganesyants, L. A., Peschanskaya, V. A., Osipova, V. P., Dubinina, E. V., Aliyeva, G. A. (2013). Qualitative and quantitative composition of the volatile components of fruit vodkas. *Winemaking and Viticulture*, 6, 22–24. (In Russian)
44. Nunes, C., Coimbra, M.A., Saraiva, J., Rocha, S.M. (2008). Study of the volatile components of a candied plum and estimation of their contribution to the aroma. *Food Chemistry*, 111(4), 897–905. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.05.003>
45. Śliwińska, M., Wiśniewska, P., Dymerski, T., Wardencki, W., Namieśnik J. (2015). The flavour of fruit spirits and fruit liqueurs: A review. *Flavour and Fragrance Journal*, 30(3), 197–207. <https://doi.org/10.1002/ffj.3237>
46. Guillot, S., Peytavi, L., Bureau, S., Lepoutre, J.-P., Crouzet, J. et al. (2006). Aroma characterization of various apricot varieties using headspace — solid phase microextraction combined with gas chromatography — mass spectrometry and gas chromatography — olfactometry. *Food Chemistry*, 96(1), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.016>
47. Oganesyants, L.A., Peschanskaya, V.A., Aliyeva, G.A., Dubinina, E.V. (2013). Resource-saving technology of distillates from cherry's pomace. *Food Industry*, 7, 29–31. (In Russian)
48. Feng, J.-R., Xi, W.-P., Li, W.-H., Liu, H.-N, Liu, X.-F., Lu, X.-Y. (2015). Volatile characterization of major apricot cultivars of Southern Xinjiang Region of China. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 140(5), 466–471. <https://doi.org/10.21273/jashs.140.5.466>
49. Zhang, X., Jiang, Y. M., Peng, F. T., He, N. B., Li, Y. J., Zhao, D. C. (2007). Changes of aroma components in Hongdeng sweet cherry during fruit development. *Agricultural Science in China*, 6, 1376–1382. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(07\)60186-2](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60186-2)
50. Bernalte, D. M., Hernandez, M. T., Vidal-Aragon, M. C., Sabio, E. (1999). Physical, chemical, flavor and sensory characteristics of two sweet cherry varieties grown in 'Valle del Jerte' (Spain). *Journal of Food Quality*, 22(4), 403–416. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.1999.tb00173.x>
51. Vavoura, A. V., Badeka, A. V., Kontakos, S., Kontominas, M. G. (2015). Characterization of four popular sweet cherry cultivars grown in Greece by volatile compound and physicochemical data analysis and sensory evaluation. *Molecules*, 20(2), 1922–1940. <https://doi.org/10.3390/molecules20021922>
52. Serradilla, M.J., Martín, A., Ruiz-Moyano, S., Hernández, A., López-Corrales, M., Córdoba, M.D.G. (2012). Physicochemical and sensorial characterization of four sweet cherry cultivars grown in Jerte Valley (Spain). *Food Chemistry*, 133, 1551–1559. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.048>
53. Matsui, K. (2006). Green leaf volatiles: hydroperoxide lyase pathway of oxylipin metabolism. *Journal of Current Opinion in Plant Biology*, 9(3), 274–80. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2006.03.002>
54. Girard, B., Kopp, T. C. (1998). Physico-chemical characteristics of selected sweet cherry cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(2), 471–476. <https://doi.org/10.1021/jf970646j>
55. Sun, S. Y., Jiang, W. G., Zhao, Y. P. (2010). Characterization of the aromatic compounds in five sweet cherry cultivars grown in Yantai (China). *Flavour and Fragrance Journal*, 25(4), 206–213. <https://doi.org/10.1002/ffj.1994>
56. Zhu, J., Xiao, Z. (2019). Characterization of the key aroma compounds in peach by gas chromatography — olfactometry, quantitative measurements and sensory analysis. *European Food Research and Technology*, 245(1), 129–141. <https://doi.org/10.1007/s00217-018-3145-x>
57. Liu, W., Zhang, Y., Ma, R., Yu, M. (2022). Comparison of aroma trait of the white-fleshed peach 'Hu Jing Mi Lu' and the yellow-fleshed peach 'Jin Yuan' based on odor activity value and odor characteristics. *Horticulturae*, 8(3), Article 245. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8030245>
58. Wen, Y.-Q., He, F., Zhu, B.-Q., Lan, Y.-B., Pan, Q.-H., Li, C.-Y., Reeves, M.J. et al. (2014). Free and glycosidically bound aroma compounds in cherry (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*, 152, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.092>
59. Malaman, F. S., Moraes, L. A. B., West, C., Ferreira, J., Oliviera, A. L. (2011). Supercritical fluid extracts from the Brazilian cherry (*Eugenia uniflora* L.): Relationship between the extracted compounds and the characteristic flavour intensity of the fruit. *Food Chemistry*, 124(1), 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.109>
60. Voskanyan, O.S., Faizova, D.V., Zhirona, V.V., Zagorulko, A.V. (2019). The influence of the method of processing raw materials on the indicators of apricot juice for the preparation of fruit vodka. *Questions of Science: Innovation, Engineering and Technology*, 1, 135–138. (In Russian)
61. Krikunova, L.N., Dubinina, E.V. (February 23–28, 2018). A method for increasing the efficiency of cherry distillate production. Materials of conferences of the Research Institute "National Development". Saint Petersburg, Russian Federation, 67–70. (In Russian)
62. Chauhan, S.K., Tyagi, S.M., Singh, D. (2001). Pectinolytic liquefaction of apricot, plum, and mango pulps for juice extraction. *International Journal of Food Properties*, 4(1), 103–109. <https://doi.org/10.1081/JFP-100002190>
63. Wiśniewska, P., Śliwińska, M., Dymerski, T., Wardencki, W., Namieśnik, J. (2016). The analysis of raw spirits — A review of methodology. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(1), 5–10. <https://doi.org/10.1002/jib.288>
64. Winterová, R., Mikulíková, R., Mazáč, J., Havelec, P. (2008). Assessment of the authenticity of fruit spirits by gas chromatography and stable isotope ratio analyses. *Czech Journal of Food Sciences*, 26(5), 368–375. <https://doi.org/10.17221/1610-cjfs>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Крикунова Людмила Николаевна — доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7-910-465-95-88 E-mail: cognac320@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7335-0453	Ludmila N. Krikunova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, Department of Spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7-910-465-95-88 E-mail: cognac320@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7335-0453
Дубинина Елена Васильевна — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7-903-577-53-62 E-mail: elena-vd@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8364-9539 * автор для контактов	Elena V. Dubinina, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Department of Spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7-903-577-53-62 E-mail: elena-vd@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8364-9539 * corresponding author
Ульянова Екатерина Владимировна — младший научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7-903-228-31-27 E-mail: k.uljanova@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7112-1614	Ekaterina V. Uljanova, Junior Researcher, Department of Spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7-903-228-31-27 E-mail: k.uljanova@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7112-1614
Моисеева Александра Анатольевна — младший научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7-916-170-49-55 E-mail: uniwayka@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1591-6084	Aleksandra A. Moiseeva, Junior Researcher, Department of Spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7-916-170-49-55 E-mail: k.uljanova@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1591-6084
Томгорова Светлана Михайловна — научный сотрудник, отдел технологии крепких напитков, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности 119021, Москва, ул. Россолимо, 7 Тел.: +7-916-771-58-97 E-mail: ryabovasm@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6913-9006	Svetlana M. Tomgorova, Researcher, Department of Spirits, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo str., 119021, Moscow, Russia Tel.: +7-916-771-58-97 E-mail: ryabovasm@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6913-9006
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-132-138>

Поступила 24.05.2022

Поступила после рецензирования 09.06.2022

Принята в печать 16.06.2022

© Мазукабзова Э. В., Зайцева Л. В., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ, РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОНДИТЕРСКОЙ ГЛАЗУРИ С ПОРОШКОМ ИЗ СВЕКЛЫ

Мазукабзова Э. В.*, Зайцева Л. В.

Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

кондитерская глазурь, пищевая ценность, порошок из свеклы, овощесодержащая кондитерская глазурь, органолептическая оценка, предел текучести, характеристика кристаллизации

АННОТАЦИЯ

Рецептурный состав кондитерской глазури определяет ее высокую калорийность при незначительном содержании физиологически значимых веществ. Добавление плодовоовощного сырья позволяет повысить в продукте содержание пищевых волокон, витаминов, макро- и микроэлементов, а также снизить количество добавленного сахара. В данной работе рассмотрена технологическая возможность включения овощных порошков в рецептуру кондитерской глазури на примере порошка из свеклы. Исследованы физико-химические показатели порошка из свеклы в сравнении с классическими рецептурными компонентами кондитерской глазури. Изучено влияние количества порошка из свеклы ($3 \div 15\%$), вводимого взамен части сахара, на органолептические, реологические и кристаллизационные характеристики глазури. Органолептическая оценка показала, что введение в рецептуру кондитерской глазури порошка из свеклы свыше 15% приводит к появлению мучнистого привкуса. Установлено, что предел текучести глазури возрастает прямо пропорционально увеличению содержания порошка из свеклы в ее составе (с $3,601$ Па до $4,446$ Па), и его значение находится в интервале оптимальных значений $3 \div 7$ Па. Следовательно, введение порошка из свеклы в количестве до 15% не приведет к технологическим трудностям. Изучение кинетики процесса структурирования кондитерской глазури показало, что добавление порошка из свеклы приводит к снижению температуры застывания и увеличению продолжительности кристаллизации глазури. Установлены основные параметры кристаллизации разработанной кондитерской глазури: температура застывания $T_{\max} = 28,0 \div 28,3$ °C, продолжительность кристаллизации $\tau_{\max} = 8,2 \div 8,6$ мин. На основе проведенных исследований разработаны рецептуры: овощесодержащей кондитерской глазури с содержанием порошка из свеклы от 3 до 10% ; овощной кондитерской глазури с содержанием порошка из свеклы 13% .

ФИНАНСИРОВАНИЕ: статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022–0007 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность коллегам: Руденко О. С., Кондратьеву Н. Б., Лаврухину М. А. за консультации и помощь в выполнении исследований.

Received 24.05.2022

Accepted in revised 09.06.2022

Accepted for publication 16.06.2022

© Mazukabzova E. V., Zaytseva L. V., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

ORGANOLEPTIC, RHEOLOGICAL AND CRYSTALLIZATION PROPERTIES OF CONFECTIONERY GLAZE WITH BEET POWDER

Ella V. Mazukabzova*, Larisa V. Zaytseva

All-Russian Research Institute of the Confectionery Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:

confectionary glaze, nutritional value, beet powder, vegetable-containing confectionary glaze, vegetable confectionery glaze, organoleptic evaluation, yield strength, crystallization characteristic

ABSTRACT

The recipe composition of confectionary glaze determines its high caloricity upon the low content of physiologically significant substances. Introduction of fruit and vegetable raw materials makes it possible to increase a content of dietary fibers, vitamins, macro- and microelements in a product, as well as to reduce an amount of added sugar. This paper considers a technological possibility of introducing vegetable powders into the confectionary glaze recipe by the example of the beet powder. Physico-chemical indicators of the beet powder were studied in comparison with the classic recipe components of confectionary glaze. An effect of an amount of the beet powder ($3-15\%$) introduced instead of part of sugar on the organoleptic, rheological and crystallization properties of glaze was studied. Organoleptic evaluation revealed that addition of the beet powder into the confectionary glaze recipe in an amount of more than 15% led to appearance of floury off-flavor. It was found that yield strength of glaze increased in the direct proportion to the content of beet powder in its composition (from 3.601 Pa to 4.446 Pa) and its value was in a range of the optimal values of $3 \div 7$ Pa. Therefore, addition of the beet powder in an amount of up to 15% will not lead to technological difficulties. The study of the kinetics of the process of confectionary glaze structuring showed that addition of the beet powder led to a decrease in the solidification point and an increase in the time of glaze crystallization. The main crystallization parameters of the developed glaze were established:

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мазукабзова, Э. В., Зайцева, Л. В. (2022). Органолептические, реологические и кристаллизационные свойства кондитерской глазури с порошком из свеклы. *Пищевые системы*, 5(2), 132-138. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-5-2-132-138>

FOR CITATION: Mazukabzova E. V., Zaytseva L. V. (2022). Organoleptic, rheological and crystallization properties of confectionery glaze with beet powder. *Food Systems*, 5(2), 132-138. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-5-2-132-138>

solidification point $T_{\max} = 28.0 \div 28.3^\circ\text{C}$, crystallization time $\tau_{\max} = 8.2 \div 8.6$ min. Based on the performed research, the following recipes were developed: vegetable-containing confectionary glaze with the beet powder content of 3 to 10%; vegetable confectionery glaze with the beet powder content of 13%.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS-2022–0007 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors thank the colleagues Rudenko O. S., Kondratiev N. B., Lavrukhin M. A. for consultation and assistance in performing research.

1. Введение

Глазированные кондитерские изделия по праву пользуются повышенным спросом у потребителей, благодаря привлекательному внешнему виду и большому сроку годности, как мучных кондитерских, так и сахаристых изделий.

В настоящее время на российском рынке в основном представлены изделия, глазированные шоколадной и кондитерской глазурью. В соответствии с ГОСТ Р 53041–2008¹ шоколадная глазурь выпускается на основе масла какао и/или эквивалентов масла какао. При производстве кондитерской глазури в качестве жирового компонента используются заменители масла какао нетемперируемые лауринового типа или заменители масла какао нетемперируемые нелауринового типа. Последние, в отличие от заменителей масла какао лауринового типа, характеризуются высоким содержанием транс-изомеров [1]. В связи с падением покупательской способности количество кондитерских изделий, глазированных кондитерской глазурью, увеличивается.

Основными компонентами кондитерской глазури являются сахарная пудра, заменитель масла какао и какао-порошок. Таким образом, кондитерская глазурь имеет высокую калорийность при незначительном содержании физиологически значимых веществ. В соответствии с ГОСТ Р 53897–2010² в составе глазури может быть использовано сухое плодовоовощное сырье.

Плодовоовощное сырье широко используется при производстве мучных кондитерских и сахаристых изделий [2–11]. Добавление этого сырья в продукт позволяет повысить в нем содержание пищевых волокон, а также витаминов, макро- и микроэлементов [12–14]. Однако в настоящее время на российском рынке отсутствует пищевая продукция с глазурью с использованием плодовоовощного сырья.

В условиях импортозамещения целесообразным является применение отечественного сырья. В качестве перспективного сырья может быть рассмотрена свекла, имеющая невысокую стоимость. Свекла богата пищевыми волокнами, она содержит такие макроэлементы, как калий, кальций, магний и фосфор, а также важный микроэлемент — железо [15–17]. Эта овощная культура является источником бетаина, уникального вещества, участвующего в нормализации обменных процессов. Бетанин снижает уровень гомоцистеина, токсичного продукта распада аминокислот, который провоцирует развитие остеопороза и атеросклероза. Бетанин нормализует деятельность пищеварительной системы, нейтрализует токсические вещества, способствует усвоению железа, кальция и витамина В₁₂, а также обладает противораковой активностью [18,19]. В свекле также отмечается высокое содержание полифенолов и бетацианинов, обладающих антиоксидантной активностью [17,19,20].

В исследованиях, проведенных нами ранее, было показано, что повышение пищевой ценности шоколадных глазурей путем замены части сахара на фруктовые и овощные порошки повлияло на физико-химические свойства готового изделия. В результате потребовалось уточнение технологических параметров процесса глазирования кондитерских изделий [21].

Целью данного исследования являлась разработка кондитерской глазури на основе заменителей масла какао лауринового типа, не содержащих атерогенных транс-изомеров жирных кислот, путем замены части сахарной пудры на порошок свеклы.

Для достижения поставленной цели было исследовано влияние количества порошка свеклы на органолептические и реологические показатели глазури, а также на ее кристаллизационные свойства.

2. Объекты и методы

Исследования выполнены во ВНИИКП в технологическом отделе.

Для достижения поставленной цели были изучены порошок свеклы и образцы кондитерской глазури с различным содержанием порошка свеклы.

Исследования осуществлены с использованием общепринятых методик и современных автоматизированных приборов для определения органолептических, микробиологических и физико-химических показателей сырья и полуфабрикатов:

- органолептические показатели порошка из свеклы по МВИ 079–00334675–19³;
- массовая доля влаги в какао-порошке и порошке из свеклы по ГОСТ 5900–2014⁴;
- водопоглотительная и жиропоглотительная способность порошка из свеклы по МВИ 080–00334675–19⁵;
- показатель pH какао-продуктов и порошка из свеклы по ГОСТ 5898–87⁶;
- микробиологические показатели какао-порошка и порошка из свеклы по ГОСТ 10444.15–94⁷;
- степень измельчения сахарной пудры, какао-порошка и порошка из свеклы по ГОСТ 54052–2010⁸;

³ МВИ 079–00334675–19 «Методика определения органолептических показателей какао-порошков и фруктово-овощных порошков» Утверждена директором ВНИИКП — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, д. т. н. Т. В. Савенковой, 23.12.2019 г.

⁴ ГОСТ 5900–2014 «Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ» Москва: Стандартинформ, 2019. — 12 с.

⁵ МВИ 080–00334675–19 «Методика определения водопоглотительной и жиропоглотительной способности фруктово-овощных порошков» Утверждена директором ВНИИКП — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, д. т. н. Т. В. Савенковой, 23.12.2019 г.

⁶ ГОСТ 5898–87 «Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности» Москва: Стандартинформ, 2012. — 10 с.

⁷ ГОСТ 10444.15–94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов» Москва: Стандартинформ, 2010. — 7 с.

⁸ ГОСТ 54052–2010 «Изделия кондитерские. Методы определения степени измельчения шоколада, шоколадных изделий, полуфабрикатов производства шоколада, какао и глазури» Москва: Стандартинформ, 2012. — 8 с.

¹ ГОСТ Р 53041–2008 «Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. Термины и определения» Москва: Стандартинформ, 2019. — 16 с.

² ГОСТ Р 53897–2010 «Глазурь. Общие технические условия» Москва: Стандартинформ, 2019. — 14 с.

- ❑ органолептические показатели глазури по ГОСТ Р 53897–2010⁹;
- ❑ характеристика кристаллизации глазурей по МВИ 065–00334675–18¹⁰;
- ❑ реологические показатели глазурей по методу Кассона на ротационном вискозиметре «RV1» фирмы «ХААКЕ». Информационной базой для исследования послужили статистические и аналитические материалы, приведенные в справочниках и сборниках рецептур, на сайте USDA. Анализ данных проведен с помощью программы Excel 2013.

3. Результаты и обсуждение

Качество кондитерской глазури определяется качеством используемых сырьевых компонентов, рецептурой и технологией производства. Чтобы оценить возможность применения порошка из свеклы в производстве кондитерской глазури с целью повышения ее пищевой ценности, изучили химический состав традиционных сухих сыпучих сырьевых компонентов кондитерской глазури и порошка из свеклы (Таблица 1). Отличительной особенностью порошка из свеклы является высокое содержание пищевых волокон, макроэлементов (особенно К и Са) и витаминов (В₁, В₂, С, и РР). Информация об этом представлена в справочниках по пищевой ценности продуктов [22,23].

Таблица 1. Химический состав сахарной пудры, какао-порошка и порошка из свеклы

Table 1. Chemical composition of sugar powder, cacao powder and beet powder

Нутриент	Сахарная пудра	Какао-порошок	Порошок из свеклы
Белки, %	0	24,3	7,7
Жиры, %	0	15,0	0,9
Углеводы, %	99,8	10,2	54,6
Пищевые волокна, %	0	35,3	23,0
К, мг%	3	1509	2314
Са, мг%	3	128	360
Mg, мг%	0	425	250
P, мг%	0	655	430
В1, мг%	0	0,10	0,30
В2, мг%	0	0,20	0,40
С, мг%	0	0	110
РР, мг%	0	1,8	26
Энергетическая ценность, ккал	399	289	257

Кондитерская глазурь в расплавленном виде представляет собой дисперсию мелких твердых частиц какао и кристаллов сахара в жидкой жировой фазе. Дисперсия твердых частиц глазури в среднем составляет по массе 65–70%. Присутствие различных по природе и физико-химическим свойствам частиц, несомненно, по-разному влияет на характер соединений и прочность структуры. Для оценки возможности применения порошка из свеклы в производстве кондитерской глазури изучены органолептические, физико-химические и микробиологические показатели.

Органолептическая оценка показала, что порошок свеклы светло-фиолетового цвета, имеет вкус и аромат, свойственные свекле, без посторонних привкусов и запахов; консистенция однородная, без комочков.

Изучены физико-химические показатели порошка свеклы в сравнении с какао-порошком (Таблица 2).

Таблица 2. Физико-химические показатели порошка из свеклы и какао-порошка

Table 2. Physico-chemical indicators of beet powder and cacao powder

Показатель	какао-порошок	порошок из свеклы
Массовая доля влаги, %	4,8	5,0
Массовая доля жира, %	11,4	—
Водопоглощательная способность, мл воды/г	—	5,8
Жиропоглощательная способность, г жира/г	—	1,7
Показатель pH	6,3	6,9

Массовая доля влаги в глазури составляет 1,5%. По этой причине при производстве кондитерской глазури целесообразно использовать сырьевые компоненты влажностью 1–10%. Влажность порошка из свеклы соответствуют влажности какао-порошка (4,8%) и составляет 5%. Порошок из свеклы характеризуется низкой жиропоглощательной способностью 1,7% и водопоглощательной способностью 5,8%. Значение показателя активной кислотности порошка свеклы превышает значение pH какао-порошка 6,3 и составляет 6,9. Значение pH, близкое к нейтральному, является положительным фактором при формировании вкуса кондитерской глазури. Исследования, проведенные нами ранее, показали, что порошок из свеклы по своим микробиологическим показателям соответствует требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [24].

Процесс измельчения рецептурной смеси является обязательной технологической стадией производства кондитерской глазури. Для получения требуемых реологических свойств глазури в процессе глазирования изделий необходимо, чтобы размерный ряд твердых частиц рецептурной смеси глазури находился в узком диапазоне распределения от 30 до 75 мкм. Гранулометрический состав порошка из свеклы характеризуется однородным распределением частиц по размерам — доля частиц в диапазоне 30 ÷ 75 мкм составляет 65% (Рисунок 1). Частицы размером более 75 мкм оказывают влияние на технологичность процесса производства кондитерской глазури. Чем больше частиц размером более 75 мкм, тем продолжительнее обработка рецептурной смеси в измельчающих установках и тем ниже производительность технологической линии. Также необходимо избегать большого количества частиц размером менее 30 мкм, так как это повлечет за собой увеличение необходимого

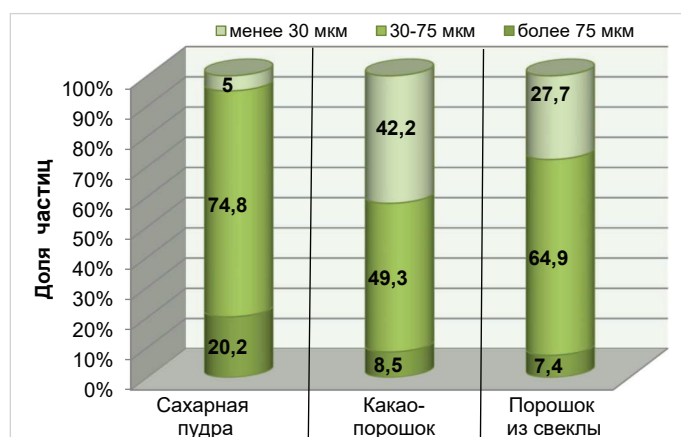


Рисунок 1. Гранулометрический состав сухих сыпучих компонентов шоколадной глазури

Figure 1. Granulometric composition of dry free-flowing components of chocolate glaze

⁹ ГОСТ Р 53897–2010 «Глазурь. Общие технические условия» Москва: Стандартинформ, 2019. — 14 с.

¹⁰ МВИ 065–00334675–1 «Методика определения характеристики кристаллизации продуктов переработки какао-бобов (какао тертое и масло какао) на приборе «MultiTherm» Утверждена директором ВНИИКП — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, д. т. н. Т. В. Савенковой, 26.08.2018 г.

количества жировой фазы вследствие роста площади поверхности твердых частиц. В сравнении с гранулометрическим составом сахарной пудры и какао-порошка порошок из свеклы занимает промежуточное положение.

По совокупности проведенных органолептических и физико-химических исследований можно сделать заключение, что с технологической точки зрения возможно применение порошка из свеклы в производстве кондитерской глазури.

Внесение в глазурь порошка из свеклы будет рассматриваться с учетом требований ГОСТ 53897–2010¹¹ при соблюдении идентификационных критериев. В соответствии с этим документом кондитерская глазурь с фруктовыми, овощными и ягодными компонентам подразделяется на 2 типа: фруктовая (овощная, фруктово-овощная) кондитерская глазурь с содержанием сухого фруктового (ягодного, плодового, овощного) сырья не менее 10% и фруктосодержащая (овощесодержащая и фруктово-овощесодержащая) кондитерская глазурь, в состав которой входит от 3 до 10% сухого фруктового (ягодного, плодового, овощного) сырья. Таким образом, разработка нового ассортимента кондитерских глазурей может осуществляться в рамках существующего ГОСТ и не требует законодательного урегулирования.

На следующем этапе исследования была проведена выработка модельных образцов кондитерских глазурей с добавлением порошка из свеклы. Порошок из свеклы вводили взамен части сахара в количестве 3 ÷ 15% от рецептурного количества с шагом 2% (Таблица 3).

Таблица 3. Рецептурные соотношения кондитерской глазури с различным количеством порошка из свеклы

Table 3. Recipe ratio of confectionary glaze with different amounts of beet powder

Рецептурные компоненты	Вариант №							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Сахарная пудра	51	48	46	44	42	40	38	36
Какао-порошок	17	17	17	17	17	17	17	17
ЗМК лауринового типа	31	31	31	31	31	31	31	31
Порошок из свеклы	0	3	5	7	9	11	13	15
Лецитин	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
PGPR	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ванилин	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ИТОГО	100							

Органолептическую оценку выработанных образцов проводили дескрипторно-профильным методом группой экспертов-дегустаторов. Экспертами отмечены оптимальные вкусовые характеристики у образцов кондитерской глазури № 6 и 7. Порошок из свеклы обогащает вкусовой профиль изделия. Добавление порошка из свеклы свыше 15% приводит к появлению мучнистого привкуса (Рисунок 2). Использование порошка из свеклы в количестве 3–15% не приводит к изменению цвета готового полуфабриката.

В процессе производства кондитерских изделий глазурь поступает на глазирование, успешное проведение которого зависит от реологических и кристаллизационных свойств глазури.

На реологические свойства кондитерской глазури влияет ряд факторов: температура, гранулометрический состав, соотношение жира и высокодисперсной твердой фазы, их природа, процессы химического взаимодействия между твердыми частицами, жиром и поверхностно-активными веществами (лецитин и др.). Изучена динамика предела текучести кондитерской глазури от ее состава (Рисунок 3).

¹¹ ГОСТ Р 53897–2010 «Глазурь. Общие технические условия» Москва: Стандартинформ, 2019. — 14 с.

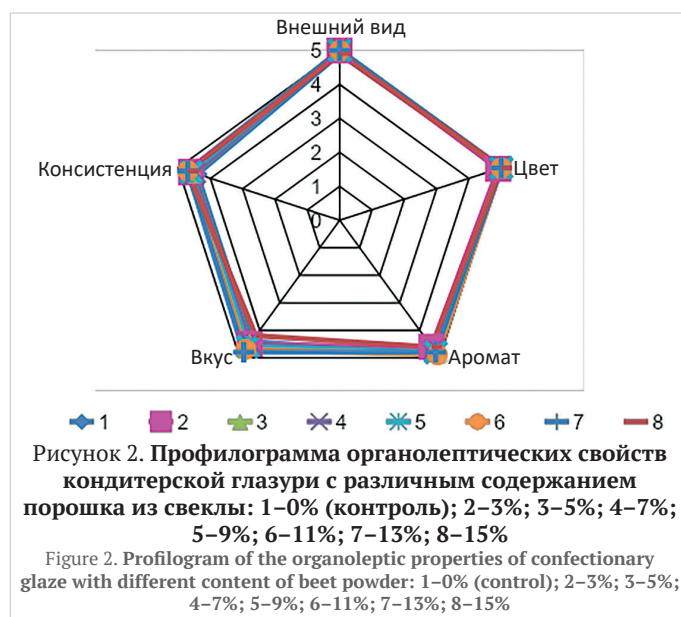


Figure 2. Profilogram of the organoleptic properties of confectionary glaze with different content of beet powder: 1–0% (control); 2–3%; 3–5%; 4–7%; 5–9%; 6–11%; 7–13%; 8–15%

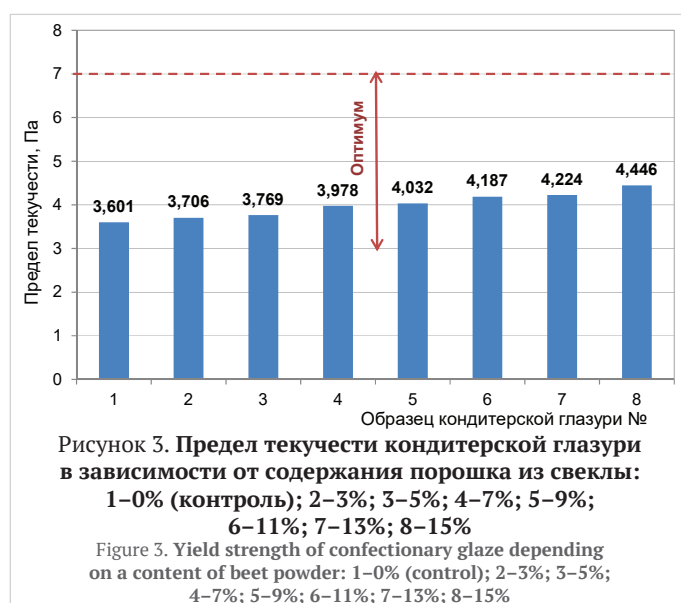


Figure 3. Yield strength of confectionary glaze depending on a content of beet powder: 1–0% (control); 2–3%; 3–5%; 4–7%; 5–9%; 6–11%; 7–13%; 8–15%

Установлено, что предел текучести глазури возрастает прямо пропорционально увеличению содержания порошка из свеклы в ее составе (с 3,601 Па до 4,446 Па).

Известно, что оптимальным значением предела текучести кондитерской глазури является величина 3 ÷ 7 Па, обеспечивающая процесс покрытия изделия равномерным тонким слоем глазури без технологических трудностей [25]. Следовательно, введение порошка из свеклы в количестве до 15% не приводит к технологическим трудностям.

Анализ кинетики процесса структурирования кондитерской глазури с использованием порошка из свеклы показал, что добавление порошка приводит к снижению температуры застывания кондитерского полуфабриката с 28,5 до 28 °С и к увеличению продолжительности кристаллизации с 7,4 до 8,6 мин (Таблица 4).

Изучение кривых кристаллизации позволило установить, что характер кристаллизации кондитерских глазурей, содержащих порошок из свеклы, отличается от контрольного образца. Процесс охлаждения в контрольном образце протекает при более высоких температурах и за меньший промежуток времени. Кондитерские глазури с использованием порошка из свеклы в количестве от 3% до 15% имеют близкие характеристики кристаллизации (Рисунок 4).

Таблица 4. Характеристика кристаллизации кондитерских глазурей с различным содержанием порошка свеклы
Table 4. Characteristics of crystallization of confectionary glaze with different content of beet powder

Показатели качества	Количество порошка из свеклы в составе глазури, %						
	0	3	5	7	9	11	13
Температура начала кристаллизации T_{min} , °C	27,4	26,6	26,6	26,6	26,7	26,6	26,5
Время начала кристаллизации τ_{min} , мин	4,1	4,4	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4
Температура застывания T_{max} , °C	28,5	28,2	28,2	28,3	28,3	28,2	28,1
Время кристаллизации τ_{max} , мин	7,4	8,2	8,5	8,3	8,2	8,3	8,4

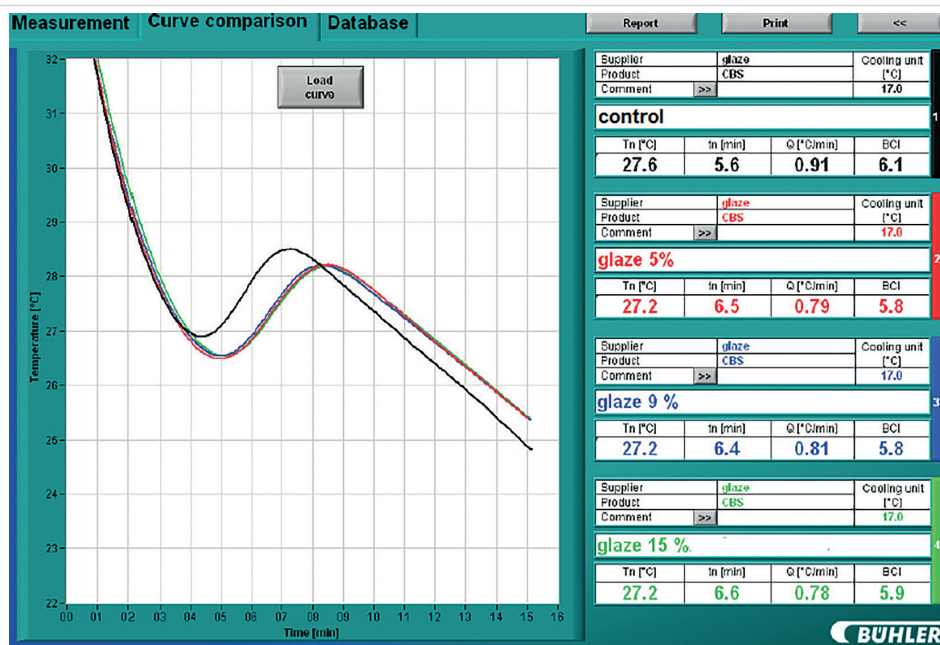


Рисунок 4. Характеристика кристаллизации образцов кондитерских глазурей с различным содержанием порошка из свеклы

Figure 4. Characteristics of crystallization of confectionary glaze samples with different content of beet powder

Установлены основные параметры кристаллизации кондитерской глазури с использованием порошка из свеклы: температура застывания T_{max} от 28,0 °C до 28,3 °C, продолжительность кристаллизации τ_{max} от 8,2 до 8,6 мин.

На основе проведенных исследований разработаны рецептуры кондитерской глазури с различным содержанием порошка из свеклы. Применение порошка из свеклы позволило повысить пищевую ценность кондитерской глазури, обогатив ее пищевыми волокнами, витаминами, макро- и микроэлементами при снижении количества добавленного сахара.

4. Выводы

На основе изученного химического состава, анализа органолептических, физико-химических и микробиологических показателей, а также гранулометрического состава порошка из свеклы доказана перспективность его применения в производстве кондитерской глазури.

Установлено влияние количества порошка из свеклы на потребительские и технологические характеристики кондитерской глазури. Органолептическая оценка показала, что введение в рецептуру кондитерской глазури порошка из свеклы взамен части сахара свыше 15% приводит к появлению мучнистого привкуса.

Изучена динамика реологических показателей кондитерской глазури от количества порошка из свеклы. Предел текучести глазури возрастает (с 3,601 Па до 4,446 Па) прямо пропорционально увеличению содержания порошка из свеклы, но находится в интервале оптимальных значений.

Таким образом, добавление порошка из свеклы в количестве до 15% не приводит к технологическим трудностям.

Проведен анализ влияния порошка из свеклы на кристаллизационные свойства глазури. Установлено, что характер кристаллизации кондитерских глазурей, содержащих порошок из свеклы в количестве от 3 до 15%, незначительно отличается от контрольного образца. Определены параметры кристаллизации кондитерской глазури с использованием порошка из свеклы: температура начала кристаллизации $T_{min} = 26,6 \div 26,8$ °C, время начала кристаллизации $\tau_{min} = 4,4 \div 4,5$ мин, температура застывания $T_{max} = 28,0 \div 28,3$ °C, продолжительность кристаллизации $\tau_{max} = 8,2 \div 8,6$ мин.

По совокупности проведенных исследований установлена возможность применения порошка из свеклы в производстве кондитерской глазури, определено оптимальное количество вводимого взамен части сахарной пудры порошка из свеклы от 3% до 13%.

На основе проведенных исследований разработаны рецептуры кондитерской глазури с различным содержанием порошка из свеклы, который вводили взамен части сахарной пудры в количестве от 3% до 13%. Согласно ГОСТ 53897–2010 «Глазурь. Общие технические условия» разработали овоще-содержащую кондитерскую глазурь (содержание порошка из свеклы от 3% до 10%) и овощную кондитерскую глазурь (содержание порошка из свеклы более 10%).

Включение в рецептуру кондитерской глазури порошка из свеклы позволяет снизить количество добавленного сахара и повысить пищевую ценность глазури, обогатив пищевыми волокнами, витаминами, макро- и микроэлементами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зайцева, Л. В., Мазукабзова, Э. В., Матюнина, А. В., Осипов, М. В. (2021). Современные требования к растительным маслам и продуктам их переработки для производства пищевой продукции функционального и специализированного назначения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 3, 200–211. <https://doi.org/10.36107/spfr.2021.196>
2. Tańska, M., Roszkowska, B., Czaplicki, S., Borowska, E. J., Bojarska, J., Dąbrowska, A. (2016). Effect of fruit pomace addition on shortbread cookies to improve their physical and nutritional values. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(3), 307–313. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0561-6>
3. Бакин, И. А., Мустафина, А. С., Вечтомова, Е. А., Колбина, А. Ю. (2017). Использование вторичных ресурсов ягодного сырья в технологии кондитерских и хлебобулочных изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 2(45), 5–12.
4. Gomes, M., Martinez, M. M. (2018). Fruit and vegetable by-products as novel ingredients to improve the nutritional quality of baked goods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(13), 2119–2135. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1305946>
5. Kırbaş, Z., Kumcuoglu, S., Tavman, S. (2019). Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 914–926. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03554-z>
6. Зайцева, И. И., Шеламова, С. А., Дерканосова, Н. М. (2019). Влияние выжимок из тыквы на процесс ферментации теста для крекера. *Техника и технология пищевых производств*, 49(3), 470–478. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-470-478>
7. Majerska, J., Michalska, A., Figiel, A. (2019). A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 88, 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>
8. Theagarajan, R., Malur Narayanaswamy, L., Dutta, S., Moses, J.A., Chinnaswamy, A. (2019). Valorisation of grape pomace (cv. Muscat) for development of functional cookies development of functional cookies. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 1299–1305. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14119>
9. Алексеенко, Е. В., Быстрова, Е. А., Бакуменко, О. Е. (2019). Применение сублимированного порошка брусники при изготовлении мучных кондитерских изделий. *Пищевая промышленность*, 5, 18–21. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10065>
10. Табаторович, А. Н., Резниченко, И. Ю. (2019). Обоснование рецептур и оценка качества желеиног мармелада на основе настоя лепестков розеллы (*Hibiscus Sabdariffa* L.). *Пищевая промышленность*, 5, 66–71. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10075>
11. Бакина, А. П., Камоза, Т. Л. (2020). Перспективы использования пюре из мякоти тыквы и джема из ягод красной смородины при производстве зефира. *Вестник КрасГАУ*, 6(159), 207–214. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-207-214>
12. Alba, K., MacNaughtan, W., Laws, A. P., Foster T. J., Campbell, G.M., Kontogiorgos, V. (2018). Fractionation and characterisation of dietary fibre from blackcurrant pomace. *Food Hydrocolloids*, 81, 398–408. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.023>
13. Reißner, A.-M., Al-Hamimi, S., Quiles, A., Schmidt, C., Struck, S., Hernando, I. et al. (2019). Composition and physicochemical properties of dried berry pomace. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(3), 1284–1293. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9302>
14. Дубцова, Г. Н., Ломакин, А. А., Кусова, И. У., Буланникова, Е. И., Быстров, Д. И. (2021). Биологически активные вещества порошков из плодов барбариса и калины. *Техника и технология пищевых производств*, 51(4), 779–783. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-779-78>
15. Степакова, Н. Н., Резниченко, И. Ю., Киселева, Т. Ф., Шкрабтак, Н. В., Фролова, Н. А., Праскова, Ю. А. (2020). Растительное сырье Дальневосточного региона как источник биологически активных веществ. *Пищевая промышленность*, 3, 16–21. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10025>
16. Кожемяко, А. В., Сергеева, И. Ю., Долголюк, И. В. (2021). Экспериментальное определение биологически активных соединений в выжимках свеклы и моркови, районированных в Сибирском регионе. *Техника и технология пищевых производств*, 51(1), 179–187. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-179-187>
17. Ali, M. R., Mohamed, R. M., Abdelmaksoud, T. G. (2021). Functional strawberry and red beetroot jelly candies rich in fibers and phenolic compounds. *Food Systems*, 4(2), 82–88. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-82-88>
18. Xu, X., Gammon, M. D., Zeisel, S. H., Bradshaw, P. T., Wetmur, J. G., Teitelbaum, S. L. et al. (2009). High intakes of choline and betaine reduce breast cancer mortality in a population-based study. *FASEB Journal*, 23(11), 4022–4028. <https://doi.org/10.1096/fj.09-136507>
19. Azeredo, H. M. C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability — a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(12), 2365–2376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>
20. Vasconcelos, J., Conte-Junior, C., Silva, D., Pierucci, A. P., Paschoalin, V., Alvares, T. S. (2016). Comparison of total antioxidant potential, and total phenolic, nitrate, sugar, and organic acid contents in beetroot juice, chips, powder, and cooked beetroot. *Food Science and Biotechnology*, 25(1), 79–84. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0011-0>
21. Линовская, Н. В., Мазукабзова, Э. В., Руденко, О. С. (2019). Научно обоснованные критерии производства шоколадных полуфабрикатов с использованием фруктово-овощных порошков. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 81(3(81)), 151–157. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-3-151-157>
22. FoodData Central Search Results U. S. Department OF Agriculture Agricultural Research Service. Retrieved from <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/167587/nutrients> Accessed April 18, 2022
23. Скурихин, И. М., Тутельян, В. А. (2007). Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания. Москва: ДеЛи принт, 2007.
24. Линовская, Н. В., Мазукабзова, Э. В., Кондратьев, Н. Б., Крылова, Э. Н. (2019). Изучение технологической адекватности сырьевых компонентов, используемых в производстве шоколадного полуфабриката. *Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета*, 22(3), 404–412. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-3-404-412>
25. Beckett, S. T. (2018). The science of chocolate. Royal Society of Chemistry, 2018.

REFERENCES

1. Zaitseva, L. V., Mazukabzova, E. V., Matunina, A. V., Osipov, M. V. (2021). Modern requirements for vegetable oils and their processed products used in functional and specialized food products. *Storage and Processing of Farm Products*, 3, 200–211. <https://doi.org/10.36107/spfr.2021.196> (In Russian)
2. Tańska, M., Roszkowska, B., Czaplicki, S., Borowska, E. J., Bojarska, J., Dąbrowska, A. (2016). Effect of fruit pomace addition on shortbread cookies to improve their physical and nutritional values. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71(3), 307–313. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0561-6>
3. Bakin, I. A., Mustafina, A. S., Vechtomova, E. A., Kolbina, A. Yu. (2017). The use of secondary resources of fruit raw material in technology of confectionery and bakery products. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2017, 45(2), 5–12. (In Russian)
4. Gomes, M., Martinez, M. M. (2018). Fruit and vegetable by-products as novel ingredients to improve the nutritional quality of baked goods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(13), 2119–2135. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1305946>
5. Kırbaş, Z., Kumcuoglu, S., Tavman, S. (2019). Effects of apple, orange and carrot pomace powders on gluten-free batter rheology and cake properties. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 914–926. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-03554-z>
6. Zaitseva, I. I., Shelamova, S. A., Derkanosova, N. M. (2019). Effect of pumpkin husks on cracker dough fermentation. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(3), 470–478. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-470-478> (In Russian)
7. Majerska, J., Michalska, A., Figiel, A. (2019). A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in Food Science and Technology*, 88, 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>
8. Theagarajan, R., Malur Narayanaswamy, L., Dutta, S., Moses, J.A., Chinnaswamy, A. (2019). Valorisation of grape pomace (cv. Muscat) for development of functional cookies development of functional cookies. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 1299–1305. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14119>
9. Alekseenko, E. V., Bystrova, E. A., Bakumenko, O. E. (2019). The application of freeze-dried cranberry powder in the flour confectionery production. *Food Industry*, 5, 18–21. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10065> (In Russian)
10. Tabatorovich, A. N., Reznichenko, I. Yu. (2019). Rationale for the formulations and quality assessment of jelly marmalade based on roselle infusion (*Hibiscus Sabdariffa* L.). *Food Industry*, 5, 66–71. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10075> (In Russian)
11. Bakina, A. P., Kamoza, T. L. (2020). The research on the prospects of using pumpkin pulp puree and red currant jam in marshmallow production. *Vestnik KrasGAU*, 6(159), 207–214. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-6-207-214> (In Russian)
12. Alba, K., MacNaughtan, W., Laws, A. P., Foster T. J., Campbell, G. M., Kontogiorgos, V. (2018). Fractionation and characterisation of dietary fibre from blackcurrant pomace. *Food Hydrocolloids*, 81, 398–408. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.03.023>
13. Reißner, A.-M., Al-Hamimi, S., Quiles, A., Schmidt, C., Struck, S., Hernando, I. et al. (2019). Composition and physicochemical properties of dried berry pomace. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(3), 1284–1293. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9302>
14. Dubtsova, G. N., Lomakin, A. A., Kusova, I. U., Bulannikova, E. I., Byistrov, D. I. (2021). Biologically active substances from powdered barberry and viburnum. *Food Processing: Techniques and Technology*,

- 51(4), 779–783. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-779-78> (In Russian)
15. Stepanova, N. N., Reznichenko, I. Yu., Kiseleva, T. F., Shkrabak, N. V., Frolova, N. A., Praskova, Yu. A. (2020). Vegetable raw materials of the Far Eastern region as a source of biologically active substances. *Food Industry*, 3, 16–21. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10025> (In Russian)
 16. Kozhemayko, A. V., Sergeeva, I. Yu., Dolgolyuk, I. V. (2021). Experimental determination of biologically active compounds in pomace of Siberian beet and carrot. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(1), 179–187. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-179-187>. (In Russian)
 17. Ali, M. R., Mohamed, R. M., Abedelmaksoud, T. G. (2021). Functional strawberry and red beetroot jelly candies rich in fibers and phenolic compounds. *Food Systems*, 4(2), 82–88. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-82-88>
 18. Xu, X., Gammon, M. D., Zeisel, S. H., Bradshaw, P. T., Wetmur, J. G., Teitelbaum, S. L. et al. (2009). High intakes of choline and betaine reduce breast cancer mortality in a population-based study. *FASEB Journal*, 23(11), 4022–4028. <https://doi.org/10.1096/fj.09-136507>
 19. Azeredo, H. M. C. (2009). Betalains: properties, sources, applications, and stability — a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(12), 2365–2376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>
 20. Vasconcellos, J., Conte-Junior, C., Silva, D., Pierucci, A. P., Paschoalin, V., Alvares, T. S. (2016). Comparison of total antioxidant potential, and total phenolic, nitrate, sugar, and organic acid contents in beetroot juice, chips, powder, and cooked beetroot. *Food Science and Biotechnology*, 25(1), 79–84. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0011-0>
 21. Linovskaya, N. V., Mazukabzova, E. V., Rudenko, O. S. (2019). Scientifically based production criteria for chocolate semi-finished products using fruit and vegetable powders. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 81(3(81)), 151–157. <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-3-151-157> (In Russian)
 22. FoodData Central Search Results U. S. Department OF Agriculture Agricultural Research Service. Retrieved from <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/167587/nutrients> Accessed April 18, 2022
 23. Skurihin, I. M., Tutel'yan, V. A. 2007. Tables of chemical composition and caloric content of Russian food products. Moscow, DeLi Print, 2007. (In Russian)
 24. Linovskaya, N. V., Mazukabzova, E. V., Kondratev, N. B., Krylova, E. N. (2019). The study of the technological adequacy of raw materials used in the production of chocolate semi-finished product. *Bulletin of the MSTU. Proceedings of the Murmansk State Technical University*, 22(3), 404–412. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-3-404-412> (In Russian)
 25. Beckett, S. T. (2018). The science of chocolate. Royal Society of Chemistry, 2018.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Мазукабзова Элла Витальевна — научный сотрудник, Технологический отдел, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, г. Москва, ул. Электрозаводская, д. 20 Тел.: +7-925-312-20-56. E-mail: ryabkovaella@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-2884-6767 * автор для контактов Зайцева Лариса Валентиновна — доктор технических наук, кандидат химических наук, заведующая Технологическим отделом, Всероссийский научно-исследовательский институт кондитерской промышленности 107023, г. Москва, ул. Электрозаводская, д. 20 Тел.: +7-916-186-05-89. E-mail: lvz2360@mail.ru https://orcid.org/0000-0001-8176-1650	Ella V. Mazukabzova, Senior Researcher, Technology Department, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-925-312-20-56. E-mail: ryabkovaella@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-2884-6767 * corresponding author Larisa V. Zajceva, Doctor of Technical Sciences, Candidate of Chemical Sciences, Head of the Technology Department, All-Russia Research Institute of the Confectionery Industry 20, Electrozavodskaya Str., 107023, Moscow, Russia Tel.: +7-916-186-05-89. E-mail: lvz2360@mail.ru https://orcid.org/0000-0001-8176-1650
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-139-144>

Поступила 23.11.2021

Поступила после рецензирования 01.06.2022

Принята в печать 10.06.2022

© Закладной Г. А., Яицких А. В., Степаненко Д. С., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ФОРМИРОВАНИЕ В ЗЕРНЕ МОЧЕВОЙ КИСЛОТЫ, ПРОДУЦИРУЕМОЙ ЗЕРНОВЫМ ТОЧИЛЬЩИКОМ *RHIZOPERTHA DOMINICA* (F.)

Закладной Г. А.*, Яицких А. В., Степаненко Д. С.

Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

зерно, зерновой точильщик, мочево́вая кислота, безопасность

АННОТАЦИЯ

Это исследование описывает особенности образования в зерновой массе мочево́вой кислоты, выделяемой зерновым точильщиком *Rhizopertha dominica* F. в процессе его жизнедеятельности. Загрязнение зерна насекомыми делает его ядовитым. Традиционное определение загрязненности зерна по количеству насекомых в межзерновом пространстве в ряде случаев, например, после сепарирования зерна, дает ложную картину его фактической опасности для питания людей, что является возможностью для вывода на рынок фальсифицированной зерновой продукции. Это приводит к поставкам населению некачественной первичной продукции, которая в последующем снижает качество вырабатываемых из такого зерна пищевых продуктов. В процессе жизнедеятельности насекомые загрязняют мочево́вой кислотой зерно, анализ которой предлагается в качестве альтернативы традиционному методу. Настоящее исследование посвящено установлению количественной зависимости формирования мочево́вой кислоты в зерне пшеницы от численности *Rh. dominica*. Показано, что формирование мочево́вой кислоты в зерне этим вредителем обусловлено характером его питания с образованием большого количества экскрементов в виде мелкой сероватой пыли с характерным запахом, которую принято называть «мучель». Экспериментально установлено, что в мучели сосредоточена основная часть мочево́вой кислоты, выделяемой вредителем. В зерне без мучели находится незначительное количество мочево́вой кислоты, однако оно тесно связано с плотностью загрязненности его имаго *Rh. dominica*. Поскольку перед помолом зерно на мукомольных заводах подвергается тщательной очистке, в процессе которой наравне с другим сором удаляется и мучель, рекомендовано перед определением мочево́вой кислоты в зерне, зараженном *Rh. dominica*, отсеивать из него мучель.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № 0586/2019–0001 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 23.11.2021

Accepted in revised 01.06.2022

Accepted for publication 10.06.2022

© Zakladnoy G. A., Yaitskikh A. V., Stepanenko D. S., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

FORMATION OF URIC ACID IN GRAIN PRODUCED BY *RHYZOPERTHA DOMINICA* (F.)

Gennady A. Zakladnoy*, Artem V. Yaitskikh, Dmitry S. Stepanenko

All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing, Moscow, Russia

KEY WORDS:

grain, *Rhizopertha dominica*, uric acid, safety

ABSTRACT

The study describes the peculiarities of the development of uric acid produced by lesser grain borers *Rhizopertha dominica* during their vital activities in the grain mass. Pollution of grain by insects makes it poisonous. The conventional determination of grain pollution by the number of insects in the intergrain space in several cases (for example, after grain separation) gives a false picture of its actual hazard for human nutrition, which is a possibility for introduction of falsified grain products to the market. This leads to provision of the population with low-quality primary products, which, subsequently, reduces the quality of foods produced from such grain. During their vital activities, insects pollute grain with uric acid, which analysis is proposed as an alternative to the conventional method. The present study is devoted to the determination of the quantitative dependence of uric acid formation in wheat grain on the number of *Rhizopertha dominica*. It is shown that uric acid formation in grain by this pest is conditioned by the character of its nutrition with the development of a large amount of excrements in a form of fine gray dust with the characteristic odor commonly referred to as “floury dust”. It was established experimentally that the main part of uric acid excreted by the pest is concentrated in “floury dust”. Grain without “floury dust” contains the insignificant amount of uric acid; however, it is closely linked with the density of its pollution with imago *Rh. dominica*. As grain before milling in milling plants is subjected to thorough cleaning, during which “floury dust” is removed along with other contaminants, it is recommended to sift “floury dust” from grain before determination of uric acid in it.

FUNDING: The article was published as part of the research topic № 0586/2019–0001 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Закладной, Г. А., Яицких, А. В., Степаненко, Д. С. (2022). Формирование в зерне мочево́вой кислоты, продуцируемой зерновым точильщиком *rhizopertha dominica* (f.). *Пищевые системы*, 5(2), 139–144. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-139-144>.

FOR CITATION: Zakladnoy, G. A., Yaitskikh, A. V., Stepanenko, D. S., (2022). Formation of uric acid in grain produced by *rhizopertha dominica* (f.). *Food Systems*, 5(2), 139–144. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-139-144>.

1. Введение

По данным ФАО, ежегодно насекомые вредители запасов поедают до 15% зерна, производимого в мире, а в отдельных развивающихся странах — 30% и даже 50%. Ежегодно из-за вредителей хлебных запасов при хранении зерна теряются десятки млн тонн продукта. Насекомые-паразиты вызывают большие потери зерна и его порчу, снижают хлебопекарные качества муки и кормовую ценность зернофуража, комбикормов [1].

Во время обследования зернохранилищ в стране в хранящемся зерне были выявлены более 30 видов вредных насекомых. При этом количество партий зерна, заселенных насекомыми, возрастало от 14 до 94% в направлении от северных к южным районам. Расчеты, выполненные на основании результатов обследования, показывают, что за полгода хранения насекомые съедают в России 5,7–7,8% зерна, т. е. примерно урожай Ставрополя [2].

При загрязнении насекомыми и клещами уменьшается вес зерна, резко ухудшается пищевая ценность: снижается количество белка, отмечаются разнонаправленные сдвиги в содержании аминокислот. Также в результате воздействия паразитов ухудшаются всхожесть и энергия прорастания хранящегося зерна. Вредители загрязняют зерно метаболитами и остатками частей тела насекомых. В процессе их жизнедеятельности производятся тепло и влага, которые приводят к развитию микрофлоры в зерновой массе. Сильно зараженная пшеница непригодна для использования в качестве семенного материала, а продукты ее переработки не подходят для потребления человеком и животными [3].

Увеличение плотности заражения зерна рисовым долгоносиком *Sitophilus oryzae* L. в скрытой форме на 1%, что соответствует плотности заражения в явной форме 3 экз/кг, приводит к уменьшению выхода муки на 0,12% [4].

Поражение хранящегося зерна вредными насекомыми и клещами не только снижает его массу и ухудшает качество, но и делает зерно ядовитым [4,5]. У белых беспородных крыс, которым скармливали зерно с суммарной плотностью загрязненности (СПЗ) вредителями более 15 экз/кг, отмечали функциональные изменения печени и почек, сдвиги в морфологическом составе крови, изменения массовых коэффициентов органов, гистологические нарушения в тканях печени, почек, желудка и кишечника. Зерно приобретало токсические свойства по отношению к животным [6,7].

Нормативными документами в России и в странах Таможенного Союза установлен максимально допустимый уровень (МДУ) СПЗ зерна вредителями хлебных запасов (насекомые, клещи), равный 15 экз/кг. Одновременно с введением МДУ СПЗ была разработана инструкция, предусматривающая отбор средней пробы зерна, выделение и подсчет в нем живых и мертвых вредителей и расчет СПЗ с учетом коэффициентов их вредоносности.

Этой методике присущи очевидные недостатки, главный из которых — сложность определения численности мертвых насекомых и клещей в пробе зерна ввиду их быстрого разрушения и измельчения после отмирания. Эта проблема является актуальной и в случае удаления вредителей из зерна, например, при помощи сепарирования. В результате возникает ложное представление о безопасности зерна как сырья для производства продуктов питания, что позволяет выводить на рынок фальсифицированную зерновую продукцию и приводит к периодическому потреблению населением продуктами, выработанными из некачественного зерна [8].

В работах [8,9] была установлена прямая зависимость между СПЗ зерна и содержанием в нем мочевой кислоты (МК), а также высказана целесообразность использовать содержание МК в качестве критерия оценки санитарно-

гигиенического состояния продовольственного зерна, загрязненного вредителями. Такого же мнения придерживаются и зарубежные исследователи [10,11]. При этом в [10] подчеркнуто, что МК является главным конечным продуктом почти всех вредных насекомых и содержит более 80% азота в их экскрементах.

Целесообразно инициировать исследования динамики содержания продуцированной насекомыми и клещами МК при хранении зерна с целью установления гигиенического норматива МК в зерне взамен МДУ СПЗ.

Мочевая кислота является неперенным соединением, продуцируемым в результате жизнедеятельности животных организмов, в том числе насекомых и клещей, поражающих зерно [12–14]. При этом МК очень стабильна в продуктах, даже при кулинарной их обработке [11,14]. Поэтому анализ МК в зерне даст возможность исключить недостатки традиционных методов зараженности и загрязненности его вредными членистоногими.

В процессе жизнедеятельности насекомые загрязняют мочевой кислотой продукт, которым они питаются [9]. Опубликованные результаты исследований показали загрязнение семян нута мочевой кислотой. При этом количество мочевой кислоты в массе семян увеличивается пропорционально содержанию зараженных насекомых семян. В этом же исследовании показана значительная устойчивость мочевой кислоты к деградации. После варки нута количество мочевой кислоты в нем снижалось менее чем наполовину [11]. Эти данные дают основание судить о зараженности продуктов насекомыми по присутствию в них мочевой кислоты.

Поэтому мы отрабатываем альтернативный традиционному показатель загрязненности зерна насекомыми по содержанию мочевой кислоты, исключающий возможность фальсификации продукта. Ранее мы установили связь количества мочевой кислоты в зерне с численностью в нем имаго рисового долгоносика *Sitophilus oryzae* L. [13].

Целью настоящих исследований было выявить роль зернового точильщика *Rhizopertha dominica* F. в процессе формирования им в зерне мочевой кислоты.

2. Материалы и методы

В пробы по 500 г зерна пшеницы влажностью $13,2 \pm 0,5\%$ подсаживали по 50 жуков *Rh. dominica* из многолетних лабораторных культур без разделения по полу и возрасту. Пробы выдерживали при температуре 25 °С в течение необходимого времени, чтобы получить природную популяцию со всеми стадиями развития вредителя в скрытой форме зараженности от яиц до имаго. Через 63 дня в пробах 1 и 2 содержалось 170 и 130 жуков соответственно, что соотносилось с плотностью заселения 340 и 260 экз/кг соответственно.

Эти жуки были удалены из зерна, а зерно было размещено в морозильную камеру при температуре минус 10 °С, чтобы исключить дальнейшее развитие насекомого и законсервировать содержание накопленной мочевой кислоты.

Жук *Rh. dominica* в результате питания формирует большое количество экскрементов в виде мелкой сероватой пыли с характерным запахом, которую принято называть «мучель». Мучель хорошо видна на Рисунке 1.

Из пробы 1 (без отсеивания мучели) сформировали субпробы с разной плотностью заселения жуками зернового точильщика, и в этих пробах анализировали содержание мочевой кислоты.

В пробе 2 от зерна была отсеяна мучель. Из зерна пробы 2 без мучели были сформированы субпробы с плотностью заселения жуками 9, 18 и 27 экз/кг, в зерне которых определяли содержание мочевой кислоты.



Рисунок 1. Вид зерна, пораженного *Rh. dominica*
Figure 1. Appearance of grain affected by *Rh. dominica*

К 50 г чистого зерна было добавлено 1 г мучели и в этом образце определяли содержание мочевой кислоты.

Анализ мочевой кислоты определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Использовали хроматограф жидкостный «Стайер» производства АО «Аквилон», Россия, по ТУ 4215–003–18294344 с УФ детектором и программно-аппаратным комплексом «МультиХром». Предел допускаемого значения относительного среднеквадратического отклонения времени удерживания определяемого компонента — 0,5% и выходного сигнала по высоте и площади пика — 4%. Для разделения подвижной фазы в хроматографе использованы колонка хроматографическая разделительная Synergi Hydro-RP, 4 мкм, 250×4,6 мм, с предзащитной колонкой «C18» или «C18 Aq», 4.0×3.0 мм производства «Phenomenex», США. Режим разделения — изократический, подвижная фаза — 0,04 М ацетатный буфер (pH = 5,8), скорость потока 1 см³/мин, объем петлевого дозатора 20 мкл, температура термостата колонки 30 °С, детектирование спектрофотометрическое, лех: (282 ± 2) нм.

Градуировку выполняли последовательно для всех растворов. Для каждого градуировочного раствора регистрировали не менее двух хроматограмм.

Полученную хроматограмму обрабатывали в соответствии с руководством пользователя программного обеспечения «МультиХром».

Выход мочевой кислоты идентифицировали по абсолютному времени удерживания.

Навеску зерна 20 г помещали в плоскодонную коническую колбу, добавляли 200 мл дистиллированной воды и нагревали при кипении в течение 10 мин. После охлаждения до 25 °С экстракт фильтровали через складчатый бумажный фильтр.

Проводили анализ двух параллельных проб, для каждой из которых выполняли по 2 измерения с получением двух хроматограмм.

Массовая концентрация мочевой кислоты в пробах, введенных в хроматограф, автоматически рассчитывалась системой сбора и обработки хроматографической информации.

Расчет содержания мочевой кислоты в образце зерна (X мг/кг) проводили по формуле (1):

$$X = C \times V / m, \quad (1)$$

где:

V — объем экстракта, мл (200 мл);

m — масса пробы зерна, г (20 г);

C — среднее значение массовой концентрации мочевой кислоты в пробе, введенной в хроматограф, мкг/мл.

3. Результаты и обсуждение

На Рисунке 2 приведены результаты анализа мочевой кислоты в навесках зерна пшеницы с не отсеянной мучелью.

Линия тренда показывает наличие прямой связи между содержанием мочевой кислоты и плотностью заселения зерна жуками. Однако связь эта слабая — R^2 составляет всего 0,49.

Расчет критерия совпадения Пирсона χ^2 между фактическими и теоретическими данными содержания мочевой кислоты в пробах зерна с не отсеянной мучелью показал, что χ^2 фактический составил 537 и оказался больше χ^2 теоретического, равного 15,5 при уровне значимости 0,05. Поэтому нулевая гипотеза о соответствии между фактическими и теоретическими данными отвергается.

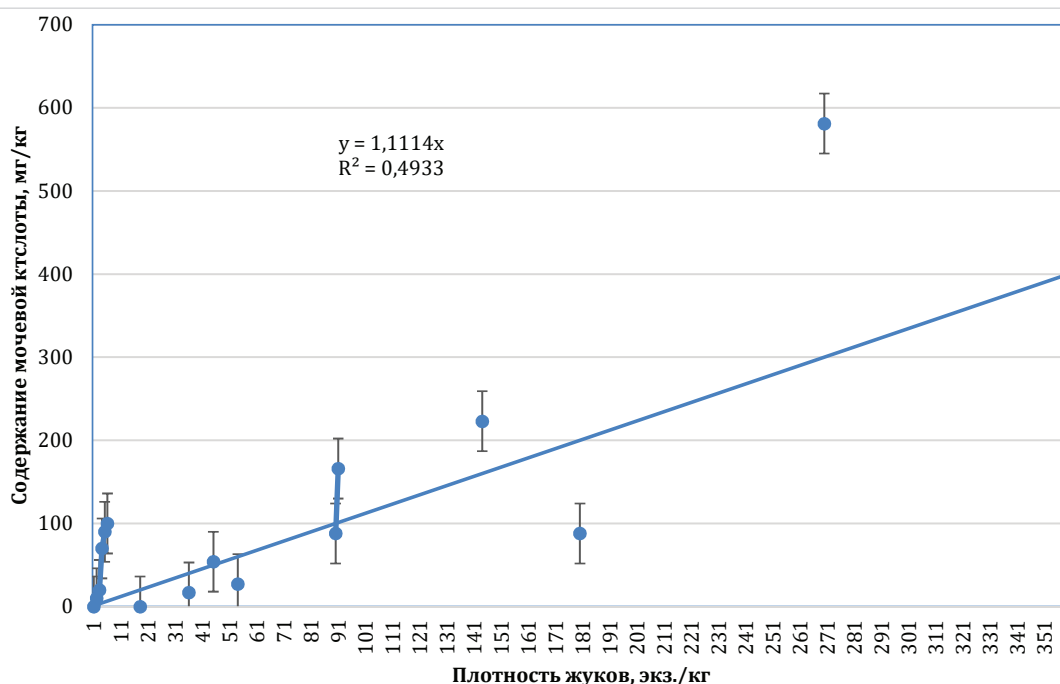


Рисунок 2. Зависимость содержания мочевой кислоты в зерне пшеницы с не отсеянной мучелью от плотности заселения его жуками *Rh. dominica*

Рисунок 2. Dependence of the uric acid content in wheat grain with "floury dust" (not sifted) on the *Rh. dominica* colonization density

Ранее мы показали, что связь между содержанием в зерне мочевой кислоты и плотностью заселения зерна жуками рисового долгоносика *S. oryzae* является тесной [13]. Вместе с тем результаты настоящих опытов с пораженным *Rh. dominica* зерном с не отсеянной мучелью, приведенные на Рисунке 2, показали слабую связь между этими двумя факторами. Наблюдаемое противоречивое явление можно объяснить особенностями питания жуков *Rh. dominica* с образованием мучели. В отличие от других вредителей зерна, жуки *Rh. dominica* являются самыми прожорливыми. По данным [15], за одни сутки один жук *S. oryzae* съедает 0,38 мг сухого вещества зерна пшеницы, а жук *Rh. dominica* перемалывает 0,89 мг сухого вещества зерновки пшеницы.

Взвешиванием мы установили, что от 500 г зерна, зараженного *Rh. dominica* с плотностью 340 жуков на 1 кг, было выделено 2 г мучели, что соответствует содержанию мучели 4 г на 1 кг зерна или 12 мг на одного жука за период питания 63 дня. Поэтому можно ориентировочно оценить, что один жук *Rh. dominica* за сутки оставляет около 0,19 мг мучели, что равно около 21% от количества съеденного им сухого вещества зерновки пшеницы.

Наш анализ показал, что мучель насыщена мочевой кислотой. Содержание мочевой кислоты в чистой мучели, выделенной из зараженного *Rh. dominica* зерна, равнялось 23 298 мг/кг, что составляет 2,3% от массы мучели.

Мучель самопроизвольно или под небольшими механическими воздействиями неравномерно распределялась по зерновой массе и в разные отбираемые навески попадала в непредсказуемом количестве. Поэтому в разных навесках нарушалось естественное соотношение количества жуков и производимое ими количество мучели, что наглядно отражено на Рисунке 2.

Причину этого мы видим в том, что при отборе навесок зерна на анализ в них не попадает одинаковое и представительное для партии количество мучели.

Полученные результаты и их анализ убеждают, что установить МДУ мочевой кислоты в зерне по соответствию МДУ загрязнения зерна зерновым точильщиком, как это можно было сделать в отношении рисового и амбарного долгоносиков, затруднительно или не возможно [13,16].

Надо заметить, что по «Правилам организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах» перед помолом зерно на мукомольных заводах подвергается тщательной очистке, в процессе которой, наравне с другими сорными примесями и пылью, удаляется и мучель. Поэтому при определении загрязненности мочевой кислотой зерна в помольных партиях, зараженного *Rh. dominica*, из него следует отсеивать мучель.

На Рисунке 3 приводим линию тренда зависимости количества мочевой кислоты в зерне с отсеянной мучелью от плотности заселения жуками *Rh. dominica*.

Можно видеть, что в зерне, зараженном *Rh. dominica*, после удаления мучели остается значительное количество мочевой кислоты. С увеличением плотности заселения зерна жуками количество в нем мочевой кислоты возрастает.

Эта зависимость описывается уравнением прямой линии с высоким коэффициентом детерминации, приближающимся к максимуму — единице. Приведенные на

Рисунке 3 данные о тесной связи плотности загрязнения зерна *Rh. dominica* с количеством в нем мочевой кислоты полностью совпадают с опубликованными данными в отношении другого вредителя зерна *S. oryzae* [7]. Это лучшее доказательство того, что наличие мочевой кислоты в зерне определяется одним фактором — загрязнением этого зерна насекомыми, являющимися продуцентами этой самой мочевой кислоты.

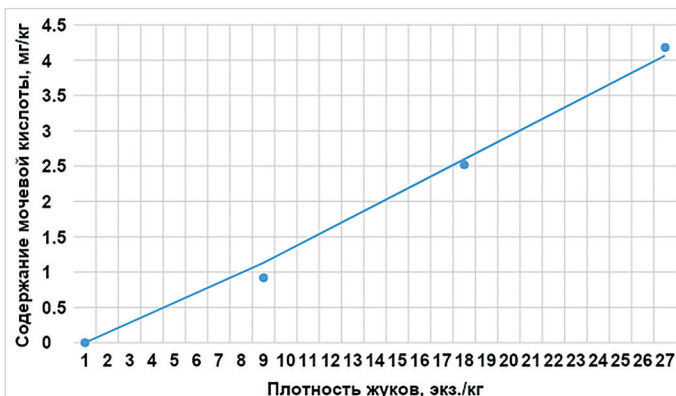


Рисунок 3. Зависимость содержания мочевой кислоты в зерне пшеницы с отсеянной мучелью от плотности заселения его жуками зернового точильщика

Figure 3. Dependence of the uric acid content in wheat grain, in which “floury dust” was sifted, on the *Rh. dominica* colonization density

Результаты наших исследований показывают, что, несмотря на большую прожорливость, зерновой точильщик формирует в зерне значительно меньше мочевой кислоты в сравнении с рисовым и амбарным долгоносиками.

4. Заключение

Результаты исследований убеждают в возможности установления максимально допустимого уровня мочевой кислоты в зерне, который соответствует разрешенным в России пределам загрязненности зерна вредителями хлебных запасов по их численности в продукте.

Мочевая кислота долго сохраняется в зерне. Ее невозможно удалить из продукта технологическими приемами, имеющимися на зерновых элеваторах, в частности сепарированием зерна на зерноочистительных машинах. Следовательно, возможность скрыть выпуск фальсифицированной зерновой продукции на рынок отсутствует: опасность продуктов питания можно легко проверить, с помощью анализа в них накопившейся мочевой кислоты.

Это обстоятельство представляет существенное преимущество перед традиционным способом определения загрязненности зерна вредителями по количеству в нем насекомых и клещей. Проведенные исследования по выявлению и описанию математической зависимости формирования мочевой кислоты в зерне от плотности заселения его зерновым точильщиком позволит оценить уровни загрязненности его насекомыми. Также появляется возможность исключить поставки населению некачественной первичной продукции, которая в последующем снижает качество вырабатываемых из такого зерна пищевых продуктов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лой, Н. Н., Губарева, О. С., Санжарова, Н. И., Гулина, С. Н., Шагина, Н. И., Миронова, М. П. (2016). Влияние ионизирующего излучения на жизнеспособность насекомых-вредителей, качество зерна и зернопродуктов. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*, 6, 53–55.
2. Закладной, Г. А. (2011). Зерно и насекомые. *Хлебопродукты*, (12), 57.
3. Joshi, R., Tiwari, S. N. (2019). Fumigant toxicity and repellent activity of some essential oils against stored grain pest *Rhyzopertha dominica* (Fabricius). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(4), 59–62.
4. Когтева, Е. Ф., Алешина, М. В. (2017). Проблемы от насекомых и клещей. *Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд*, 7(7), 140–146.
5. Epic Natural Health (2022). Uric Acid & Gout Symptoms | Which foods Reduce & Treat Uric Acid | Uric Acid Foods To Avoid. Retrieved from <https://www.epicnaturalhealth.com/uric-acid-gout-symptoms-which-foods-reduce-treat-uric-acid-uric-acid-foods-to-avoid>. Accessed May 16, 2022
6. Закладной, Г. А., Васильев, А. Н., Антонович, Е. А., Сыроед, Н. С. (1991). Регламентация вредных насекомых и клещей в зерне. *Хлебопродукты*, 4, 38–44.
7. Антонович, Е. А., Черковская, Х. Я., Закладной, Г. А., Киселева, Н. И., Сыроед, Н. С. (1987). Биохимическая и гигиеническая оценка зерна пшеницы, зараженного рисовым долгоносиком. *Труды ВНИИЗ*, 109, 93–99.
8. Banga, K. S., Kotwaliwale, N., Mohapatra, D., Giri, S. K. (2018). Techniques for insect detection in stored food grains: An overview. *Food Control*, 94, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.008>
9. Gao, F., Qi, Y., Hamadou, A. H., Zhang, J., Manzoor, M. F., Guo, Q. et al. (2022). Enhancing wheat-flour safety by detecting and controlling red flour beetle *tribolium castaneum* herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal Fur Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, <https://doi.org/10.1007/s00003-022-01371-3>
10. Chaitra, S., Prashanth, J., Jagadeeshkumar, T. S. (2020). Empirical analysis of uric acid in Malpighian tubules and dry excrements and economic traits of the silkworm hybrids. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(4), 929–935 <https://doi.org/10.22271/j.ento.2020.v8.i4o.7237>
11. Modgil, R., Devi, R., Sood, A., Sandal, A. (2021). Physico-chemical properties, uric acid, carbohydrates, mineral, trypsin inhibitor activity and phytic acid content of bruchids infested processed Chick pea. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(2), 1926–1934. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1002.230>
12. Subrahmanyam, V., Swaminathan, M., Pingale, S. V., Kadkol, S. B. (1955). Uric acid as an index of insect filth in cereals and milled cereal products. *Bulletin of Central Food Technological Research Institute*, 4(4), 86–87.
13. Zakladnoy, G. A., Yaitskikh, A. V. (2020). Dependence of uric acid content in stored grain on the population density of the rice weevil *sitophilus oryzae* (L.) (coleoptera, dryophthoridae). *Entomological Review*, 100(2), 170–172. <https://doi.org/10.1134/S0013873820020049>
14. Devi, R., Modgil, R., Sood, A. (2019). Effect of cooking on the proximate composition, uric acid content and anti-nutritional factors on insect Bruchid infested gram at graded levels of infestation. *International Journal of Microbiology and Current Research*, 1(1), 33–36. <https://doi.org/10.18689/ijmr-1000107>
15. Zakladnoy, G. A. (2016). Voracity of the main stored-product insect pests on wheat grain. *Entomological Review*, 96(1), 12–14. <https://doi.org/10.1134/S0013873816010024>
16. Закладной, Г. А., Яицких, А. В., Степаненко, Д. С. (2021). Ответственность зерновых долгоносиков в загрязнении зерна мочевой кислотой. *Хлебопродукты*, 9, 48–50. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-9-48-50>

REFERENCES

1. Loy, N. N., Gubareva, O. S., Sanzharova, N. I., Gulina, S. N., Shchagina, N. I., Mironova, M. P. (2016). The ionizing radiation effect on the vital capacity of pests and quality of grain and grain products. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*, 6, 53–55. (In Russian)
2. Zakladnoy, G. A. (2011). Grain and insects. *Bread Products*, 12, 57. (In Russian)
3. Joshi, R., Tiwari, S. N. (2019). Fumigant toxicity and repellent activity of some essential oils against stored grain pest *Rhyzopertha dominica* (Fabricius). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(4), 59–62.
4. Kogteva, E. F., Aleshina, M. V. (2017). Problems from insects and ticks. *Innovative Production and Storage Technologies for Public Needs*, 7(7), 140–146. (In Russian)
5. Epic Natural Health (2022). Uric Acid & Gout Symptoms | Which foods Reduce & Treat Uric Acid | Uric Acid Foods To Avoid. Retrieved from <https://www.epicnaturalhealth.com/uric-acid-gout-symptoms-which-foods-reduce-treat-uric-acid-uric-acid-foods-to-avoid>. Accessed May 16, 2022
6. Zakladnoy, G. A., Vasiliev, A. N., Antonovich, E. A., Syroed, N. S. (1991). Regulation of harmful insects and ticks in grains. *Bread Products*, 4, 38–44. (In Russian)
7. Antonovich, E. A., Cherkovskaya, H. Y., Zakladnoy, G. A., Kiseleva, N. I., Syroed, N. S. (1987). Biochemical and hygienic estimation of wheat grains contaminated with rice weevil. *Works by VNIIS*, 109, 93–99. (In Russian)
8. Banga, K. S., Kotwaliwale, N., Mohapatra, D., Giri, S. K. (2018). Techniques for insect detection in stored food grains: An overview. *Food Control*, 94, 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.008>
9. Gao, F., Qi, Y., Hamadou, A. H., Zhang, J., Manzoor, M. F., Guo, Q. et al. (2022). Enhancing wheat-flour safety by detecting and controlling red flour beetle *tribolium castaneum* herbst (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal Fur Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, <https://doi.org/10.1007/s00003-022-01371-3>
10. Chaitra, S., Prashanth, J., Jagadeeshkumar, T. S. (2020). Empirical analysis of uric acid in Malpighian tubules and dry excrements and economic traits of the silkworm hybrids. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(4), 929–935 <https://doi.org/10.22271/j.ento.2020.v8.i4o.7237>
11. Modgil, R., Devi, R., Sood, A., Sandal, A. (2021). Physico-chemical properties, uric acid, carbohydrates, mineral, trypsin inhibitor activity and phytic acid content of bruchids infested processed Chick pea. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(2), 1926–1934. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2021.1002.230>
12. Subrahmanyam, V., Swaminathan, M., Pingale, S. V., Kadkol, S. B. (1955). Uric acid as an index of insect filth in cereals and milled cereal products. *Bulletin of Central Food Technological Research Institute*, 4(4), 86–87.
13. Zakladnoy, G. A., Yaitskikh, A. V. (2020). Dependence of uric acid content in stored grain on the population density of the rice weevil *sitophilus oryzae* (L.) (coleoptera, dryophthoridae). *Entomological Review*, 100(2), 170–172. <https://doi.org/10.1134/S0013873820020049>
14. Devi, R., Modgil, R., Sood, A. (2019). Effect of cooking on the proximate composition, uric acid content and anti-nutritional factors on insect Bruchid infested gram at graded levels of infestation. *International Journal of Microbiology and Current Research*, 1(1), 33–36. <https://doi.org/10.18689/ijmr-1000107>
15. Zakladnoy, G. A. (2016). Voracity of the main stored-product insect pests on wheat grain. *Entomological Review*, 96(1), 12–14. <https://doi.org/10.1134/S0013873816010024>
16. Zakladnoy, G. A., Yaitskikh, A. V., Stepanenko, D. S. (2021). Responsibility of grain weevils in the contamination of grain with uric acid. *Bread Products*, 9, 48–50. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-9-48-50> (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Закладной Геннадий Алексеевич — доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, сектор защиты от вредителей и санитарной охраны зерна и зернопродуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, г. Москва, Дмитровское ш., 11 Тел.: +7-499-976-20-95 E-mail: vlaza@list.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2037-7150 * автор для контактов	Gennady A. Zakladnoy, Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Sector of Protection against Pests and Sanitary Protection of Grain and Grain Products, All-Russian Scientific-Research Institute of Grain and its Processing Products 11, Dmitrovskoe shosse, 127434, Moscow, Russia Tel.: +7-499-976-20-95 E-mail: vlaza@list.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2037-7150 * corresponding author
Яицких Артем Валерьевич — кандидат технических наук, научный сотрудник, Отдел безопасности и качества зерна и зернопродуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, г. Москва, Дмитровское ш., 11 Тел.: +7-499-976-22-06 E-mail: microbiolab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1302-0951	Artem V. Yaitskikh, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Department of Safety and Quality of Grain and Grain Products, All-Russian Scientific Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoe shosse, 127434, Moscow, Russia Tel.: + 7-499-976-22-06 E-mail: microbiolab@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1302-0951
Степаненко Дмитрий Сергеевич — младший научный сотрудник, Отдел безопасности и качества зерна и зернопродуктов, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, г. Москва, Дмитровское ш., 11 Тел.: +7-499-976-22-06 E-mail: ark310@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2915-2262	Dmitry S. Stepanenko, Junior Researcher Department of Safety and Quality of Grain and Grain Products, All-Russian Scientific Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoe shosse, 127434, Moscow Tel.: +7-499-976-22-06 E-mail: ark310@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2915-2262
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-145-156>

Поступила 16.05.2022

Поступила после рецензирования 01.06.2022

Принята в печать 07.06.2022

© Кузьмина Е. И., Егорова О. С., Акбулатова Д. Р., Свиридов Д. А., Ганин М. Ю., Шилкин А. А., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

НОВЫЕ ВИДЫ САХАРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Кузьмина Е. И., Егорова О. С.*, Акбулатова Д. Р.,
Свиридов Д. А., Ганин М. Ю., Шилкин А. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной,
безалкогольной и винодельческой промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

заменители сахара,
коэффициент сладости,
калорийные сахарозаменители,
сахаросодержащее сырье,
сахароза, крахмальные патоки,
глюкозо-фруктозные сиропы,
сиропы из топинамбура
и цикория, сироп агавы,
сироп из якона, сироп сорго,
рисовый сироп

АННОТАЦИЯ

Общемировая концепция осознанного потребления и здорового образа жизни оказывает влияние на развитие пищевой индустрии. Как следствие, в последние несколько десятилетий увеличивается выпуск заменителей сахара, ведется поиск и создаются новые подслащивающие вещества. В настоящей статье представлен обзор отечественных и зарубежных работ, посвященных применению сахарозаменителей в различных отраслях пищевой промышленности. Приведены сведения о новых видах заменителей сахара из природного крахмалсодержащего сырья и их свойствах. Описана возможность замены кристаллического сахара на сахарозаменители в пищевом производстве, продемонстрировано их влияние на физико-химические, сенсорные и органолептические свойства продуктов питания и напитков. Развитие технологий способствует расширению ассортимента уже известных и широко используемых калорийных сахарозаменителей из крахмалсодержащего сырья, характеризующихся различным углеводным составом и свойствами. Отмечено, что за рубежом среди довольно большого количества сахарозаменителей, применяемых в пищевой промышленности, к одним из наиболее перспективных относят глюкозно-фруктозные сиропы. Они являются полноценными заменителями сахарозы и обладают рядом преимуществ. Доля глюкозно-фруктозных сиропов в общем объеме потребления сахарных сиропов ежегодно увеличивается во всем мире. Основным сырьем для производства ГФС в США служит кукурузный крахмал, в странах СНГ используют в том числе крахмал, получаемый из пшеницы и картофеля. Особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение и разработку биопроцессов, обеспечивающих производство конкурентоспособных ферментативных ГФС и других подслащивающих сиропов из альтернативных источников. Приведены сведения о разработках инновационных технологий получения сахарных сиропов из топинамбура и цикория, агавы, якона, сорго и риса. Описаны результаты исследований свойств данных сиропов и их влияние на физические и сенсорные, реологические и микроструктурные свойства продуктов, в технологии которых применялись данные сиропы. Благодаря различному углеводному составу, а также физико-химическим свойствам (степень гигроскопичности, антикристаллизационные свойства, уровень сладости, гликемический индекс и т. п.), сахарозаменители приобретают все большую популярность у производителей и потребителей и могут применяться в производстве продуктов питания и напитков как более технологичная замена кристаллического сахара.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022-0012 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 16.05.2022

Accepted for revised 01.06.2022

Accepted for publication 07.06.2022

© Kuzmina E. I., Egorova O. S., Akbulatova D. R., Sviridov D. A., Ganin M. Yu., Shilkin A. A., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

NEW TYPES OF SUGAR-CONTAINING RAW MATERIALS FOR FOOD PRODUCTION

Elena I. Kuzmina, Olesya S. Egorova*, Dilyara R. Akbulatova,
Dmitriy A. Sviridov, Mikhail Yu. Ganin, Aleksey A. Shilkin

All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:

sugar substitutes, sweetness
coefficient, high-calorie
sweeteners, sugar-containing raw
materials, sucrose, starch syrups,
glucose-fructose syrups, Jerusalem
artichoke and chicory syrups,
agave syrup, yacon syrup,
sorghum syrup, rice syrup

ABSTRACT

The global concept of conscious consumption and healthy life-style affects the development of the food industry. As a consequence, over the last several decades, a production of sugar substitutes has been increased, a search for and creation of new sweetening substances have been carried out. The paper presents a review of the domestic and foreign studies devoted to the use of sugar substitutes in various branches of the food industry. The information about new types of sugar substitutes from natural starch-containing raw materials and their properties is given. A possibility of replacing crystalline sugar with sugar substitutes in food production is described, their effect on the physico-chemical, sensory and organoleptic properties of foods and beverages is demonstrated. The development of the technologies facilitates an extension of the range of well-known and widely used high-calorie sugar substitutes from starch-containing raw materials, characterized by different carbohydrate composition and properties. It has been noted that out of quite a large number of sugar substitutes applied in the food industry abroad, glucose-fructose syrups (GFS) are among most promising. They are full-value sucrose substitutes and

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кузьмина, Е. И., Егорова, О. С., Акбулатова, Д. Р., Свиридов, Д. А., Ганин, М. Ю., Шилкин, А. А. (2022). Новые виды сахаросодержащего сырья для производства пищевой продукции. *Пищевые системы*, 5(2), 145-156. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-145-156>

FOR CITATION: Kuzmina, E. I., Egorova, O. S., Akbulatova, D. R., Sviridov, D. A., Ganin, M. Yu., Shilkin, A. A. (2022). New types of sugar-containing raw materials for food production. *Food systems*, 5(2), 145-156. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-145-156>

have several advantages. A proportion of GFS in the total volume of sugar syrup consumption is increasing worldwide every year. The main raw material for production of GFS in the USA is corn starch; in the CIS countries, starch obtained from wheat and potato is also used. Studies aimed to investigation and development of bioprocesses that ensure production of competitive enzymatic GFS and other sweetening syrups from alternative sources are gaining in importance. The information is presented about the development of the innovative technologies for production of sugar syrups from Jerusalem artichoke and chicory, agave, yacon, sorghum and rice. The results of the study of properties of these syrups and their effect on the physical and sensory, rheological and microstructural properties of products, in which technologies these syrups were used, are described. Due to the different carbohydrate composition, as well as physico-chemical properties (a degree of hygroscopicity, anti-crystallization properties, a level of sweetness, glycemic index and so on), sugar substitutes acquire increasing popularity among producers and consumers, and can be used in food and beverage manufacturing as a more technological replacement of crystalline sugar.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS-2022–0012 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Человек ежедневно употребляет в пищу в чистом виде или в составе напитков и продуктов питания различные сахаросодержащие продукты. Плоды, соки и мед — первые природные сладкие вещества, известные человечеству. Примерно с IX века н. э. в Европе началась эпоха сахара — самого распространенного, важного и универсального пищевого ингредиента, который, помимо обеспечения сладкого вкуса, выполняет множество функций. Сахар используют в качестве консерванта благодаря тому, что он ингибирует рост микроорганизмов; в хлебобулочных и кондитерских изделиях его применяют с целью удержания влаги; в консервированных фруктах и овощах — для усиления текстуры и цвета; в замороженных сладких смесях — для предотвращения образования крупных кристаллов льда [1–3]. При добавлении сахара к напиткам обеспечивается как сладость, так и ощущение вкуса, тело.

Сахара также играют важную роль при производстве продукции пивоваренной и винодельческой отраслей. Для изготовления плодовой алкогольной продукции соки разбавляют питьевой водой с целью понижения кислотности, а для увеличения сахаристости добавляют сахаросодержащие продукты. Соки большинства плодовых и ягодных культур содержат избыточное количество кислот при невысоком содержании сахаров [4].

При использовании кристаллического сахара в пищевом производстве зачастую возникает ряд проблем: микробиологические загрязнения, нестабильное качество, колебания значений различных характеристик продукта в зависимости от производителя, высокая стоимость и сезонный скачок цен в летний период. В связи с этим производители пищевых продуктов постоянно находятся в поиске альтернативного сырья, более стабильного по качеству и характеризующегося более низкой стоимостью. [2, 5–12].

Актуальные во всем мире идеи осознанного потребления и рационального подхода к своему здоровью влияют на развитие индустрии пищевых продуктов и охватывают все сегменты рынка, включая напитки, от безалкогольных до крепких спиртных. Как следствие, в последние несколько десятилетий увеличивается выпуск заменителей сахара, ведется поиск новых, безвредных для человека подслащающих веществ.

Существуют различные классификации сладких веществ: по происхождению (натуральные и искусственные), по степени сладости (с высоким и низким сахарным эквивалентом), по калорийности (высококалорийные, низкокалорийные, некалорийные), по химическому строению и др. На сегодняшний день известно большое число разнообразных природных (моносахариды, олигосахариды, гидролизаты крахмала, полиолы и т. п.) и синтетических веществ (ацесульфам калия, аспартам, цикламат, сахарин, сукралоза

и т. п.), обладающих сладким вкусом [1, 13–15]. Однако термин «сахар» подразумевает под собой только сахарозу, которая служит стандартом сладости вкуса, все остальные вещества, характеризующиеся сладким вкусом, называют заменителями сахара. В свою очередь, заменители сахара подразделяют на сахарозаменители и подсластители (Таблица 1). Различия их заключаются в том, что сахарозаменители обладают сладким вкусом и энергетической ценностью, близкими к сахарозе, и метаболизируются в организме с меньшей потребностью в инсулине, чем сахароза. Подсластители имеют либо нулевую калорийность, либо очень низкую, метаболизируются без участия инсулина, по вкусу слаще сахарозы и сахарозаменителей в сотни раз.

Таблица 1. Калорийность и сладость некоторых видов заменителей сахара

Table 1. Caloricity and sweetness of some types of sugar substitutes

Наименование заменителя сахара	Энергетическая ценность, кКал	Коэффициент сладости (сладость, эквивалентная сахарозе)
Сахароза	3,95	1,0
Сахарозаменители		
Глюкоза	3,86	0,74
Фруктоза	3,99	1,2–1,8
Моносахариды		
Мальтоза	3,62	0,23
Лактоза	2,0–4,0	0,16
Крахмальные сиропы и патоки		
Глюкозо-фруктозный сироп	2,8–3,2	1,3
Карамельная патока	3,2	0,42
Мальтозная патока	3,2	0,42
Высокосахаренная патока	3,2	0,6
Низкосахаренная патока	3,2	0,3
Сахарные спирты		
Ксилит	3,7	0,7–1,0
Сорбит	3,5	0,3–0,6
Маннит	3,8	0,6
Эритрит	0,2	0,7
Подсластители		
Сукралоза	2,7–3,4	600
Аспартам	3,7–4,0	160–200
Сахарин	0	300–500
Цикламат	0	30–50
Ацесульфам К	0	200
Стевиозид	0,1	150–300
Тауматин	0	2000

Подсластители и заменители сахара все больше входят в нашу жизнь. В последние десятилетия отмечается интенсивный рост производства заменителей сахара. При общемировом объеме производства сахара около 130 млн т общая выработка заменителей сахара составляет до 15–20 млн т сахарного эквивалента, что, в свою очередь, приводит к снижению потребления сахарозы в чистом виде [3,14–17].

2. Сахарозаменители

2.1. Крахмальные патоки

В различных отраслях пищевой промышленности широкое распространение получили калорийные сахарозаменители из крахмалосодержащего сырья: различные виды крахмальной патоки, фруктоза, мальтоза, глюкозно-фруктозные сиропы [13,18,19].

Крахмальная патока — очищенный и концентрированный сироп различного углеводного состава, полученный при частичном гидролизе крахмала. Этот продукт одобрен для применения в пищевой промышленности в качестве сахарозаменителя в рецептурах различных продуктов питания, так как считается абсолютно безопасным для здоровья человека. Полная или частичная замена сахарозы крахмальными патоками способствует: снижению калорийности продукта, предотвращению кристаллизации сахара; понижению температуры замерзания молочных продуктов; улучшению вкуса и аромата; повышению влагоудерживающих свойств; увеличению срока годности; приданию готовому продукту дополнительных полезных свойств. Благодаря высокой сбраживающей и консервирующей способности, крахмальная патока используется в консервной промышленности, виноделии и пивоварении [20].

До недавнего времени отечественная пищевая промышленность производила только один вид крахмальной патоки — карамельную. На сегодняшний день современные технологии позволяют изготавливать крахмальную патоку четырех видов, в зависимости от процентного содержания углеводов: низкосахаренная (глюкозный эквивалент 26–35%), карамельная (глюкозный эквивалент 36–44%), высокосахаренная (глюкозный эквивалент 44% и более), мальтозная (доля мальтозы в углеводном составе — 38% и более) [21].

Разные виды патоки отличаются друг от друга по свойствам, соответственно, для разных продуктов питания может подойти не каждый вид патоки.

Низкосахаренные крахмальные патоки характеризуются высокой вязкостью, связующим и антикристаллизационным действием.

При производстве аэрированных кондитерских изделий (зефир, пастила) применение низкосахаренных патонок способствует улучшению структуры продукта за счет стабилизации пены и низкой гигроскопичности [20].

Сравнительная оценка таких показателей качества карамели, как растекаемость и гигроскопичность, показала, что благодаря низкому содержанию глюкозы, коэффициент растекания карамели, приготовленной на низкосахаренной патоке, был меньше, чем у образцов карамели на инвертном сиропе. Также учеными было установлено, что низкосахаренная патока является антикристаллизатором и ее использование в карамельном производстве обеспечивает повышение стойкости продукции в процессе хранения против намокания [22].

В результате исследований свойств фруктовых начинок для карамели без сахара было установлено, что замена сахара-песка на низкосахаренную патоку позволяет продлить срок годности карамели, улучшить ее вкусовые свойства, снизить сахароемкость и энергетическую ценность. Использование патоки способствует увеличению содержания

редуцирующих веществ до 40%, что, в свою очередь, помогает избежать засахаривания начинки при ее хранении [23].

Высокое содержание декстринов в низкосахаренной патоке обуславливает получение желейного мармелада с высокими вязкостными свойствами. В том числе использование низкосахаренной патоки взамен сахара в рецептуре желейного мармелада позволяет отнести его к продуктам диетической направленности благодаря меньшему количеству углеводов и большему количеству полисахаридов [24].

Карамельные патоки — наиболее распространенный и широко применяемый вид патонок. Используются в основном в кондитерской промышленности: при производстве карамели и леденцов в качестве антикристаллизатора; при производстве ириса, помадки, халвы, шоколадных батончиков, мармелада, пастилы с целью улучшения жевательных свойств, а также цвета и вкуса благодаря реакции с молочными белками (реакция Майяра); при изготовлении мороженого для регулирования кристаллизации лактозы, с целью улучшения структуры, формы и вкуса продукта [20].

Исследования скорости процессов влагопереноса при хранении желейного мармелада показали существенное влияние количества используемой карамельной патоки на прочностные характеристики, текстуру и активность воды желейного мармелада. Кондратьев Н. Б. и соавторы [25] установили, что увеличение массовой доли патоки от 5,0 до 25,0% в составе жевательного мармелада приводит к увеличению скорости процесса влагопереноса приблизительно в два раза, при этом активность воды изделий практически не изменяется.

В процессе исследований влияния замены сахара патокой различных видов в рецептуре желейного мармелада авторами было отмечено, что образец мармелада, изготовленный на основе карамельной патоки, обладает наибольшей интенсивностью окраски по сравнению с образцами мармелада, произведенных с использованием сахара, высокосахаренной и низкосахаренной патоки [24].

Мальтозные патоки имеют ту же сладость, что и обычные карамельные, но они менее гигроскопичны за счет меньшего содержания глюкозы (до 10%). С внедрением современных технологий наметилась тенденция использования мальтозных патонок в карамельном производстве взамен традиционных патонок кислотного гидролиза. Низкий уровень содержания глюкозы в мальтозных патоках уменьшает потемнение высокотемпературной карамели, что особенно важно для производства прозрачных изделий. В качестве улучшителя при производстве хлеба и других выпечных изделий мальтозная патока способствует повышению эластичности и пористости мякиша, улучшению вкуса и аромата, выпечка дольше остается свежей. При консервации варенья, джемов и повидла мальтозная патока обеспечивает повышение вязкости готового продукта, улучшение вкуса; при производстве конфет, карамели, желе, пастилы, мармелада — предотвращение кристаллизации сахара, улучшение вкуса и цвета продукции. В пивоварении использование мальтозных патонок способствует интенсификации брожения благодаря составу, близкому к составу пивного сусла; также патоки применяются в качестве замены солода и несоложенных материалов [20,26,27].

Мальтоза не вызывает резкого повышения уровня сахара в крови, поэтому использование патоки с высоким содержанием мальтозы позволяет создавать рецептуры различных продуктов питания и напитков с пониженной сладостью, что особенно актуально для людей с сахарным диабетом.

Высокосахаренные патоки обладают чистым, сладким вкусом ввиду специфичности своего углеводного состава (общее содержание редуцирующих веществ составляет

55–65%, соотношение глюкозы и мальтозы находится на уровне 30–40%). Такие патоки теряют антикристаллизационные свойства и характеризуются повышенной сладостью, сбраживаемостью, гигроскопичностью. Высокосахаренная патока в своем составе содержит в 3 раза меньше крупномолекулярных декстринов, чем обычная карамельная патока, благодаря чему обладает меньшей вязкостью. Использование высокосахаренной патоки при производстве джемов и начинок обеспечивает стабильность продукта за счет более низкого осмотического давления по сравнению с сахарозой, способствует предотвращению кристаллизации продукта, улучшению вкуса за счет снижения сладости и усиления фруктовых нот. Благодаря обеспечению дополнительного удерживания влаги, улучшению цвета и вкуса продукта за счет высокого количества сбраживаемых сахаров, частично-го сглаживания вкуса сахарозаменителей, сахарозу заменяют высокосахаренными патоками при производстве хлеба типа «Бородинский», фруктовых пирогов и бисквитов, засахаренных фруктов, кваса и пива, безалкогольных напитков, ликероводочных изделий [20,28].

При изготовлении помадных конфет, изделий с пенообразной структурой (пастилы, зефира) высокосахаренные патоки оказывают положительное влияние на вязкость, пластичность продукции.

Кремовая кондитерская масса, в состав которой входит высокосахаренная крахмальная патока, характеризуется наилучшей кремообразующей способностью и более нежной консистенцией, чем масса на сахарной пудре. При использовании сухой высокосахаренной патоки за счет ее высокой дисперсности и аморфизированной структуры происходит более интенсивное структурообразование кремовой массы [29].

2.2. Фруктоза

Фруктоза — наиболее сладкий сахарозаменитель, один из самых распространенных в природе сахаров, который содержится в меде, ягодах и фруктах. Фруктоза придает много полезных физических и функциональных свойств продуктам питания и напиткам, включая сладость, улучшение вкуса, развитие цвета и вкуса, снижение температуры замерзания и осмотическую стабильность. В смеси с другими синтетическими подсластителями фруктоза способна к синергизму, что позволяет создавать пищевые добавки высокой степенью сладости. Широко используется в газированных напитках, хлебобулочных изделиях, фруктовых консервах, джемах и желе, а также в молочных продуктах [1].

Необходимость разработки технологий кондитерских изделий с низким гликемическим индексом и оптимизации существующих рецептур с целью снижения в них легкоусвояемых углеводов, повышения биологической и физиологической ценности продукции, вызвана обеспокоенностью современных потребителей. Высокая калорийность кондитерских изделий может оказывать негативное воздействие на организм человека, сопровождающееся нарушениями углеводного и липидного обмена, развитием ожирения и сахарного диабета. Применение сахарозаменителей и подсластителей, которые не содержат калорий или состоят из углеводов с низким гликемическим индексом, является актуальным направлением разработок в области кондитерского производства.

При выборе фруктозы в качестве заменителя сахара в рецептуре вафель Попова Н. Н. и соавторы [30] руководствовались информацией о ее воздействии на гликемическую реакцию организма, калорийности, гигроскопичности и степени сладости. В результате проведенных исследований было установлено, что при введении фруктозы взамен

сахара в количестве 45–55% сохраняется качество вафель, они практически не отличаются по калорийности от образца на сахаре-песке, но при этом уровень глюкозы в крови после их употребления ниже на 20%.

Глубокое понимание применимости альтернативных подсластителей и углеводных полимеров в качестве ингредиентов при производстве шоколада без сахара имеет важное промышленное применение. Шоколад, не содержащий в своем составе сахарозу, подходит для спортсменов и людей, страдающих сахарным диабетом, не способствует излишнему отложению жиров в организме, не разрушает зубную эмаль, обладает низким гликемическим индексом. Aidoo R. P. с соавторами [31] было выявлено, что фруктоза способствует повышению твердости шоколадных конфет и шоколада.

Изучение основных физико-химических и технологических свойств фруктозы, выявление ее основных отличий от сахарозы и особенностей поведения в различных технологических операциях позволило Медведевой М. И. с соавторами [32] разработать технологию традиционного по внешнему виду и органолептическим показателям безе, обладающего пониженной энергетической ценностью, диетическими и диабетическими свойствами в результате замены сахарозы на фруктозу.

На основании исследований влияния сахарозаменителей (меда, ксилита, фруктозы и различных комбинаций фруктозы и ксилита) на физико-химические и органолептические показатели образцов кваса была рекомендована рецептура приготовления напитка брожения с заменой сахара на фруктозу и ксилит в соотношении 50/50, благодаря которой был получен образец с высокими органолептическими характеристиками и повышенной стойкостью [33].

2.3. Мальтоза

Мальтоза — солодовый сахар, природный дисахарид, молекула которого содержит два остатка D-глюкозы, причем один находится в фиксированной α -форме. Содержится в проросших зернах ячменя, ржи и некоторых других зерновых, в небольших количествах встречается в томатах, апельсинах, меде, дрожжах. Получают мальтозу при ферментативной переработке крахмала, используют в производстве вина и пива [13]. В кристаллическом состоянии мальтоза получена как в α -, так и β -форме. Мальтоза характеризуется менее сладким вкусом по сравнению с сахарозой, глюкозой и фруктозой. Ее часто используют в производстве продуктов для диетического питания: мюсли, хлебцы, питательные батончики, растворимые напитки [34]. Кроме того, мальтоза рекомендуется для производства продуктов детского питания, так как она менее аллергенна, чем глюкоза и сахароза.

Использование мальтозы замедляет черствение хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, улучшает структуру и внешний вид выпечки, стабилизирует натуральный цвет фруктов и может препятствовать кристаллизации сахарозы.

2.4. Сиропы

Глюкозно-фруктозный сироп (ГФС) — продукт, который получают путем изомеризации части D-глюкозы крахмала в D-фруктозу. Продукт состоит в основном из фруктозы и глюкозы, поэтому по сладости и питательной ценности равноценен сахарозе [35, 36].

ГФС производится на основе природного зернового сырья путем выделения крахмальной фракции, проходящей затем стадию ферментного или кислотного осахаривания. Процесс осахаривания можно контролировать и направлять, получая желаемый углеводный состав готового продукта.

При производстве ГФС удается достигнуть соотношения моносахаридов, практически идентичного составу пчелиного меда: 58–66% глюкозы, 42–44% фруктозы.

За рубежом среди довольно большого количества сахарозаменителей, применяемых в пищевой промышленности, глюкозно-фруктозный сироп оказался одним из наиболее перспективных. Этот продукт широко признан на мировом рынке, так как по своим свойствам (сладость, пищевая ценность и др.) он конкурирует со свекловичным и тростниковым сахаром. Особое внимание уделяют глюкозно-фруктозным сиропам (ГФС) с высоким содержанием фруктозы (ВФС), которые по своим физико-химическим свойствам наиболее приближены к сахару и могут напрямую его заменять в различных категориях продуктов питания и напитков [3,6,7,10,28,37–41]. В России эти сиропы известны как глюкозно-фруктозный сироп, кукурузный сироп, высокофруктозный зерновой сироп и т. д.

В США, где ГФС получил наиболее широкое распространение, сироп используется в качестве сахарозаменителя в продуктах питания (йогурты, мучные кондитерские изделия, салатные заправки и т. д.) и напитках (безалкогольные напитки, соки) [38,39,42]. Глюкозно-фруктозные сиропы являются не только полноценными заменителями сахарозы, но и имеют ряд преимуществ — более низкую (на 10–40%) стоимость, быструю усвояемость организмом; их применение позволяет на 1/3 снизить калорийность разнообразных пищевых продуктов и напитков. Производство глюкозно-фруктозных сиропов в промышленно развитых странах достигает огромных размеров. При этом наиболее важным для пищевой промышленности США является сироп с высоким содержанием фруктозы (ВФС), он имеет обозначения «Общепризнанный безопасный» (GRAS) и «натуральный» от Управления по контролю за продуктами питания и лекарствами США [37].

В России до недавнего времени ассортимент выпускаемых промышленностью сахаристых продуктов практически был ограничен кристаллической сахарозой и крахмальной патокой. Конкурентная борьба в условиях рыночных отношений вынуждает промышленные предприятия расширять ассортимент производимых товаров с целью снижения зависимости от конъюнктуры рынка монопольного продукта [43]. Одним из способов диверсифицировать производство сахаристых продуктов может являться выпуск высокофруктозных сиропов (ВФС) из инвертного и других видов глюкозно-фруктозных сиропов (ГФС), а также чистой фруктозы, которые широко применяются за рубежом в качестве заменителей сахара. Высокую скорость развития рынка ГФС определяют в первую очередь его преимущества и усилия новых производителей по продвижению своей продукции, а также положительное влияние оказывают периоды роста цен на сахар. С начала 2020 года рост цен на сахар является одним из основных факторов развития рынка сахарных сиропов. По итогам 2021 года на фоне растущих цен на сахар ожидается высокий прирост производства сахарных сиропов. При этом прогнозируется рекордный рост спроса на ГФС [44].

Рынок сахарных сиропов в РФ продолжает активно развиваться — их использование в производстве пищевой продукции более технологично и обходится дешевле сахара. ГФС как более функциональный ингредиент вытесняет не только сахар, но и частично патоки. Доля глюкозно-фруктозных сиропов в общем объеме потребления сахарных сиропов ежегодно увеличивается [45]. В производстве напитков, кондитерских и хлебобулочных изделий, продуктов переработки фруктов и ягод, йогуртов, мороженого и других продуктов питания сахарные сиропы постепенно заменяют

сахар [10,28,40,41,46–49]. ВФС придают продуктам приятный мягкий вкус благодаря содержанию фруктозы, имеют сладость, близкую к сладости сахарозы и широко применяются в производстве безалкогольных напитков, молочных продуктов, консервированных фруктов и продуктов профилактического назначения. Это связано с тем, что высокофруктозные сиропы можно использовать вместо сахарозы без существенных изменений в рецептуре [37,40,50,51].

Главная функция глюкозно-фруктозного сиропа при производстве продуктов питания и напитков — замена сахара. Помимо сохранения профиля сладости, почти всегда ГФС способствует улучшению потребительских характеристик продукта — аромата, вкуса, срока хранения продукта. Глюкозно-фруктозные сиропы с содержанием фруктозы 55% имеют повышенную сладость, не кристаллизуются при повышенной плотности (75%), что особенно важно для их промышленного использования.

В США ГФС производят из кукурузы, в странах СНГ в качестве основного сырья используют в том числе крахмал, получаемый из пшеницы и картофеля [3,37,38,42,52]. Путем ферментативного гидролиза крахмал в крахмалосодержащем сырье поэтапно превращается вначале в глюкозу, а затем в смесь глюкозы и фруктозы. Процесс может быть прекращен на разных стадиях, что позволяет получать глюкозно-фруктозные сиропы с различным соотношением глюкозы и фруктозы. В соответствии с международной классификацией производители различают несколько марок глюкозно-фруктозных сиропов в зависимости от содержания фруктозы: ГФС 1-го поколения (HFCS42) — 40–42% фруктозы; обогащенный ГФС 2-го поколения (HFCS55) — 55–60%; высокофруктозный сироп 3-го поколения (HFCS90) — 90–95%. В том числе в России осуществляется производство такой разновидности глюкозно-фруктозных сиропов, как фруктозный концентрат из пшеницы (ГФС-70), содержание фруктозы в котором составляет не менее 70,0%, глюкозы — не более 30,0%, других сахаров — не более 5,0%. ГФС-70 получают из пшеничного крахмала посредством ферментативного гидролиза.

Глюкозно-фруктозные сиропы могут использоваться практически во всех сферах пищевой промышленности. В Таблице 2 представлена возможность применения наиболее распространенных натуральных подсластителей, в том числе ГФС, в основных пищевых сегментах [21].

В статье [40] показано влияние различных концентраций кукурузного сиропа с содержанием фруктозы 28%, 44% и 55% на текстурные свойства печенья. Результаты исследований не показали существенных различий в содержании влаги, жиров, белков и золы в образцах печенья на кукурузном сиропе и в образцах на инвертном сахаре и сахарозе. При этом анализ дополнительных показателей качества печенья (твердости, микроструктуры и цвета изделий, содержания гидроксиметилфурфурола, активности воды) позволил авторам рекомендовать сироп с содержанием фруктозы 42% в качестве альтернативы для замены сахарозы в рецептуре печенья.

Авторами [47] была предложена рецептура кваса диетического назначения с привлекательными органолептическими свойствами. Выбор ГФС в качестве замены сахара был обусловлен его диетическими свойствами, низкими аллергенными свойствами, высокой технологичностью, а также доступностью использования для питания дрожжей.

Рядом российских ученых были разработаны и экспериментально обоснованы композиционные составы мороженого функциональной направленности без сахарозы с низким содержанием жира и низким гликемическим индексом. В результате полной замены сахарозы на глюкозно-фрук-

тозный сироп гликемический индекс продукта был снижен в 1,5–1,8 раза, в том числе были отмечены: положительная тенденция к увеличению динамической вязкости смеси и устойчивости к таянию; формирование кристаллов льда и воздушных пузырьков с высокой дисперсностью; высокая способность смеси к насыщению воздухом; снижение криоскопической температуры смеси [10,48].

Таблица 2. Применение сахарозаменителей в различных отраслях пищевой промышленности [21]
Table 2. Use of sugar substitutes in various branches of the food industry [21]

Продукция	Сахарозаменитель			
	Фруктоза кристаллическая	Глюкоза кристаллическая	Кукурузные сиропы (патоки)	Глюкозно-фруктозный сироп
Хлебобулочные изделия				
— хлеб	+	+	–	+
— торты/пирожные	+	+	–	+
— выпечка	+	+	+	+
— снеки	+	+	+	+
— хлопья/мюсли	+	+	+	+
Продукты для здорового питания/диетические				
— питательные батончики	+	–	+	+
— напитки	+	–	+	+
— молочные продукты	–	–	+	+
— аналоги мяса	–	–	–	–
Напитки				
— функциональные	+	+	+	+
— безалкогольные	+	+	–	+
— соки	+	–	–	+
— быстрорастворимые	+	+	+	–
— алкогольные	+	+	–	+
Молочные продукты				
— кисломолочные продукты	+	+	+	+
— молоко	+	–	+	+
— сыр	–	–	–	–
— мороженое	+	–	+	+
Кондитерские изделия				
— шоколад/шоколадные покрытия	+	+	+	–
— конфеты	+	+	+	–
— джемы/ желе	–	+	+	–
— консервы плодово-ягодные	–	+	+	+

В настоящее время растущий спрос на кукурузный крахмал, основной субстрат для производства ГФС, привел к увеличению его стоимости. Таким образом, особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение и разработку биопроцессов, обеспечивающих производство конкурентоспособных ферментативных ГФС и других подслащающих сиропов из альтернативных источников (топинамбура, цикория, агавы, якона, риса и др.) [8,53–60]. Данные сиропы приобретают все большую популярность у производителей и потребителей в качестве здоровой замены сахара.

Сиропы из топинамбура и цикория. Инулин — растительный полисахарид фруктанового типа, широко распространенный в природе. Благодаря своим универсальным физико-химическим свойствам и физиологическим функциям, инулин широко применяется в пищевой, фармацевтической

и многих других областях. Обладает уникальными физиологическими свойствами: улучшает работу пищеварительной системы человека, способствует росту полезной микрофлоры кишечника, а также повышению иммунитета, улучшает усвоение кальция, магния, снижает уровень холестерина [61–63]. Основными источниками этого инновационного пищевого ингредиента являются корнеплоды топинамбура и цикория. Инулин относят к достаточно дешевому и доступному сырью для получения фруктозы и фруктозосодержащих продуктов, таких как фруктозо-глюкозные сиропы с высоким содержанием фруктозы.

Филатов С. Л. и соавторы [60] предложили и в производственных условиях апробировали современную инновационную мембранную технологию получения фруктозно-глюкозного и фруктоолигосахаридного биосиропов из топинамбура. Для апробации использования в пищевой промышленности авторами приведена сравнительная характеристика сиропов из сахарной свеклы и топинамбура, которые были получены на промышленном предприятии. Изучен углеводный состав биосиропов с высоким содержанием фруктозы, которые были протестированы в приготовлении безалкогольных напитков.

Для получения сиропа из топинамбура с высокой концентрацией фруктозы, содержащего полезный редкий сахар D-аллулозу (низкокалорийный эпимер фруктозы), Ping Zhu с соавторами [64] разработали однокомпонентную двух-ферментную реакционную систему, благодаря которой был получен сироп с соотношением D-глюкозы, D-фруктозы и D-аллулозы приблизительно 1:3:1.

В работе [49] показана возможность использования фруктозо-глюкозного сиропа на стадии брожения в технологии приготовления хлебного кваса. Благодаря частичной замене сахарного сиропа, идущего на брожение, в количестве 40% от объема интенсифицируется процесс брожения квасного сусла, улучшаются органолептические и функциональные свойства готового напитка. Было проведено исследование совместного развития пробиотических бактерий видов *B. bifidum* и *L. acidophilus* и штамма пивных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в условиях сбраживания квасного сусла с фруктозо-глюкозным сиропом из топинамбура. Согласно результату, увеличение содержания глюкозы и фруктозы в квасном сусле способствует приросту популяций микроорганизмов во всех экспериментальных образцах в экспоненциальную фазу. При этом число микроорганизмов возрастает в среднем в 2 раза, независимо от вида пробиотика в составе симбиоза, что позволяет обеспечить максимальную концентрацию клеток за 12 часов брожения и интенсифицировать процесс на 6 часов за счет сокращения лаг- и экспоненциальной фаз роста [50].

Zacharová M. с соавторами [65] исследовали влияние замены сахарозы сиропом олигофруктозы цикория на текстуру, удельный объем и сенсорные характеристики кексов. Было установлено, что замена сахара сиропом из цикория способствовала увеличению упругости продукта. Добавление сиропа оказало некоторое влияние на сенсорные характеристики, исследователи отметили наличие интенсивного карамельного вкуса и более коричневого цвета корочки кексов. В тоже время было установлено, что тесто с добавлением сиропа твердеет быстрее, чем тесто на сахарозе. Авторы отмечают необходимость проведения более обширных исследований влияния замены сахара на сироп цикория в рецептуре кексов.

Сироп агавы, благодаря природному происхождению и предполагаемым нутрицевтическим свойствам, активно завоевывает популярность на рынке здоровых, органических, функциональных и диабетических продуктов питания.

За счет высокого содержания фруктозы сироп из агавы часто сравнивают с сиропами из кукурузы, однако, в отличие от высокофруктозных сиропов из кукурузы, сироп из агавы содержит более широкий спектр микроэлементов и биологически активных соединений: фруктаны, полифенолы, флавоноиды, дубильные вещества и сапонины. Ozuna С. с соавт. провели анализ обзора последних научных исследований, связанных с применением сиропа агавы в пищевой промышленности и его воздействием на здоровье потребителей. Авторами установлена необходимость надлежащего контроля за технологическими параметрами производственного процесса получения сиропа из агавы, которые оказывают значительное влияние на физико-химические и функциональные свойства получаемого сиропа. Отмечено использование сиропа агавы в качестве частичного или полного заменителя сахарозы в производстве продукции хлебопекарной и кондитерской промышленности, а также при изготовлении функциональных напитков [57].

Изучению влияния замены сахарозы сиропом агавы на реологические и микроструктурные свойства теста для кексов, а также на физические и сенсорные свойства выпеченного продукта показана в статье [66]. Результаты исследования показали, что использование сиропа агавы оказало влияние на цветовые характеристики продукта. Так, например, по мере увеличения объема замещения сахарозы цвет кексов становился более темным, чем в контрольных образцах, при этом корочка приобретала красные оттенки, а мякиш частично терял желтизну. В том числе при замене сахарозы на сироп из агавы было отмечено снижение вязкости и увеличение температуры терморективности теста. Установлено, что при замене 75% сахарозы сиропом агавы в рецептуре кексов опытные образцы выпеченных изделий обладают физическими и сенсорными характеристиками, аналогичными характеристикам изделий, которые содержат 100% сахарозы.

Разработана рецептура батончиков мюсли с ингредиентами на основе агавы, в том числе с сиропом агавы в качестве подсластителя. Батончики мюсли были приготовлены путем замены меда сиропом из агавы и пшеничной муки на пищевые волокна агавы. Zamora-Gasga V. М. с соавторами [67] продемонстрировали возможность использования сиропа агавы для снижения исходного содержания сахарозы на 10% в исходном продукте без ущерба для сенсорных свойств батончика мюсли. Кроме того, прогнозируемое понижение гликемического индекса придает дополнительную ценность продукту.

В кондитерском производстве сироп агавы оценивали в качестве возможного подсластителя при разработке функциональных конфет, желе и шоколадных конфет. Šeremet D. и др. [68] в рецептуре конфет с белым чаем использовали различные заменители сахарозы (стевиолгликозиды, сорбит и сироп агавы), гидроколлоиды (агар и пектин) и пищевые волокна (инулин и подорожник). Добавление сиропа агавы и пектина способствовало увеличению содержания сухих веществ и потемнению конечного продукта по сравнению с другими рецептурами. Что касается текстуры, то использование сиропа агавы и пектина увеличило эластичность и уменьшило твердость конфет. Показано, что сироп агавы не оказывал влияния на концентрацию биологически активных соединений или антиоксидантную способность продукта, по сравнению с контролем.

При разработке функциональных желе Čižauskaitė и соавторы показали возможность применения желатина и сиропа агавы в качестве базового состава для рецептуры желе, который может быть дополнен активными ингредиентами и пищевыми добавками, улучшающими восприятие вкуса продукта потребителями [69].

Belščak-Cvitanović А. и его соавторы [70] проводили исследование по оценке влияния замены сахарозы сиропом агавы на физические, биологически активные и сенсорные свойства шоколадных конфет с низким содержанием сахара. Несмотря на то, что сенсорные характеристики конфет были оценены положительно, твердость полученного продукта была выше, чем у контрольного шоколада. Содержание сахара в шоколаде, подслащенном сиропом агавы, было ниже, чем в контрольном образце, при этом калорийность обоих образцов была одинаковой. Каких-либо существенных изменений в содержании биологически активных соединений при использовании сиропа агавы в качестве подсластителя отмечено не было.

Сироп из якона — натуральный подсластитель. Его готовят путем выпаривания сока из богатых инулином клубней якона, после нагревания которого получают тягучую жидкость темного цвета, по внешнему виду похожую на мед, а по вкусу — на карамелизованный сахар. Процесс получения сиропа якона полностью натуральный, а конечный продукт не имеет никаких посторонних примесей.

Целью исследований Романюк Т. И. и др. стало изучение процесса биоконверсии инулинсодержащего сырья якона для получения глюкозо-фруктозных сиропов [71]. Использование инулинсодержащего сырья для получения ГФС позволяет значительно уменьшить количество глюкозы в продукте, а долю фруктозы увеличить до 97%. Авторами предложен рациональный режим гидротермообработки клубней якона, а также режимы и параметры осахаривания якона ферментным препаратом. Получен фруктозо-глюкозный сироп, представляющий собой вязкую жидкость без осадка и посторонних включений, имеющий сладкий вкус без горечи, с содержанием фруктозы 87–89%, глюкозы 1% и инулина 1–2%.

Сироп сорго производят путем прессования стеблей сахарного сорго. В отличие от ГФС из кукурузы, который получают путем выделения кукурузного крахмала и его последующего гидролиза, ГФС из сорго получают посредством механического выделения сиропа и очищения его от органических соединений, солей и других веществ. Таким образом, получают ГФС, идентичный кукурузному, но более экологичный. Углеводный состав сиропа сорго представлен в основном сахарозой, фруктозой и глюкозой, а также в небольших количествах мальтозой, маннозой и арабинозой.

Голубева Л. В. с соавторами [72] на основе изучения физико-химических свойств сиропа сахарного сорго разработали рецептуру мягкого мороженого на его основе. Отмечено, что применение композиции сахарозы и моносахаров (глюкозы или фруктозы) способствует снижению криоскопической температуры смеси для мороженого, в результате чего уменьшается массовая доля влаги, вымораживаемой при фризировании смесей. Высокая антиоксидантная активность сиропа способствовала получению продукта с улучшенными органолептическими свойствами и увеличенным сроком годности за счет ингибирования процесса окисления липидов в процессе хранения мороженого [72].

Результаты исследований казахских ученых показали, что использование подсластителя при выпечке хлеба положительно влияет на его аминокислотный состав, содержание витаминов, микро- и макроэлементов и пищевую ценность. Сахара сиропа из сорго оказывают влияние на вкус, активность ферментативной микрофлоры, консистенцию, структуру и другие свойства теста и готовой продукции. В результате использования сиропа сорго готовые продукты имеют улучшенный цвет корочки. В присутствии сахаров сорго повышается ферментативная активность дрожжей, а также объем и пористость хлеба; при этом вязкость мякиша уменьшается [73].

Крахмал красного сорго так же, как и пшеничный крахмал, содержит амилозу и амилопектин. Однако крахмал красного сорго не подходит для замены пшеничного крахмала в хлебопекарном производстве в связи с отсутствием в его составе клейковины. При этом он обладает достаточным потенциалом для переработки с целью получения сахарного сиропа. Целью исследования ученых из Индонезии [74] стало определение оптимального параметра процесса гидролиза, который позволит получить продукт с максимальным содержанием сахаров. В процессе гидролиза крахмала авторы применяли фермент α -амилазу, который содержит амилопектин, для образования декстрина, затем продолжали процесс осахаривания с применением фермента глюкоамилазы для превращения декстрина в глюкозу. Авторами подобраны дозы и соотношение объемов ферментных препаратов, концентрация субстрата, технологические параметры процесса гидролиза (температура и время) для получения высокофруктозного сиропа с максимальным содержанием редуцирующих сахаров [74].

В литературных источниках выдвигаются предположения о том, что чрезмерное потребление фруктозы, особенно в составе безалкогольных напитков, может быть одной из основных причин развития ожирения, сахарного диабета 2-го типа, жировой болезни печени, резистентности к инсулину [75,76]. Поэтому в последнее время многие потребители избегают приобретения продуктов питания, сладостей и напитков, содержащих в своем составе фруктозу [4]. Поиск новых видов сырья и разработка технологии получения новых видов заменителей сахара остается актуальным направлением исследований.

Рисовый сироп изготавливают из рисового крахмала путем ферментации. Отличительной особенностью сиропа из риса является то, что в его углеводном составе отсутствует фруктоза. Основной состав сахаров рисовых сиропов представлен различными комбинациями мальтозы, глюкозы, мальтотриозы, сахарозы, рафинозы и стахиозы. Это здоровая гипоаллергенная альтернатива рафинированному сахару, не содержащая глютен. Сахарный сироп из риса может применяться в качестве потенциального сырья для производства таких пищевых продуктов, как хлеб, кондитерские изделия, мороженое, а также в качестве добавок в пивоварении, поскольку сахарный профиль рисового сиропа аналогичен профилю ячменного сусла.

Ученые из Нигерии проводили исследования состава сахаров рисового сиропа. С этой целью муку из десяти сортов местного риса обрабатывали комбинацией ферментов, гидролизующих крахмал. С помощью метода ВЭЖХ оценивали содержание сахаров (мальтоза, глюкоза, мальтотриоза, сахароза, рафиноза и стахиоза) в полученных образцах рисового сиропа. Результаты показали, что содержание мальтозы и мальтотриозы в сиропах из соложенного риса значительно выше, чем в сиропах из несоложенного риса. Полученный сироп представлял собой «Сироп с высоким содержанием мальтозы», поскольку было обнаружено, что мальтоза является преобладающим сахаром в рисовом сиропе с концентрацией выше 50% [78].

Masood S. и соавторы [70] исследовали влияние замены белого сахара на осветленный рисовый сироп при производстве шоколадного сиропа, сиропа кардамона, сиропа алоэ вера и сливового сиропа. В ходе исследования срока годности в течение 48 недель все параметры, включая микробиологические, физико-химические и сенсорные показатели, были признаны приемлемыми. В процессе хранения было установлено незначительное снижение кислотности и антиоксидантной активности, а также увеличение содержания растворимых сухих веществ во всех исследуемых продуктах; никаких заметных изменений в показателях качества не было обнаружено. Отмечено, что сиропы, приготовленные путем замены столового сахара рисовым сиропом, обладают мягким сладким вкусом [79].

3. Заключение

Новые виды заменителей сахара, в том числе из природного крахмалсодержащего сырья, находят широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности. Выбор сырья, технологии и параметров производства сахарозаменителей обуславливает их углеводный состав и таким образом оказывает влияние на такие физико-химические свойства как степень гигроскопичности, антикристаллизационные свойства, уровень сладости, гликемический индекс и т. п. Исследования применения различных сахарозаменителей в технологии продуктов питания и напитков показывают возможность получения пищевых продуктов с заданными органолептическими, сенсорными и диетическими свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жаббарова, С. К. (2019). Влияние сахарозаменителей и подсластителей на безвредность кондитерских изделий. *Universum: технические науки*, 2(59), 27–31.
2. Ермолаева, Г. А., Сапронова, Л. А., Кривовоз, Б. Г. (2012). Сахар и его заменители в производстве продуктов питания. *Пищевая промышленность*, 6, 48–51.
3. Singh, P., Ban, Y. G., Kashyap, L., Siraree, A., Singh, J. (2020). Sugar and Sugar Substitutes: Recent Developments and Future Prospects. Chapter in a book: *Sugar and Sugar Derivatives: Changing Consumer Preferences*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6663-9_4
4. Taş, F. (2020). Knowledge attitudes and behaviors of adult individuals about high fructose corn syrup consumption; cross sectional survey study. *Clinical Nutrition ESPEN*, 40, 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.09.025>
5. Ермолаева, Г. А., Сапронова, Л. А. (2012). Сахар и сахаристые продукты в производстве напитков. *Пиво и напитки*, 3, 36–39.
6. Андриевская, Д. С., Захаров, М. А., Ульянова, Е. В., Ободеева, О. Н. (2021). Изучение влияния сахаросодержащего сырья на качественные характеристики коньяков. *Ползуновский вестник*, 1, 34–43. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.005>
7. Песчанская, В. А., Андриевская, Д. В., Ульянова, Е. В. (2020). Перспективы использования глюкозно-фруктозных сиропов при производстве спиртных напитков. *Пиво и напитки*, 3, 13–16. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10033>
8. Изтаев, А., Языкбаев, Е. С., Якияева, М. А., Курбаниязов, С. К. (2022). Сорговый сироп — альтернатива сахару при производстве продуктов питания. *Пищевая промышленность*, 4, 12–15. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.4.4.002>
9. Кульнева, Н. Г., Гойкалова, О. Ю., Шматова, А. И. (2015). Факторы, формирующие качество сахара-песка. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 1(63), 188–190.
10. Шобанова, Т. В., Творогова, А. А. (2021). Влияние замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир. *Техника и технология пищевых производств*, 51(3), 604–614. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-604-614>
11. Даишева, Н. М., Люсий, И. Н., Семенихин, С. О., Котляревская, Н. И., Усманов, М. М. (2018). Требования к качеству и безопасности сахара, используемого при производстве пищевой продукции. *Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ»*, 8, 33–42.
12. Резниченко, И. Ю., Щеглов, М. С. (2020). Сахарозаменители и подсластители в технологии кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 50(4), 576–587. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587>
13. Заменители сахарозы. Пищевые ингредиенты и добавки. Электронный ресурс <https://itexn.com/9514/zameniteli-saharozy-pishhevyie-ingredienty-i-dobavki.html> Дата обращения 21.03.2022.
14. Castro-Muñoz, R., Correa-Delgado, M., Córdova-Almeida, R., Lara-Nava, D., Chávez-Muñoz, M., Velásquez-Chávez, V. F., et al. (2022). Natural sweeteners: Sources, extraction and current uses in foods and food industries. *Food Chemistry*, 370, Article 130991. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130991>

15. Saraiva, A., Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., Raposo, A. (2020). Natural sweeteners: The relevance of food naturalness for consumers, food security aspects, sustainability and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, Article 6285. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176285>
16. Ruchi, C., Gopal, K. (2021). A review study on various types sugars & their functional properties. *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*, 11(11), 437–443. <https://doi.org/10.5958/2249-7137.2021.02489.7>
17. Ландиховская, А. В., Творогова, А. А. (2021). Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные направления исследований. *Пищевые системы*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>
18. Лукин, Н. Д., Серегин, С. Н., Сидак, М. В., Сысоев, Г. В. (2021). Глубокая переработка крахмалсодержащего сырья: современное состояние и перспективы устойчивого развития. *Пищевая промышленность*, 11, 30–41. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.011>
19. Апанайкин, М. А. (2020). Особенности рынка крахмалопродуктов в России в условиях пандемии. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, 10(9–1), 458–464. <https://doi.org/10.34670/AR.2020.69.18.051>
20. Патока: виды, свойства, цели использования. Электронный ресурс <http://foodtechnologist.ru/2016/12/16/patoka-vidy-svoystva-tseli-ispolzovaniya/> Дата обращения 28.03.2022
21. Крахмальные сиропы: виды и свойства. Электронный ресурс https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=6700 Дата обращения 28.03.2022
22. Ермачкова, В. В. (2017). Сравнительная характеристика свойств карамели, приготовленной на инвертном сиропе и патоке. *Colloquium journal*, 11–2(11), 28–30.
23. Плотникова, И. В., Трощенко, В. В., Наумченко, И. С., Плотников, В. Е. (2017). Исследование свойств фруктовых начинок без сахара на основе низкоосахаренной патоки. *Уральский Научный Вестник*, 11(3), 053–055.
24. Магомедов, Г. О., Плотникова, И. В., Магомедов, М. Г., Трощенко, В. В. (2018). Оценка качества жележного мармелада с различным углеводным составом. *Известия Высших Учебных Заведений. Пищевая технология*, 1(361), 69–73.
25. Кондратьев, Н. Б., Казанцев, Е. В., Осипов, М. В., Баженова, А. Е., Липовская, Н. В. (2020). Влияние количества патоки на процессы влагопереноса при хранении мармелада. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 82(4(86)), 24–29. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-4-24-29>
26. Кокаева, З. К., Цыганова, Т. Б. (2013). Применение патоки в производстве пищевых продуктов. В книге: *Мальтозная патока: состав, свойства и применение*. — Владикавказ: Северо-Осетинский государственный университет имени К. Л. Хетагурова, 2013.
27. Ofoedu, C. E., Osuji, C. M., Ojukwu, M. (2019). Sugar. Profile of syrups from malted and unmalted rice of different varieties. *Journal of Food Research*, 8(1), 52–59. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n1p52>
28. Мамедов, Э. Р., Баракова, Н. В. (2020). Применение сахаристых крахмалопродуктов в рецептурах ликероводочных изделий. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*, 2(44), 41–48. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-41-48>
29. Магомедов, Г. О., Плотникова, И. В., Шевякова, Т. А., Плотников, В. Е. (2019). Оптимизация рецептурного состава и показателей качества кремовой кондитерской массы с использованием крахмальной патоки. *Известия Высших учебных заведений. Пищевая технология*, 1(367), 50–54. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.1.12>
30. Попова, Н. Н., Щетилина, И. П., Денисова, А. А., Киселева, Е. А. (2016). Разработка вафель с пониженным гликемическим индексом. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 4(70), 181–186. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-4-181-186>
31. Aidoo, R. P., Depypere, F., Afoakwa, E. O., Dewettinck, K. (2013). Industrial manufacture of sugar-free chocolates — Applicability of alternative sweeteners and carbohydrate polymers as raw materials in product development. *Trends in Food Science and Technology*, 32(2), 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.008>
32. Медведева, М. И., Николаева, Н. В. (2021). Исследование возможности полной замены сахара на фруктозу в технологии производства пенообразных кондитерских изделий. *International Journal of Professional Science*, 11, 120–135. https://doi.org/10.54092/25421085_2021_11_120
33. Иванченко, О. Б., Данина, М. М. (2019). Использование сахарозаменителей в технологии хлебного кваса. *Научный Журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*, 2, 11–18. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2019-12-2-11-18>
34. Смеси моносахаридов — глюкозно-фруктозные сиропы. Электронный ресурс <http://saharmag.com/fix/sahara/hfs/> Дата обращения 26.01.2022.
35. Paulino, B. N., Molina, G., Pastore, G. M., Bicas, J. L. (2021). Current perspectives in the biotechnological production of sweetening syrups and polyols. *Current Opinion in Food Science*, 41, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.004>
36. Parker, K., Salas, M., Nwosu, V. C. (2010). High fructose corn syrup: Production, uses and public health concerns. *Biotechnology and molecular biology reviews*, 5(5), 71–78.
37. Singh, I., Langyan, S., Yadava, P. (2014). Sweet corn and corn-based sweeteners. *Sugar Tech*, 16(2), 144–149. <https://doi.org/10.1007/s12355-014-0305-6>
38. Zargaraan, A., Kamaliroosta, L., Yaghoubi, A. S., Mirmoghataie, L. (2016). Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup on the physicochemical properties of bakery and dairy products: A review. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(4), 3–11. <https://doi.org/10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3>
39. Khorshidian, N., Shadnough, M., Zabihzadeh Khajavi, M., Sohrabvandi, S., Yousefi, M., Mortazavian, A. M. (2021). Fructose and high fructose corn syrup: are they a two-edged sword? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 72(5), 592–614. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1862068>
40. Ershadi, A., Azizi, M. H., Najafian, L. (2021). Incorporation of high fructose corn syrup with different fructose levels into biscuit: An assessment of physicochemical and textural properties. *Food Science and Nutrition*, 9(10), 5344–5351. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2452>
41. Helstad, S. (2019). Corn Sweeteners. Chapter in a book: *Corn (Third Edition)*. Chemistry and Technology. Woodhead Publishing and AACR International Press, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00020-6>
42. Лукин, Н. Д., Серегин, С. Н., Тен, А. Д., Сысоев, Г. В. (2021). Диверсификация экономики крахмалопаточной промышленности на основе глубокой переработки крахмалсодержащего сырья. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*, 8(77), 78–97. <https://doi.org/10.33938/218-78>
43. Анализ российского рынка глюкозно-фруктозных сиропов, 2021. Электронный ресурс <http://www.centripap.ru/report/food/Soy/gfs/> Дата обращения 15.02.2022.
44. ИКАР: итоги года-2021. Сахар и свекла. Электронный ресурс <http://ikar.ru/lenta/737.html> Дата обращения 18.02.2022.
45. Старовойтова, О. В., Мухаметзянова, Е. Ю., Решетник, О. А. (2017). Глюкозно-фруктозный сироп в производстве мучного кондитерского изделия. *Вестник технологического университета*, 20(22), 131–134.
46. Гнездилова А. И., Музыкантова А. В., Виноградова Ю. В. (2017). Молочный концентрированный сладкий продукт. *Молочнохозяйственный вестник*, 1(25), 84–90.
47. Колобаева, А. А., Котик, О. А., Королькова, Н. В., Бутова, С. В. (2017). Разработка технологии кваса диетического назначения. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 3(54), 151–157. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2017.3.151>
48. Ландиховская, А. В., Творогова, А. А., Казакова, Н. В. (2021). Применение глюкозно-фруктозных сиропов в мороженом без сахарозы с низким содержанием жира. *Пищевая промышленность*, 5, 71–74. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.5.5.017>
49. Каменская, Е. П., Обрезкова, М. В. (2017). Применение фруктозно-глюкозных сиропов из клубней топинамбура в технологии производства хлебного кваса. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 1(42), 32–37.
50. Каменская, Е. П., Вагнер, В. А., Камаева, С. И. (2020). Исследование совместного развития пробиотиков и пивных дрожжей в технологии хлебного кваса с фруктозо-глюкозным сиропом. *Ползуновский вестник*, 1, 78–84. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.016>
51. White, J. S., Hobbs, L. J., Fernandez, S. (2015). Fructose content and composition of commercial HFCS-sweetened carbonated beverages. *International Journal of Obesity*, 39(1), 176–182. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.73>
52. Ли, Е. В., Сулянок, Г. М., Соколова, О. С. (2017). Производство фруктозного сиропа из топинамбура кислотным способом. *Аграрная Россия*, 2, 25–28.
53. Singh, R. S., Chauhan, K., Singh, R. P. (2017). Enzymatic Approaches for the Synthesis of High Fructose Syrup. Chapter in a book: *Plant Biotechnology: Recent Advancements and Developments*. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2017. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4732-9_10
54. Johnson, R., Padmaja, G., Moorthy, S. N. (2009). Comparative production of glucose and high fructose syrup from cassava and sweet potato roots by direct conversion techniques. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(4), 616–620. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.04.001>
55. Yulistiani, F., Saripudin, Maulani, L., Ramdhayani, W. S., Wibisono, W., Permanasari, A. R. (2018). *Fructose syrup production from tapioca solid waste (onggok) by using enzymatic hydrolysis in various pH and isomerization process*. Journal of Physics: Conference Series. The 3rd International Conference of Chemical and Materials Engineering. 1295(1), Article 012032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1295/1/012032>
56. Qi, X., Tester, R. F. (2020). Lactose, maltose, and sucrose in health and disease. *Molecular Nutrition and Food Research*, 64(8), Article 1901082 <https://doi.org/10.1002/mnfr.201901082>
57. Ozuna, C., Franco-Robles, E. (2022). Agave syrup: An alternative to conventional sweeteners? A review of its current technological applications and health effects. *LWT*, 162, Article 115434. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.115434>
58. Puchkova, T. S., Pikhalo, D. M., Karasyova, O. M. (2019). About the universal technology of processing jerusalem artichoke and chicory for inulin. *Food Systems*, 2(2), 36–43. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-36-43>
59. Singh, R. S., Singh, T., Larroche, C. (2019). Biotechnological applications of inulin-rich feedstocks. *Bioresource Technology*, 273, 641–653. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.031>
60. Филатов, С. Л., Михайличенко, М. С., Петров, С. М., Подгорнова, Н. М. (2021). Натуральные сиропы из топинамбура с пребиотическими

- ми свойствами. *Пищевая промышленность*, 11, 15–21. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.005>
61. Надежкина, М. С., Сагина, О. А. (2020). Инулин: свойства, применение. Мировой рынок инулина. *Modern Science*, 1–2, 76–80.
 62. Gupta, N., Jangid, A. K., Pooja, D., Kulhari, H. (2019). Inulin: A novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 852–863. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.188>
 63. Ni, D., Xu, W., Zhu, Y., Zhang, W., Zhang, T., Guang, C. et al. (2019). Inulin and its enzymatic production by inulosucrase: Characteristics, structural features, molecular modifications and applications. *Biotechnology Advances*, 37(2), 306–318. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.01.002>
 64. Zhu, P., Zeng, Y., Chen, P., Men, Y., Yang, J., Yue, X. et al. (2020). A one-pot two-enzyme system on the production of high value-added D-allulose from Jerusalem artichoke tubers. *Process Biochemistry*, 88, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.10.006>
 65. Zacharová, M., Burešová, I., Gál, R., Walachová, D. (2018). Chicory syrup as a substitution of sugar in fine pastry. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 487–490. <https://doi.org/10.5219/890>
 66. Ozuna, C., Trueba-Vázquez, E., Moraga, G., Llorca, E., Hernandez, I. (2020). Agave syrup as an alternative to sucrose in muffins: Impacts on rheological, microstructural, physical, and sensorial properties. *Foods*, 9(7), Article A35. <https://doi.org/10.3390/foods9070895>
 67. Zamora-Gasga, V. M., Bello-Pérez, L. A., Ortiz-Basurto, R. I., Tovar, J., Sáyago-Ayerdi, S. G. (2014). Granola bars prepared with Agave tequilana ingredients: Chemical composition and invitro starch hydrolysis. *LWT — Food Science and Technology*, 56(2), 309–314. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.016>
 68. Šeremet, D., Mandura, A., Cebin, A. V., Martinić, A., Galić, K., Komes, D. (2020). Challenges in confectionery industry: Development and storage stability of innovative white tea-based candies. *Journal of Food Science*, 85(7), 2060–2068. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15306>
 69. Čižauskaitė, U., Jakubaitytė, G., Žitkevičius, V., Kasparavičienė, G. (2019). Natural ingredients-based gummy bear composition designed according to texture analysis and sensory evaluation in vivo. *Molecules*, 24(7), Article 1442. <https://doi.org/10.3390/molecules24071442>
 70. Belščak-Cvitanović, A., Komes, D., Dujmović, M., Karlović, S., Biškić, M., Brnčić, M. et al. (2015). Physical, bioactive and sensory quality parameters of reduced sugar chocolates formulated with natural sweeteners as sucrose alternatives. *Food Chemistry*, 167, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.064>
 71. Романюк, Т. И., Чусова, А. Е., Тарарыков, М. П., Матвиенко, Н. А. (2021). Получение глюкозо-фруктозного сиропа из ячменя. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 83(2(88)), 87–92. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-87-92>
 72. Голубева, Л. В., Пожидаева, Б. А. (2019). Изучение функционально-технологических свойств сиропа сахарного сорго и его использование в технологии мороженого. *Техника и технология пищевых производств*, 49(3), 431–437. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-431-437>
 73. Mamaeva, L., Yerbulekova, M., Askarbekov, E., Ashimova, P., Muratbekova, K. (2020). Intensification of fermentation process using natural sweeteners. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 30, 137–141.
 74. Permanasari, A. R., Yulistiani, F., Djenar, N. S. (2017). Liquid sugar production from red sorghum starch as raw material to produce high fructose syrup (HFS). *Advanced Science Letters*, 23(6), 5775–5779. <https://doi.org/10.1166/asl.2017.8829>
 75. Coronati, M., Baratta, F., Pastori, D., Ferro, D., Angelico, F., Del Ben, M. (2022). Added fructose in non-alcoholic fatty liver disease and in metabolic syndrome: A narrative review. *Nutrients*, 14(6), Article 1127. <https://doi.org/10.3390/nu14061127>
 76. Tahmassebi, J. F., BaniHani, A. (2020). Impact of soft drinks to health and economy: a critical review. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 21(1), 109–117. <https://doi.org/10.1007/s40368-019-00458-0>
 77. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Рейтблат, Б. Б. (2011). Теория и практика плодового виноделия. — Москва: Развитие, 2011.
 78. Ofoedu, C. E., Osuji, C. M., Ojukwu, M. (2019). Sugar profile of syrups from malted and unmalted rice of different varieties. *Journal of Food Research*, 8(1), 52–59. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n1p52>
 79. Masood, S., Ashraf, M., Ahmad, I., Nisa, A. Un. (2022). Replacement of table sugar with clarified rice syrup in beverages. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 57(1), 23–26. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v57i1.58897>

REFERENCES

1. Jabbarova S. K. (2019). Influence of sugar-substitutes and sweeteners on the safety of confectionery products. *Universum: Technical Sciences*, 2(59), 27–31. (In Russian)
2. Ermolayeva, G. A., Sapronova, L. A., Krivovoz, B. G. (2012). Sugar and its substitutes in food production. *Food Industry*, 6, 48–51. (In Russian)
3. Singh, P., Ban, Y. G., Kashyap, L., Siraree, A., Singh, J. (2020). Sugar and Sugar Substitutes: Recent Developments and Future Prospects. Chapter in a book: *Sugar and Sugar Derivatives: Changing Consumer Preferences*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6663-9_4
4. Taş, F. (2020). Knowledge attitudes and behaviors of adult individuals about high fructose corn syrup consumption; cross sectional survey study. *Clinical Nutrition ESPEN*, 40, 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.09.025>
5. Ermolayeva, G. A., Sapronova, L. A. (2012). Sugar and sugary foods in the manufacture of beverages. *Beer and Beverages*, 3, 36–39. (In Russian)
6. Andriyevskaya, D. S., Zakharov, M. A., Ulyanova, E. V., Obodeyeva, O. N. (2021). Research of the influence of sugar-containing raw materials on qualitative characteristics of cognacs. *Polzunovskiy Vestnik*, 1, 34–43. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.005> (In Russian)
7. Peschanskaya, V. A., Andriyevskaya, D. V., Ulyanova, E. V. (2021). Prospects for the use of glucose-fructose syrups in the production of alcoholic beverages. *Beer and Beverages*, 3, 13–16. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10033> (In Russian)
8. Iztayev, A., Yazykbayev, E. S., Yakiyayeva, M. A., Kurbaniyazov, S. K. (2022). Sorghum syrup is an alternative to sugar in food production. *Food Industry*, 4, 12–15. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.4.4.002> (In Russian)
9. Kil'neva, N. G., Goykalova, O. Yu., Shmatova, A. I. (2015). The factors forming quality of granulated sugar. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 1(63), 188–190. (In Russian)
10. Shobanova, T. V., Tvorogova, A. A. (2021). The effect of replacing sucrose with glucose-fruit syrup on the quality indicators of plombières ice-cream. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(3), 604–614. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-604-614> (In Russian)
11. Daisheva N. M., Licyi I. N., Semikhin S. O., Kotlyarevskaya N. I., Usmanov M. M. (2018). Requirements for quality and safety of sugar used in food production. *Electronic Network Polythematic Journal «Scientific works of KubSTU»*, 8, 33–42 (In Russian)
12. Reznichenko, I. Yu., Scheglov, M. S. (2020). Sugar substitutes and sweeteners in confectionery technology. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(4), 576–587. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587> (In Russian)
13. Sucrose substitutes. Food ingredients and additives. Retrieved from <https://itexn.com/9514-zameniteli-saharozy-pishhevye-ingredienty-i-dobavki.html>. Accessed March 21, 2022. (In Russian)
14. Castro-Muñoz, R., Correa-Delgado, M., Córdova-Almeida, R., Lara-Nava, D., Chávez-Muñoz, M., Velásquez-Chávez, V. F., et al. (2022). Natural sweeteners: Sources, extraction and current uses in foods and food industries. *Food Chemistry*, 370, Article 130991. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130991>
15. Saraiva, A., Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., Raposo, A. (2020). Natural sweeteners: The relevance of food naturalness for consumers, food security aspects, sustainability and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), Article 6285. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176285>
16. Ruchi, C., Gopal, K. (2021). A review study on various types sugars & their functional properties. *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*, 11(11), 437–443. <https://doi.org/10.5958/2249-7137.2021.02489.7>
17. Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A. (2021). Ice cream and frozen desserts nutrient compositions: current trends of researches. *Food Systems*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.21523/2618-9771-2021-4-2-74-81> (In Russian)
18. Lukin, N. D., Seregin, S. N., Sidak, M. V., Sysoev, G. V. (2021). Deep processing of starch-containing raw materials: current state and prospects for sustainable development. *Food Industry*, 11, 30–41. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.011> (In Russian)
19. Apanaikin, M. A. (2020). Features of the starch market in Russia in the context of the pandemic. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, 10(9–1), 458–464. <https://doi.org/10.34670/AR.2020.69.18.051> (In Russian)
20. Molasses: types, properties, purposes of use. Retrieved from <http://food-technologist.ru/2016/12/16/patoka-vidy-svoystva-tseli-ispolzovaniya/> Accessed March 28, 2022 (In Russian)
21. Starch syrups: types and properties. Retrieved from https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=6700 Accessed March 28, 2022 (In Russian)
22. Ermachkova, V. V. (2017). The comparative characteristic of properties of the caramel made on invert syrup and treacle. *Colloquium-journal*, 11–2 (11), 28–30 (In Russian)
23. Plotnikova, I. V., Troschenko, V. V., Naumchenko, I. S., Plotnikov, V. E. (2017). Investigation of the properties of sugar-free fruit fillings based on low-sugar molasses. *Ural Scientific Bulletin*, 11(3), 053–055 (In Russian)
24. Magomedov, G. O., Plotnikova, I. V., Magomedov, M. G., Troshchenko, V. V. (2018). Quality assessment of marmalade jelly with different composition of carbohydrates. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 1(361), 69–73 (In Russian)
25. Kondratyev, N. B., Kazantsev, E. V., Osipov, M. V., Bazhenova, A. E., Linovskaya, N. V. (2020). The influence of the amount of caramel syrup on the processes of moisture transfer during the storage of marmalade. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 82(4(86)), 24–29. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-4-24-29> (In Russian)
26. Kokaeva, Z. K., Tsyganova, T. B. (2013). The use of molasses in food production. In the book: *Maltose molasses: composition, properties and application*. Vladikavkaz: K. L. Khetagurov North Ossetian State University, 2013. (In Russian)
27. Ofoedu, C. E., Osuji, C. M., Ojukwu, M. (2019). Sugar. Profile of syrups from malted and unmalted rice of different varieties. *Journal of Food Research*, 8(1), 52–59. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n1p52>

28. Mamedov, E. R., Barakova, N. V. (2020). Addition of starch-derived sweeteners to a liqueur blend. *Processes and Food Production Equipment*, 2(44), 41–48. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-41-48> (In Russian)
29. Magomedov, G. O., Plotnikova, I. V., Shavyakova, T. A., Plotnikov, V. E. (2019). Optimization of the formulation composition and quality cream confectionery mass with the use starch syrup. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 1(367), 50–54. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.1.12> (In Russian)
30. Popova, N. N., Shchetilina, I. P., Denisova, A. A., Kiseleva, E. A. (2016). Development of wafers with lowered glycemic index. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 70(4), 181–186. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-4-181-186> (In Russian)
31. Aidoo, R. P., Depypere, F., Afoakwa, E. O., Dewettinck, K. (2013). Industrial manufacture of sugar-free chocolates — Applicability of alternative sweeteners and carbohydrate polymers as raw materials in product development. *Trends in Food Science and Technology*, 32(2), 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.008>
32. Medvedeva, M. I., Nikolaeva, N. V. (2021). Investigation of the possibility of complete replacement of sugar with fructose in the production technology of foamy confectionery *International Journal of Professional Science*, 11, 120–135. https://doi.org/10.54092/25421085_2021_11_120 (In Russian)
33. Ivanchenko, O. B., Danina, M. M. (2019). The use of sweeteners in the technology of bread kvass. *Processes and Food Production Equipment*, 2, 11–18. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2019-12-2-11-18> (In Russian)
34. Mixtures of monosaccharides — glucose-fructose syrups. Retrieved from <http://saharmag.com/fix/sahara/hfs/> Accessed January 26, 2022. (In Russian)
35. Paulino, B. N., Molina, G., Pastore, G. M., Bicas, J. L. (2021). Current perspectives in the biotechnological production of sweetening syrups and polyols. *Current Opinion in Food Science*, 41, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.004>
36. Parker, K., Salas, M., Nwosu, V. C. (2010). High fructose corn syrup: Production, uses and public health concerns. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, 5(5), 71–78.
37. Singh, I., Langyan, S., Yadava, P. (2014). Sweet corn and corn-based sweeteners. *Sugar Tech*, 16(2), 144–149. <https://doi.org/10.1007/s12355-014-0305-6>
38. Zargarani, A., Kamalirosta, L., Yaghoubi, A. S., Mirmoghtadaie, L. (2016). Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup on the physicochemical properties of bakery and dairy products: A review. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(4), 3–11. <https://doi.org/10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3>
39. Khorshidian, N., Shadnough, M., Zabihzadeh Khajavi, M., Sohravandi, S., Yousefi, M., Mortazavian, A. M. (2021). Fructose and high fructose corn syrup: are they a two-edged sword? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 72(5), 592–614. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1862068>
40. Ershadi, A., Azizi, M. H., Najafian, L. (2021). Incorporation of high fructose corn syrup with different fructose levels into biscuit: An assessment of physicochemical and textural properties. *Food Science and Nutrition*, 9(10), 5344–5351. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2452>
41. Helstad, S. (2019). Corn Sweeteners. Chapter in a book: *Corn* (Third Edition). Chemistry and Technology. Woodhead Publishing and AACC International Press, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00020-6>
42. Lukin, N. D., Seregin, S. N., Ten, A. D., Syisoev, G. V. (2021). Diversification of the economy of the starch-packing industry based on deep processing of starch-containing raw materials. *Economy, Labor, Management in Agriculture*, 8(77), 78–97. <https://doi.org/10.33938/218-78> (In Russian)
43. Analysis of the Russian market of glucose-fructose syrups, 2021. Retrieved from <http://www.centripap.ru/report/food/Soy/gfs/> Accessed February 15, 2022. (In Russian)
44. ICARUS: results of the year-2021. Sugar and beets Retrieved from <http://ikar.ru/lenta/737.html> Accessed February 18, 2022. (In Russian)
45. Starovoitova, O. V., Mukhametzyanova, E. Yu., Reshetnik, O. A. (2017). Glucose-fructose syrup in the production of flour confectionery. *Bulletin of the Technological University*, 20(22), 131–134. (In Russian)
46. Gnezdilova, A. I., Muzykantova, A. V., Vinogradova, Y. V. (2017). Sweet concentrated milk product. *Molochnokhozyaystvenny Vestnik*, 1(25), 84–90. (In Russian)
47. Kolobaeva, A. A., Kotik, O. O., Korolkova, N. V., Butova, S. V. (2017). Development of dietary kvass production process. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*, 3(54), 151–157. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2017.3.151> (In Russian)
48. Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A., Kazakova, N. V. (2021). The use of glucose-fructose syrups in ice cream without sucrose with the low contents of fat. *Food Industry*, 5, 71–74. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.5.5.017> (In Russian)
49. Kamenskaia, E. P., Obrezkova, M. V. (2017). The use of fructose-glucose syrup from tubers of Jerusalem artichoke in the production technology of kvass. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*, 1(42), 32–37. (In Russian)
50. Kamenskaya, E. P., Vagner, V. A., Kamaeva, S. I. (2020). Investigation of the joint development of probiotics and brewer's yeast in the technology of bread kvass with fructose-glucose syrup. *Polzunovskiy Vestnik*, 1, 78–84. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.016> (In Russian)
51. White, J. S., Hobbs, L. J., Fernandez, S. (2015). Fructose content and composition of commercial HFCS-sweetened carbonated beverages. *International Journal of Obesity*, 39(1), 176–182. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.73>
52. Lee, E. V., Sukanek, G. M., Sokolova, O. S. (2017). Production of fructose syrup from Jerusalem artichoke by acid method. *Agrarian Russia*, 2, 25–28. (In Russian)
53. Singh, R. S., Chauhan, K., Singh, R. P. (2017). Enzymatic Approaches for the Synthesis of High Fructose Syrup. Chapter in a book: *Plant Biotechnology: Recent Advancements and Developments*. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2017. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4732-9_10
54. Johnson, R., Padmaja, G., Moorthy, S. N. (2009). Comparative production of glucose and high fructose syrup from cassava and sweet potato roots by direct conversion techniques. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(4), 616–620. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.04.001>
55. Yulistiani, F., Saripudin, Maulani, L., Ramdhayani, W. S., Wibisono, W., Permanasari, A. R. (2018). *Fructose syrup production from tapioca solid waste (onggok) by using enzymatic hydrolysis in various pH and isomerization process*. Journal of physics: conference series. The 3rd international conference of chemical and materials engineering. 1295(1), Article 012032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1295/1/012032>
56. Qi, X., Tester, R. F. (2020). Lactose, maltose, and sucrose in health and disease. *Molecular Nutrition and Food Research*, 64(8), Article 1901082 <https://doi.org/10.1002/mnfr.201901082>
57. Ozuna, C., Franco-Robles, E. (2022). Agave syrup: An alternative to conventional sweeteners? A review of its current technological applications and health effects. *LWT*, 162, Article 113434. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113434>
58. Puchkova, T. S., Pikhalo, D. M., Karasyova, O. M. (2019). About the universal technology of processing Jerusalem artichoke and chicory for inulin. *Food Systems*, 2(2), 36–43. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-36-43>
59. Singh, R. S., Singh, T., Larroche, C. (2019). Biotechnological applications of inulin-rich feedstocks. *Bioresour. Technology*, 273, 641–653. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.031>
60. Filatov, S. L., Mikhaylichenko, M. S., Petrov, S. M., Podgornova, N. M. (2021). Natural Jerusalem artichoke syrups with prebiotic properties. *Food Industry*, 11, 15–21. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.005> (In Russian)
61. Nadezhkina, M. S., Sagina, O. A. (2020). Inulin: properties, application. The global inulin market. *Modern Science*, 1–2, 76–80. (In Russian)
62. Gupta, N., Jangid, A. K., Pooja, D., Kulhari, H. (2019). Inulin: A novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 852–863. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.188>
63. Ni, D., Xu, W., Zhu, Y., Zhang, W., Zhang, T., Guang, C. et al. (2019). Inulin and its enzymatic production by inulosucrase: Characteristics, structural features, molecular modifications and applications. *Biotechnology Advances*, 37(2), 306–318. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.01.002>
64. Zhu, P., Zeng, Y., Chen, P., Men, Y., Yang, J., Yue, X. et al. (2020). A one-pot two-enzyme system on the production of high value-added D-allulose from Jerusalem artichoke tubers. *Process Biochemistry*, 88, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.10.006>
65. Zacharová, M., Burešová, I., Gál, R., Walachová, D. (2018). Chicory syrup as a substitution of sugar in fine pastry. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 487–490. <https://doi.org/10.5219/890>
66. Ozuna, C., Trueba-Vázquez, E., Moraga, G., Llorca, E., Hernando, I. (2020). Agave syrup as an alternative to sucrose in muffins: Impacts on rheological, microstructural, physical, and sensorial properties. *Foods*, 9, Article 35. <https://doi.org/10.3390/foods9070895>
67. Zamora-Gasga, V. M., Bello-Pérez, L. A., Ortiz-Basurto, R. I., Tovar, J., Sáyago-Ayerdi, S. G. (2014). Granola bars prepared with Agave tequilana ingredients: Chemical composition and invitro starch hydrolysis. *LWT — Food Science and Technology*, 56(2), 309–314. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.016>
68. Seremet, D., Mandura, A., Cebin, A. V., Martinić, A., Galić, K., Komes, D. (2020). Challenges in confectionery industry: Development and storage stability of innovative white tea-based candies. *Journal of Food Science*, 85, 2060–2068. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15306>
69. Čižauskaitė, U., Jakubaitytė, G., Žitkevičius, V., Kasparavičienė, G. (2019). Natural ingredients-based gummy bear composition designed according to texture analysis and sensory evaluation in vivo. *Molecules*, 24(7), Article 1442. <https://doi.org/10.3390/molecules24071442>
70. Belščak-Cvitanović, A., Komes, D., Dujmović, M., Karlović, S., Biškić, M., Brnčić, M. et al. (2015). Physical, bioactive and sensory quality parameters of reduced sugar chocolates formulated with natural sweeteners as sucrose alternatives. *Food Chemistry*, 167, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.064>
71. Romanyuk, T. I., Chusova, A. E., Tararykov, M. P., Matvienko, N. A. (2021). Preparation of glucose-fructose syrup from yacon. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 83(2(88)), 87–92. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-87-92> (In Russian)
72. Golubeva, L. V., Pozhidaeva, E. A. (2019). Functional and technological properties of sorghum syrup and its use in ice cream technology. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(3), 431–437. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-431-437> (In Russian)
73. Mamaeva, L., Yerbulekova, M., Askarbekov, E., Ashimova, P., Muratbekova, K. (2020). Intensification of fermentation process using natural sweeteners. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 30, 137–141.
74. Permanasari, A. R., Yulistiani, F., Djenar, N. S. (2017). Liquid sugar production from red sorghum starch as raw material to produce high fruc-

- tose syrup (HFS). *Advanced Science Letters*, 23(6), 5775–5779. <https://doi.org/10.1166/asl.2017.8829>
75. Coronati, M., Baratta, F., Pastori, D., Ferro, D., Angelico, F., Del Ben, M. (2022). Added fructose in non-alcoholic fatty liver disease and in metabolic syndrome: A narrative review. *Nutrients*, 14(6), Article1127. <https://doi.org/10.3390/nu14061127>
76. Tahmassebi, J. F., BaniHani, A. (2020). Impact of soft drinks to health and economy: a critical review. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 21(1), 109–117. <https://doi.org/10.1007/s40368-019-00458-0>
77. Oganesyants, L. A., Panasyuk A. L., Reitblat B. B. (2011). Theory and practice of fruit winemaking. Moscow: Development, 2011. (In Russian)
78. Ofoedu, C. E., Osuji, C. M., Ojukwu, M. (2019). Sugar profile of syrups from malted and unmalted rice of different varieties. *Journal of Food Research*, 8(1), 52–59. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n1p52>
79. Masood, S., Ashraf, M., Ahmad, I., Nisa, A. Un. (2022). Replacement of table sugar with clarified rice syrup in beverages. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 57(1), 23–26. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v57i1.58897>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Кузьмина Елена Ивановна — кандидат технических наук, заведующая лабораторией технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-62-75 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7623-440X	Elena I. Kuzmina, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-62-75 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7623-440X
Егорова Олеся Сергеевна — научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0463-605X * автор для контактов	Olesya S. Egorova, Researcher, Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0463-605X * corresponding author
Акбулатова Дилара Рамилевна — младший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2209-7141	Dilyara R. Akbulatova, Junior Researcher, Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2209-7141
Свиридов Дмитрий Александрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8367-3523	Dmitriy A. Sviridov, Candidate of Technical Sciences, Research Senior, Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8367-3523
Ганин Михаил Юрьевич — младший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0518-1181	Mikhail Yu. Ganin, Junior Researcher, Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0518-1181
Шилкин Алексей Александрович — младший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1223-0703	Aleksey A. Shilkin, Junior Researcher, Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1223-0703
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-157-163>

Поступила 05.06.2022

Поступила после рецензирования 15.06.2022

Принята в печать 20.06.2022

© Купаева Н. В., Ильина М. А., Светличная М. В., Зубарев Ю. Н., 2022



<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ИССЛЕДОВАНИЕ АНТИОКСИДАНТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ОВСЯНЫХ НАПИТКОВ, ОБОГАЩЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Купаева Н. В.^{*1}, Ильина М. А.², Светличная М. В.³, Зубарев Ю. Н.¹

¹ Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова

² Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

³ Российский Химико-Технологический Университет им. Д. И. Менделеева, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

растительные антиоксиданты, функциональное питание, антирадикальная активность, общая антиоксидантная емкость, крахмалосодержащие продукты, DPPH

АННОТАЦИЯ

Окислительный стресс, которому подвержены многие современные люди, способствует развитию нейродегенеративных, сердечно-сосудистых, воспалительных, онкологических и других социально значимых заболеваний. Для регулирования действия свободных радикалов и активных форм кислорода в организме существует антиоксидантная система, состоящая из эндогенных и экзогенных антиоксидантов. Основным источником последних является пища, и это обуславливает увеличение спроса на функциональные продукты питания. Особенно активно развивается рынок функциональных напитков, сделанных на основе чаев, зерновых продуктов, фруктовых и овощных соков. Высокой питательной ценностью отличаются напитки на основе овсяных хлопьев с добавлением растительных компонентов, являясь богатым источником пищевых волокон, витаминов, минералов и антиоксидантов. В ходе исследования был разработан функциональный напиток на основе овсяных хлопьев, обогащенный бананами, ягодами черники и порошком плодов бузины черной (*Sambucus nigra*), известной высоким содержанием антоцианов. Антиоксидантный потенциал опытного продукта оценивали путем измерения общей антиоксидантной емкости (ОАЕ) методом FRAP и определения антирадикальной активности (АРА) методом DPPH. Значения ОАЕ водного и метанольного экстрактов составили $807,3 \pm 18,0$ мкмоль-экв. кверцетина/л и $948,7 \pm 47,9$ мкмоль-экв. кверцетина/л соответственно, что существенно превысило аналогичные значения контрольного образца — в 2,44 раза и в 1,69 раз соответственно. АРА метанольного экстракта опытного напитка была $86,49 \pm 2,01\%$, что больше АРА контроля в 1,9 раз. Было определено, что при приготовлении функциональных напитков на основе овсяных хлопьев с добавлением плодов бузины теряется примерно 10% жирорастворимых антиоксидантов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FNEN-2019–0008 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук

БЛАГОДАРНОСТИ: авторы выражают благодарность к. т. н. Дыдыкину Андрею Сергеевичу (Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова) за научное руководство в разработке рецептуры и технологии производства напитка.

Received 05.06.2022

Accepted in revised 15.06.2022

Accepted for publication 20.06.2022

© Kupaeva N. V., Ilina M. A., Svetlichnaya M. V., Zubarev Yu. N., 2022

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

STUDY OF THE ANTIOXIDANT POTENTIAL OF OAT DRINKS ENRICHED WITH PLANT COMPONENTS

Nadezhda V. Kupaeva^{*1}, Maria A. Ilina², Mariya V. Svetlichnaya³, Yuri N. Zubarev¹

¹ V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia

² Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

³ Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

KEY WORDS:

plant antioxidants, functional nutrition, antiradical activity, total antioxidant capacity, starchy foods, DPPH

ABSTRACT

Oxidative stress, to which many modern people are subjected, promotes the development of neurodegenerative, cardiovascular, inflammatory, oncological and other socially important diseases. The antioxidant system consisting in the endogenous and exogenous antioxidants exists in the body to regulate the action of free radicals and reactive oxygen species. The main source of exogenous antioxidants is food and this conditions an increase in the demand for functional foods. The market of functional drinks based on teas, cereal products, fruit and vegetable juices is developing especially actively. Drinks based on oat flakes with addition of plant components are distinguished by the high nutrition value being a rich source of dietary fibers, vitamins, minerals and antioxidants. During the experiment, a functional drink based on oat flakes and enriched with bananas, blueberry berries and a powder of elder (*Sambucus nigra* L.) berries recognized for the high content of anthocyanins was developed. The antioxidant potential of the experimental product was assessed by measuring the total antioxidant capacity (TAC)

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Купаева, Н. В., Ильина, М. А., Светличная, М. В., Зубарев, Ю. Н. (2022). Исследование антиоксидантного потенциала овсяных напитков, обогащенных растительными компонентами. *Пищевые системы*, 5(2), 157–163. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-157-163>

FOR CITATION: Kupaeva, N. V., Ilina, M. A., Svetlichnaya, M. V., Zubarev, Yu. N. (2022). Study of the antioxidant potential of oat drinks enriched with plant components. *Food Systems*, 5(2), 157–163. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-157-163>

by the FRAP method and determining the antiradical activity (ARA) by the DPPH method. The TAC values for the aqueous and methanol extracts were 807.3 ± 18.0 μmol quercetin equivalents /L and 948.7 ± 47.9 μmol quercetin equivalents/L, respectively, which significantly exceeded the similar values in the control sample (by 2.44 and 1.69 times, respectively). The ARA of the methanol extract of the experimental drink was $86.49 \pm 2.01\%$, which was 1.9 times higher than the ARA of the control sample. It was established that about 10% of fat-soluble antioxidants are lost upon preparation of oat-based functional drinks with addition of elder berries.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FNEN-2019-0001 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS

ACKNOWLEDGEMENTS: The authors are grateful to candidate of technical sciences Andrei S. Dydykin (V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems) for scientific guidance in the development of the recipe and production technology of the drink.

1. Введение

Человеческий организм получает энергию путем окисления углеводов, жиров и белков посредством протекания метаболических процессов, в ходе которых образуются и такие реактивные частицы, как свободные радикалы (СР), активные формы кислорода (АФК) и активные формы азота (АФА) [1,2]. Научные исследования свидетельствуют о том, что СР и АФК играют значительную роль в регуляции основных функций клеток, как в обычных условиях, так и при воздействии на них различных патогенных факторов [3]. В зависимости от силы воздействующего на клетки патогенного фактора, реактивные частицы могут выступать либо индукторами процессов адаптации, либо индукторами апоптоза.

Для регулирования действия СР и АФК в организме существует антиоксидантная система, состоящая из экзогенных и эндогенных ферментативных и неферментативных антиоксидантов (АО), которые отвечают за нейтрализацию лишних реактивных частиц. Баланс между СР и АО является важным фактором для надлежащего физиологического функционирования, и в случае избытка свободных радикалов в организме возникает окислительный стресс, который способствует развитию различных социально значимых заболеваний [4,5].

Эндогенные АО вырабатываются в организме, тогда как основным источником экзогенных антиоксидантов являются продукты питания, а также биологически активные добавки (БАД) природного и синтетического происхождения [6]. Несмотря на большое количество и дешевизну синтетических АО, их наилучшим источником остается растительное сырье, которое может содержать от десятков до сотен тысяч различных антиоксидантов: флавоноидов, фенольных кислот, полифенолов, витаминов, каротиноидов, дубильных веществ и многих других соединений [7,8], которые характеризуются наилучшей усвояемостью. Растения могут служить в качестве индивидуальных продуктов питания или же, как пищевые компоненты. В последнее время увеличивается спрос на продукты функционального питания — особую группу продуктов, которая используется для улучшения функционирования систем организма и повышения здоровья человека. Данные продукты не являются лекарственными препаратами и занимают промежуточное место между обычными продуктами, изготовленными по традиционной технологии, и лечебными. Функциональные продукты питания могут быть обогащены витаминами, каротиноидами, пищевыми волокнами, микроэлементами, липотропами и др. [9]. Особенно активно развивается рынок функциональных напитков, так как они считаются наиболее удобным объектом для внедрения ингредиентов, обладающих биологическими свойствами, без принципиальных изменений технологического процесса [10,11]. Наиболее популярными являются напитки, сделанные на основе чаев, фруктовых и овощных соков, что обусловлено большим содержанием в них биологически активных фитохимических веществ, таких как флавоноиды [11,12].

В качестве основы для функциональных напитков используют не только соки и чаи, но и различные зерновые продукты, повышающие энергетическую ценность напитка и расширяющие диапазон его функциональных свойств. Высокой питательной ценностью отличаются напитки на основе овсяных хлопьев, которые являются важным источником пищевых волокон, витаминов группы В, а также таких минеральных веществ, как магний, марганец, селен, фосфор, цинк. [13]. Кроме того, овсяные хлопья известны как ценный источник бета-глюканов — водорастворимых полисахаридов, которые обладают свойством набухать в процессе перемешивания и замедлять адсорбцию пищевых веществ, тем самым продлевая чувство насыщения, предотвращая скачки глюкозы в крови. Бета-глюканы способствуют уменьшению усвоения холестерина, получаемого из пищи, и снижают его уровень в крови. В толстом кишечнике бета-глюканы метаболизируются микробиотой с образованием короткоцепочечных жирных кислот и других важных метаболитов [14]. Из-за большого количества бета-глюканов отвары овсяных хлопьев характеризуются тягучей консистенцией, по текстуре напоминая привычный кисель на основе крахмала. Поэтому бета-глюканы применяются в производстве киселей, смузи, коктейлей и других продуктов. Обогащение таких изделий растительными экстрактами, сублимированными ягодами, орехами, сухофруктами и т. д. дополняет разрабатываемые товары веществами, которые обладают антиоксидантными свойствами, тем самым, обеспечивая поступление в организм экзогенных АО и необходимых фитохимических соединений.

Большое количество научных исследований доказали перспективность и необходимость использования растительного сырья в качестве источника природных АО. Известно, что все части бузины черной (*Sambucus nigra*) богаты такими пищевыми фитохимическими веществами, как фенолы, полифенолы, флавоноиды, алкалоиды, антоцианы и другие [15]. Бузина черная (*Sambucus nigra*) — листопадный кустарник, широко распространенный в зоне умеренного климата в Азии, Европе, Закавказье, Белоруссии. В России бузина черная произрастает на юге европейской части, а также хорошо зимует и плодоносит в условиях средней полосы. Плоды бузины являются черно-фиолетовыми темными костянками размером 3–5 мм, собранными в крупные кисти, и созревающие в августе-сентябре. Сравнительный анализ содержания антиоксидантов и антиоксидантной активности различных частей растений бузины показал, что наиболее перспективными источниками биологически активных веществ (БАВ) с антиоксидантными свойствами являются плоды и листья бузины черной [16]. Известно, что ягоды бузины характеризуются высоким содержанием биологически активных веществ, преимущественно антоцианов — окрашенных соединений, относящихся к классу флавоноидов. Также плоды отличаются низким содержанием сахаров, относительно высоким содержанием органических кислот [17] и значительным количеством флавонолов и фенольных

кислот, среди которых преобладают кверцетин и кемпферол [18]. Исследования компонентного состава бузины продемонстрировали высокое содержание антоцианов в плодах растения, большая часть которых является производными цианидина, например, цианидин-3-глюкозид (C3G) и цианидин-3-самбубиозид (C3S). Разнообразие компонентного состава антоцианов бузины обусловлено присутствием ацилированных антоцианов [19], что делает данное растение перспективным источником АО.

В настоящее время ягоды бузины черной употребляют в пищу в свежем и обработанном виде. Из них готовят напитки, варенье, джемы, а их яркий окрас позволяет использовать эти ягоды для производства пищевого красителя [20]. Разнообразный состав и высокое содержание антиоксидантов обуславливают коммерческий потенциал *Sambucus nigra* в производстве функциональных продуктов питания. Из-за широкого спектра различных биологически активных веществ, которыми обогащаются продукты антиоксидантного действия, появляется необходимость применения нескольких аналитических методов для определения антиоксидантного потенциала (АОП) разработанных продуктов и изучения вклада в этот потенциал добавляемых ингредиентов. Важными показателями при оценке АОП являются общая антиоксидантная емкость (ОАЕ), описывающая общее количество СР, которые связывают АО образца, и антирадикальная активность (АРА), характеризующая способность исследуемого образца нейтрализовать СР [21]. Таким образом, целью данной работы являлось определение вклада ягод бузины черной в антиоксидантный потенциал разработанного овсяного напитка и установление целесообразности добавления *Sambucus nigra* в исследуемый продукт.

2. Объекты и методы

Для исследования были отобраны плоды бузины черной, выращенные в Московской области в сезон 2021 года. Плоды были высушены в бытовой сушильной камере «Белочка» (Россия) при температуре $45 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 24 ч. Потеря массы плодов при высушивании составила 83%. Полученные сушеные плоды хранили при комнатной температуре в стеклянной таре с плотно закрытой крышкой без попадания прямых солнечных лучей. Помимо порошка бузины, в состав напитка были включены сушеные бананы и сушеные ягоды черники (*Vaccinium myrtillus*), которые были высушены в бытовой сушилке «Белочка» (Россия) при температуре $45 \pm 5^\circ\text{C}$. Время сушки бананов составило 10 ч, а черники — 24 ч.

С учетом сведений о биологической активности плодов бузины из литературных источников [17], а также исходя из актуальных рекомендаций по здоровому питанию [22,23] была разработана рецептура напитков на основе овсяных хлопьев и с добавлением порошка бузины черной. Состав сухой смеси для приготовления 1 л (5 порций) напитка включал 50 г хлопьев овсяных быстрого приготовления «Геркулес», 12 г порошка сушеных плодов бузины черной *Sambucus nigra*, 12 г сушеного банана, 8 г сахарного песка «Русский сахар» и 6 г порошка сушеных плодов черники.

Для приготовления разработанного напитка на роторной мельнице (ЛЗМ-1М, Россия) измельчали овсяные хлопья до размера частиц 1–1,5 мм, сушеные плоды бузины — до среднего размера частиц 0,5 мм и просеивали через сито для отделения остатков косточек и плодоножек. Сушеные бананы и плоды черники измельчали до среднего размера частиц 0,5 мм. Навески всех ингредиентов загружали в смеситель (СЛ-6, Россия) для получения однородной смеси, затем полученную смесь переносили в гомогенизатор (Romaco MaxxD700 Lab, Германия), добавляли кипящую воду и проводили гомогенизацию до достижения однородной

консистенции при поддержании постоянной температуры не менее 75°C . Контрольный образец был приготовлен согласно приведенной рецептуре без добавления порошка плодов бузины. Полученные напитки расфасовывали в пастеризованные стеклянные тары, закрывали герметичной крышкой и хранили в холодильнике при температуре 6°C .

Для определения вклада бузины в АОП разработанного овсяного напитка и установления целесообразности добавления *Sambucus nigra* в исследуемый продукт были определены общая антиоксидантная емкость методом FRAP и антирадикальная активность методом DPPH порошка бузины черной (1 образец) и овсяных напитков с добавлением (2 образец) и без добавления бузины (3 образец).

Для приготовления водного экстракта порошка бузины (образец 1) навеску смешивали с дистиллированной водой (при ее температуре 85°C) в соотношении 12:1000, что соответствовало рецептуре готового продукта. Полученную смесь настаивали в течение 15 мин и фильтровали через фильтровальную бумагу для количественных анализов с массовой долей золы до 0,03% (ФБ-III, ГОСТ 12026–76). Водные экстракты продуктов (образцы 2 и 3) получали путем смешения навески с дистиллированной водой (при ее температуре 85°C) в соотношении 1:1. Полученную смесь настаивали в течение 15 мин и центрифугировали в центрифуге 5427R (Eppendorf AG, Germany) при 10000 g и температуре 15°C в течение 10 мин. Полученные водные экстракты хранили при температуре минус 18°C .

Для получения спиртового экстракта образца 1, навеску порошка бузины смешивали с концентрированным метанолом в соотношении 12:1000, что соответствовало рецептуре готового продукта, и настаивали в течение 2 ч с последующим фильтрованием экстракта с использованием бумажного складчатого фильтра. Спиртовые экстракты образцов 2 и 3 получали путем смешивания навесок образцов с концентрированным метанолом в соотношении 1:1. Полученные смеси настаивали в течение 19 ч при температуре 4°C с последующим фильтрованием через бумажный складчатый фильтр. Спиртовые экстракты хранили при температуре 4°C .

Общую антиоксидантную емкость всех образцов определяли методом FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ «Спектр», Россия) в соответствии с методикой [24]. Для приготовления реактива FRAP смешивали 0,3 М ацетатный буфер (pH 3,6), 10 мМ раствор фотометрического реагента TPTZ (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine) (Sigma-aldrich, Switzerland), растворяя его в 40 мМ соляной кислоте (PanReac AppliChem, Spain), и 20 мМ водный раствор хлорида железа (III) (PanReac AppliChem, Spain) в соотношениях 10:1:1 соответственно. Для измерения ОАЕ экстрактов в стеклянную пробирку вносили 1,45 мл свежеприготовленного реактива FRAP и 50 мкл образца или дистиллированной воды для измерения контрольной пробы. Реакционную смесь инкубировали в течение 30 мин при температуре 37°C в темноте, затем регистрировали оптическую плотность при длине волны 594 нм в кварцевых спектрофотометрических кюветах с длиной оптического пути 10 мм. ОАЕ образцов считали по градуировочному графику ($R^2=0,9988$), для построения которого использовали кверцетин (Sigma-aldrich, India) в диапазоне концентраций 1 мкМ — 250 мкМ. Полученные данные выражали в мкмоль-экв. кверцетина/л экстракта порошка бузины или готового напитка.

Антирадикальную активность образцов определяли в метанольных экстрактах, что обусловлено ограничением метода DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Исследования проводили на спектрофотометре СФ-2000 в соответствии с методикой [25]. Для проведения анализа к 1,45 мл 75 мкМ метанольному раствору DPPH (ChemCruz, Santa Cruz

Biotechnology, USA) добавляли 50 мкл экстракта или метанола в качестве контрольной пробы. Реакционную смесь инкубировали в темноте в течение 30 мин при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Затем регистрировали оптическую плотность при длине волны 517 нм, используя в качестве холостой пробы метанол. Антирадикальную активность рассчитывали по формуле 1 и выражали в процентах активности улавливания радикалов DPPH (The DPPH radical scavenging activity (RSA%)).

$$RSA_{DPPH} (\%) = \frac{D_k - D_o}{D_k} \times 100\%, \quad (1)$$

где D_k — оптическая плотность контрольной пробы;
 D_o — оптическая плотность образца.

Все измерения проводили не менее 4 повторов и выражали как среднее значение и стандартное отклонение ($m \pm SD$).

3. Результаты и обсуждение

Полученные значения ОАЕ и АРА экстрактов порошка бузины черной и разработанных напитков с добавлением и без добавления порошка бузины представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Значения ОАЕ и АРА экстрактов бузины и разработанных напитков

Table 1. TAC and APA values of the elder extracts and developed drinks

№ образца	Наименование образца	ОАЕ, мкмоль-экв. кверцетина / л		RSA _{DPPH} , %
		Водный	Метанольный	
1	Порошок плодов бузины черной	490,4 ± 5,7	421,7 ± 25,6	32,66 ± 0,6
2	Овсяной напиток с порошком бузины	807,3 ± 18,0	948,7 ± 47,9	86,49 ± 2,01
3	Овсяной напиток без порошка бузины	330,7 ± 4,2	560,9 ± 24,0	45,44 ± 3,09

Было установлено, что общая антиоксидантная емкость водного экстракта порошка плодов бузины черной незначительно превышала ОАЕ метанольного экстракта в 1,16 раз, что может быть обусловлено высоким содержанием антоцианов [26], растворимость которых в воде лучше, чем в спиртах [27]. Полученные данные свидетельствуют о том, что порошок бузины вносит одинаковый вклад как в водный экстракт разработанного напитка, так и в метанольный. В случае разработанных напитков было определено, что ОАЕ метанольных экстрактов значительно превышали показатели аналогичных водных экстрактов. Емкости спиртовых экстрактов напитка с бузиной и без ее добавления превышали показатели водных в 1,18 раз и в 1,70 раз, соответственно. Поскольку ОАЕ

экстрактов порошка бузины не имели значительных отличий, можно сделать вывод, что различия показателей экстрактов напитков обусловлены наличием других растительных компонентов, богатых антиоксидантами, которые лучше растворяются в спирте, чем в воде. Так, порошок банана, составляющий 15,4% в опытном овсяном напитке (образец 2) и 18,2% в контрольном продукте (образец 3), характеризуется высоким содержанием флавоноидов [28], которые не растворимы в воде, а также катехином — водорастворимым сильным антиоксидантом и его производными. Содержащаяся в напитках черника также богата фенолами, флавоноидами и антоцианами [29], растворимость которых в различных растворителях может оказывать влияние на полученные значения ОАЕ.

Анализ полученных данных определения антирадикальной активности исследуемых образцов показал, что экстракт порошка бузины обладал наименьшим значением, что составило 32,66%. При сравнении полученного значения для плодов бузины с литературными источниками было обнаружено расхождение в показателях до 20% [30,31], что может объясняться биологическими различиями исследуемых образцов, а также отличными условиями проведения экстракции и условиями проведения анализа DPPH. Наибольшей АРА в отношении DPPH обладал опытный образец разработанного напитка (с добавлением порошка бузины), что существенно превышало аналогичные значения экстрактов порошка бузины и контрольного напитка в 2,65 раз и в 1,9 раз соответственно.

Полученные данные продемонстрировали, что показатели антиоксидантного потенциала опытного напитка (с добавлением порошка бузины) существенно превышали аналогичные значения для контрольного образца. Так, общие антиоксидантные емкости водного и метанольного экстрактов опытного продукта были больше ОАЕ контрольного напитка в 2,44 раза и в 1,69 раз соответственно. Антирадикальная активность продукта с бузиной также превышала значения АРА напитка без добавления порошка плодов в 1,9 раз. Стоит отметить, что показатели экстрактов порошка ягод бузины черной существенно уступали значениям как опытного, так и контрольного образца. Анализируя данные, был сделан вывод, что добавление порошка плодов бузины черной в выбранном соотношении существенно увеличивает биологические свойства овсяного напитка, делая его более богатым и перспективным источником природных антиоксидантов.

Оценку потери антиоксидантных свойств бузины при приготовлении напитков оценивали путем сложения ранее измеренных показателей ОАЕ и АРА экстрактов порошка и контрольного образца и сравнения полученных значений со значениями опытного образца (Рисунок 1).

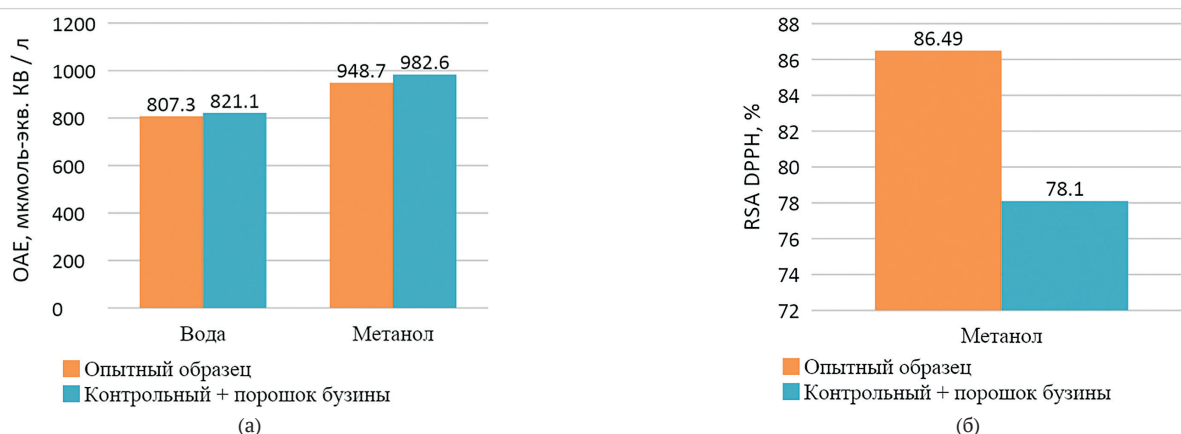


Рисунок 1. Оценка потери антиоксидантных свойств порошка бузины черной при приготовлении разработанного овсяного напитка: а — общая антиоксидантная емкость; б — антирадикальная активность

Figure 1. Assessment of losses of the antioxidant properties of the elder powder upon preparation of the developed oat-based drink: а — total antioxidant capacity; б — antiradical activity

Суммарная ОАЕ водных экстрактов порошка бузины и контрольного продукта составила 821,1 мкмоль-экв. кверцетина/л, а метанольных — 982,6 мкмоль-экв. кверцетина/л, что незначительно превышало аналогичные показатели экстрактов опытного напитка и входило в диапазон погрешности метода. На Рисунке 1(а) наглядно видно, что при приготовлении разработанного овсяного напитка плоды бузины черной не теряют ОАЕ, определенную методом FRAP, и сохраняют хелатирующую активность. Суммарная АРА метанольных экстрактов порошка бузины и контрольного продукта, выраженная в $RS_{DPPH} \%$, и представленная на Рисунке 1(б), составила 78,1%, что уступало значению АРА опытного напитка на 9,7%. Полученные результаты позволяют сделать предположение, что при приготовлении разработанного напитка с добавлением порошка плодов бузины теряется примерно 10% жирорастворимых антиоксидантов, действующих по механизму HAT (hydrogen atom transfer), в то время как АО, действующие по механизму SET (single electron transfer), полностью сохраняются, о чем свидетельствует отсутствие разницы между суммарными ОАЕ порошка и контрольного образца со значениями ОАЕ опытного напитка. Однако для установления более точных потерь растительных антиоксидантов необходимо исследовать вклад в антиоксидантный потенциал разработанных напитков каждого компонента, так как ягоды черники, бананы и сами овсяные хлопья содержат фитохимические вещества, в том числе антиоксидантного действия.

4. Выводы

Был разработан функциональный овсяной напиток, обогащенный растительными компонентами, в том числе порошком плодов бузины черной (*Sambucus nigra*). Исследование антиоксидантного потенциала экстрактов порошка ягод бузины, контрольного (без ягод бузины) и опытного (с ягодами бузины) образцов разработанного напитка включало определение общей антиоксидантной емкости методом FRAP и антирадикальной активности методом DPPH. Было установлено, что показатели опытного образца существенно превышали аналогичные значения контрольного образца, а именно ОАЕ водного и метанольного экстрактов, в 2,44 раза и в 1,69 раз, соответственно, а значения АРА метанольного экстракта были выше в 1,9 раз. При оценке потери антиоксидантных свойств плодов бузины при приготовлении напитков было установлено, что теряется примерно 10% жирорастворимых антиоксидантов, действующих по механизму HAT, в то время как АО, действующие по механизму SET, полностью сохраняются. Было определено, что добавление порошка плодов бузины черной в выбранном соотношении в функциональные напитки на основе овсяных хлопьев существенно увеличивает биологические свойства продукта, делая его более богатым и перспективным источником природных антиоксидантов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Phaniendra, A., Jestadi, D.B., Periyasamy, L. (2015). Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(1), 11–26. <https://doi.org/10.1007/s12291-014-0446-0>
- El-Bahr, S.M. (2013). Biochemistry of free radicals and oxidative stress. *Science International*, 1(5), 111–117. <https://doi.org/10.5567/sciintl.2013.111.117>
- Lushchak, V.I. (2014). Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. *Chemico-Biological Interactions*, 224, 164–175. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2014.10.016>
- Баджиян, С.А. (2016). Влияние оксидативного стресса на организм человека. *Медицинская наука Армении*, 56(2), 12–20.
- Jomova, K., Valko, M. (2011). Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology*, 283(2–3), 65–87. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2011.03.001>
- Alkadi, H. (2020). A review on free radicals and antioxidants. *Infectious Disorders-Drug Targets*, 20(1), 16–26. <https://doi.org/10.2174/1871526518666180628124323>
- Sulaiman, M., Tijani, H.I., Abubakar, B.M., Haruna, S., Hindatu, Y., Mohammed, J. N. et al. (2013). An overview of natural plant antioxidants: analysis and evaluation. *Advances in Biochemistry*, 1(4), 64–72. <https://doi.org/10.11648/j.ab.20130104.12>
- Lourenço, S.C., Moldão-Martins, M., Alves, V.D. (2019). Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. *Molecules*, 24(22), Article 4132. <https://doi.org/10.3390/molecules24224132>
- Дыдыкин, А.С., Асланова, М.А. (2016). Функциональное питание — новая концепция здорового образа жизни. *Агротехника и технологии*, 55(3). Электронный ресурс: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/23406-funktsionalnoe-pitanie/> Дата обращения 25.04.2022
- Пастушкова, Е.В., Тихонов, С.Л., Чугунова, О.В. (2017). Использование чайных напитков антиоксидантной направленности для предупреждения развития стрессовых реакций. *Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: пищевые и биотехнологии* 5(4), 93–103. <https://doi.org/10.14529/food170412>
- Pepe, G., Somella, E., Cianciarulo, D., Ostacolo, C., Manfra, M., Di Sarro, V. et al. (2018). Polyphenolic extract from tarocco (*Citrus sinensis* L. osbeck) clone "lempso" exerts anti-inflammatory and antioxidant effects via NF- κ B and Nrf-2 activation in murine macrophages. *Nutrients*, 10(12), Article 1961. <https://doi.org/10.3390/nu10121961>
- Чернуха, И. М., Котенкова, Е.А., Василевская, Е.Р., Иванкин, А.Н., Лисцын, А.Б., Федулова Л. В. (2020). Изучение биологических эффектов ягод годжи различного географического происхождения на крысах с моделью алиментарной гиперлипидемии. *Вопросы питания*, 89(1), 37–45. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10004>
- Скурихин, И. М., Тутельян, В. А. (2007). Таблицы химического состава и калорийности российских продуктов питания. Москва: ДеЛи принт, 2007.
- Jayachandran, M., Chen, J., Chung, S., Xu, B. (2018). A critical review on the impacts of β -glucans on gut microbiota and human health. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 61, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2018.06.010>
- Domínguez, R., Zhang, L., Rocchetti, G., Lucini, L., Pateiro, M., Munekata, P.E.S. et al. (2020). Elderberry (*Sambucus nigra* L.) as potential source of antioxidants. Characterization, optimization of extraction parameters and bioactive properties. *Food Chemistry*, 330, Article 127266. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127266>
- Скрыпник, Л.Н., Курашова, А.А. (2019). Сравнительное исследование антиоксидантных свойств некоторых видов рода *Sambucus* L. *Химия растительного сырья*, 1, 127–137. <https://doi.org/32036258/lerto0223;236259>
- Młynarczyk, K., Walkowiak-Tomczak, D., Łysiak, G.P. (2018). Bioactive properties of *Sambucus nigra* L. as a functional ingredient for food and pharmaceutical industry. *Journal of Functional Foods*, 40, 377–390. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.025>
- Christensen, L.P., Kaack, K., Fretté, X.C. (2008). Selection of elderberry (*Sambucus nigra* L.) genotypes best suited for the preparation of elderflower extracts rich in flavonoids and phenolic acids. *European Food Research and Technology*, 227(1), 293–305. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0723-8>
- Sidor, A., Gramza-Michałowska, A. (2015). Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food — a review. *Journal of Functional Foods*, 18, 941–958. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.012>
- Маланкыч, Е.Л., Цицилин, А.Н. (2016). Лекарственные и эфирномасличные растения. Москва: ИНФРА-М, 2016.
- Vladimirov, G.K., Sergunova, E.V., Izmaylov, D. Yu., Vladimirov, Yu.A. (2016). Chemiluminescent determination of total antioxidant capacity in medicinal plant material. *Bulletin of Russian State Medical University*, 2, 62–68.
- Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21 Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Электронный ресурс: https://www.rosпотреbnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979 Дата обращения 25.04.2022
- Приказ Министерства Здравоохранения № 614 от 16.08.2016 с изменениями от 1.12.2020 г. «Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания». Электронный ресурс: <https://base.garant.ru/71485784/> Дата обращения 07.03.2022
- Chernukha, I., Fedulova, L., Vasilevskaya, E., Kulikovskii, A., Kupaeva, N., Kotenkova, E. (2021). Antioxidant effect of ethanolic onion (*Allium cepa*) husk extract in ageing rats. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2877–2885. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.020>

25. Kennas, A., Amellal-Chibane, H., Kessal, F., Halladj, F. (2020). Effect of pomegranate peel and honey fortification on physicochemical, physical, microbiological and antioxidant properties of yoghurt powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(1), 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.07.001>
26. Ozgen, M., Scheerens, J.C., Reese, R.N., Miller, R.A. (2010). Total phenolic, anthocyanin contents and antioxidant capacity of selected elderberry (*Sambucus canadensis* L.) accessions. *Pharmacognosy Magazine*, 6(23), 198–203. <https://doi.org/10.4103/0973-1296.66936>
27. Hatier, J.H.B., Gould, K.S. (2009). Anthocyanin function in vegetative organs. Chapter in a book: *Anthocyanins: biosynthesis, functions, and applications*. Springer, New York, NY, 2009.
28. Vijayakumar, S., Presannakumar, G., Vijayalakshmi, N.R. (2008). Antioxidant activity of banana flavonoids. *Fitoterapia*, 79(4), 279–282. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2008.01.007>
29. Faria, A., Oliveira, J., Neves, P., Gameiro, P., Santos-Buelga, C., de Freitas, V. et al. (2005). Antioxidant properties of prepared blueberry (*Vaccinium myrtillus*) extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17), 6896–6902. <https://doi.org/10.1021/jf0511300>
30. Dawidowicz, A.L., Wianowska, D., Baraniak, B. (2006). The antioxidant properties of alcoholic extracts from *Sambucus nigra* L. (antioxidant properties of extracts). *LWT-Food Science and Technology*, 39(3), 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.01.005>
31. Sidor, A., Gramza-Michałowska, A. (2015). Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food—a review. *Journal of Functional Foods*, 18, 941–958. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.012>

REFERENCES

1. Phaniendra, A., Jestadi, D.B., Periyasamy, L. (2015). Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 30(1), 11–26. <https://doi.org/10.1007/s12291-014-0446-0>
2. El-Bahr, S.M. (2013). Biochemistry of free radicals and oxidative stress. *Science International*, 1(5), 111–117. <https://doi.org/10.5567/sci-intl.2013.111.117>
3. Lushchak, V.I. (2014). Free radicals, reactive oxygen species, oxidative stress and its classification. *Chemico-Biological Interactions*, 224, 164–175. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2014.10.016>
4. Badzhinyan, S.A. (2016). Effect of oxidative stress on the human body. *Medical Science of Armenia*, 56(2), 12–20. (In Russian)
5. Jomova, K., Valko, M. (2011). Advances in metal-induced oxidative stress and human disease. *Toxicology*, 283(2–3), 65–87. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2011.03.001>
6. Alkadi, H. (2020). A review on free radicals and antioxidants. *Infectious Disorders-Drug Targets*, 20(1), 16–26. <https://doi.org/10.2174/1871526518666180628124323>
7. Sulaiman, M., Tijani, H.I., Abubakar, B.M., Haruna, S., Hindatu, Y., Mohammed, J. N. et al. (2013). An overview of natural plant antioxidants: analysis and evaluation. *Advances in Biochemistry*, 1(4), 64–72. <https://doi.org/10.11648/j.ab.20130104.12>
8. Lourenço, S.C., Moldão-Martins, M., Alves, V.D. (2019). Antioxidants of natural plant origins: From sources to food industry applications. *Molecules*, 24(22), Article 4132. <https://doi.org/10.3390/molecules24224132>
9. Dydykin, A.N., Aslanova, M.A. (2016). Functional nutrition is a new concept of a healthy lifestyle. *Agrotechnics and technologies*, 55(3). Retrieved from <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/23406-funktsionalnoe-pitanie/> Accessed April 25, 2022 (In Russian)
10. Pastushkova, E.V., Tikhonov, S.L., Chugunova V. O. (2017). The use of antioxidant tea beverages to prevent development of stress reactions. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 4(5), 93–103. <https://doi.org/10.14529/food170412> (In Russian)
11. Pepe, G., Sommella, E., Cianciarulo, D., Ostacolo, C., Manfra, M., Di Sarro, V., et al. (2018). Polyphenolic extract from tarocco (*Citrus sinensis* L. osbeck) clone “lempso” exerts anti-inflammatory and antioxidant effects via NF-KB and Nrf-2 activation in murine macrophages. *Nutrients*, 10(12), Article 1961. <https://doi.org/10.3390/nu10121961>
12. Chernukha I. M., Kotenkova E. A., Vasilevskaya E. R., Ivankin A. N., Lisitsyn A. B., Fedulova L. V. (2020). The study of biological effects of different geographical origin goji berries in rats with alimentary hypercholesterolemia. *Voprosy Pitaniia*, 89(1), 37–45. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10004> (In Russian)
13. Skurihin, I. M., Tutel'yan, V. A. 2007. Tables of chemical composition and caloric content of Russian food products. Moscow, DeLi Print, 2007. (In Russian)
14. Jayachandran, M., Chen, J., Chung, S., Xu, B. (2018). A critical review on the impacts of β -glucans on gut microbiota and human health. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 61, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2018.06.010>
15. Domínguez, R., Zhang, L., Rocchetti, G., Lucini, L., Pateiro, M., Munekata, P.E.S. et al. (2020). Elderberry (*Sambucus nigra* L.) as potential source of antioxidants. Characterization, optimization of extraction parameters and bioactive properties. *Food Chemistry*, 330, Article 127266. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127266>
16. Skrypnik, L.N., Kurashova, A.A. (2019). Comparative study of the antioxidant properties of some species of the genus *Sambucus* L. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 1, 127–137. <https://doi.org/32036258/ler-to0223;236259> (In Russian)
17. Młynarczyk, K., Walkowiak-Tomczak, D., Łysiak, G.P. (2018). Bioactive properties of *Sambucus nigra* L. as a functional ingredient for food and pharmaceutical industry. *Journal of Functional Foods*, 40, 377–390. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.11.025>
18. Christensen, L.P., Kaack, K., Fretté, X.C. (2008). Selection of elderberry (*Sambucus nigra* L.) genotypes best suited for the preparation of elderflower extracts rich in flavonoids and phenolic acids. *European Food Research and Technology*, 227(1), 293–305. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0723-8>
19. Sidor, A., Gramza-Michałowska, A. (2015). Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food—a review. *Journal of Functional Foods*, 18, 941–958. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.012>
20. Malankina, E.L., Cicillin, A.N. (2016). Medicinal and essential oil plants. Moscow: INFRA-M, 2016. (In Russian)
21. Vladimirov, G.K., Sergunova, E.V., Izmaylov, D. Yu., Vladimirov, Yu.A. (2016). Chemiluminescent determination of total antioxidant capacity in medicinal plant material. *Bulletin of Russian State Medical University*, 2, 62–68.
22. Guidelins MP 2.3.1.0253–21 Norms of physiological needs for energy and nutrients for various groups of the population of the Russian Federation. Retrieved from https://www.rosпотреbnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979 Accessed April 25, 2022 (In Russian)
23. Order of the Ministry of Health No. 614 of August 16, 2016, as amended on December 1, 2020, “Recommendations on rational norms for the consumption of food products that meet modern requirements for a healthy diet.” Retrieved from <https://base.garant.ru/71485784/> Accessed March 07, 2022 (In Russian)
24. Chernukha, I., Fedulova, L., Vasilevskaya, E., Kulikovskii, A., Kupaeva, N., Kotenkova, E. (2021). Antioxidant effect of ethanolic onion (*Allium cepa*) husk extract in ageing rats. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(5), 2877–2885. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.02.020>
25. Kennas, A., Amellal-Chibane, H., Kessal, F., Halladj, F. (2020). Effect of pomegranate peel and honey fortification on physicochemical, physical, microbiological and antioxidant properties of yoghurt powder. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(1), 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.07.001>
26. Ozgen, M., Scheerens, J.C., Reese, R.N., Miller, R.A. (2010). Total phenolic, anthocyanin contents and antioxidant capacity of selected elderberry (*Sambucus canadensis* L.) accessions. *Pharmacognosy Magazine*, 6(23), 198–203. <https://doi.org/10.4103/0973-1296.66936>
27. Hatier, J.H.B., Gould, K.S. (2009). Anthocyanin function in vegetative organs. Chapter in a book: *Anthocyanins: biosynthesis, functions, and applications*. Springer, New York, NY, 2009.
28. Vijayakumar, S., Presannakumar, G., Vijayalakshmi, N.R. (2008). Antioxidant activity of banana flavonoids. *Fitoterapia*, 79(4), 279–282. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2008.01.007>
29. Faria, A., Oliveira, J., Neves, P., Gameiro, P., Santos-Buelga, C., de Freitas, V. et al. (2005). Antioxidant properties of prepared blueberry (*Vaccinium myrtillus*) extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(17), 6896–6902. <https://doi.org/10.1021/jf0511300>
30. Dawidowicz, A.L., Wianowska, D., Baraniak, B. (2006). The antioxidant properties of alcoholic extracts from *Sambucus nigra* L. (antioxidant properties of extracts). *LWT-Food Science and Technology*, 39(3), 308–315. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.01.005>
31. Sidor, A., Gramza-Michałowska, A. (2015). Advanced research on the antioxidant and health benefit of elderberry (*Sambucus nigra*) in food—a review. *Journal of Functional Foods*, 18, 941–958. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.07.012>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Купаева Надежда Владимировна — младший научный сотрудник, Экспериментальная клиника-лаборатория биологически активных веществ животного происхождения, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-95-11 (доб. 209) E-mail: NVkupaeva@yandex.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1066-5589 * автор для контактов	Nadezhda V. Kupaeva, Junior Researcher, Experimental Clinic-Laboratory of Biologically Active Substances of an Animal Origin, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 (209) E-mail: NVkupaeva@yandex.ru ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1066-5589 * corresponding author
Ильина Мария Александровна — магистрант, Высшая школа биотехнологий и пищевых производств, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого 195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29 Тел.: +7-812-550-07-17 E-mail: maria.nutritionista@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0581-6001	Maria A. Iliina, Master's Student, Higher School of Biotechnology and Food Industry, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29, Polytechnicheskaya str., 195251, St. Petersburg, Russia Tel.: +7-812-550-07-17 E-mail: maria.nutritionista@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0581-6001
Светличная Мария Вячеславовна — студент, факультет естественных наук, Российский Химико-Технологический Университет им. Д. И. Менделеева 125047, Москва, Миусская пл., 9 Тел.: +7-985-476-47-51 E-mail: sv.mariya.vy@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5235-9355	Mariya V. Svetlichnaya, Student, Faculty of Natural Sciences, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia 9, Miusskaya sqr., 125047, Moscow, Russia Tel.: +7-985-476-47-51 E-mail: sv.mariya.vy@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5235-9355
Зубарев Юрий Николаевич — заместитель директора, Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова 109316, Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-95-11 (доб. 110) E-mail: yu.zubarev@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6519-4553	Yuri N. Zubarev, Deputy Director, V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems 26, Talalikhina str., 109316, Moscow, Russia Tel.: +7-495-676-95-11 (110) E-mail: yu.zubarev@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6519-4553
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-164-171>

Received 26.05.2022

Accepted in revised 15.06.2022

Accepted for publication 20.06.2022

© Myagkonosov D. S., Smykov I. T., Abramov D. V., Delitskaya I. N., Krayushkina V. N., 2022



Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

EFFECT OF THE RECOMBINANT CHYMOSINS OF DIFFERENT ORIGINS ON PRODUCTION PROCESS OF SOFT CHEESE

Dmitriy S. Myagkonosov*, Igor T. Smykov, Dmitriy V. Abramov,
Irina N. Delitskaya, Valentina N. Krayushkina

All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking, Uglich, Yaroslavl Region, Russia

KEY WORDS:

milk-clotting enzymes,
recombinant chymosin,
enzymatic coagulation,
Streptococcus thermophilus,
soft cheeses, cheese whey

ABSTRACT

The effect of milk-clotting enzymes (MCE) with different milk-clotting activity (MCA) and proteolytic activity (PA) based on recombinant calf chymosins (Chy-max® Extra: MCA=554 IMCU/g; PA=0.71 UA/g), camel (Chy-max® M: MCA=904 IMCU/g; PA=0.68 PA units/g) and "modified" chymosin (Chy-max® Supreme: MCA=912 IMCU/g; PA=0.26 PA units/g) on the duration of milk coagulation, the composition of whey and fresh cheeses in the production of soft cheese of the Italian type Crescenza at a dose of MCE equal to 1500, 2500 and 3500 IMCU per 100 kg of milk was studied. With an equal introduction dose, the shortest average duration of curd formation is noted for Chy-max Supreme MCE (15.0–27.5 min), long one — for Chy-max M MCE (17.0–31.0 min), and the longest one — for MCE Chy-max Extra (18.0–35.5 min). There was no statistically significant effect ($p < 0.05$) of the type and dose of MCE on the total duration of cheese processing, as well as on the content of fat, protein and dry matter of whey. The type and dose of MCE had an impact on the properties of fresh cheeses: cheese options produced with the maximum dose of Chy-max Supreme had a statistically significant ($p < 0.05$) higher average dry matter content (49.61%) than cheese options made with minimal doses of MCE (47.64–47.91%).

FUNDING: The article was prepared as part of the research under the state assignment No. FNEN-2019–0010 of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences.

Поступила 26.05.2022

Поступила после рецензирования 15.06.2022

Принята в печать 20.06.2022

© Мягконосов Д. С., Смыков И. Т., Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Краюшкина В. Н., 2022

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ВЛИЯНИЕ РЕКОМБИНАНТНЫХ ХИМОЗИНОВ РАЗНОГО ТИПА НА ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА МЯГКОГО СЫРА

Мягконосов Д. С.*, Смыков И. Т., Абрамов Д. В., Делицкая И. Н., Краюшкина В. Н.

Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия, Углич, Ярославская область, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

молокоосвертывающие
ферменты, рекомбинантный
химозин, ферментативное
свертывание, *Streptococcus
thermophilus*, мягкие сыры,
подсырная сыворотка

АННОТАЦИЯ

Исследовано влияние молокоосвертывающих ферментов (МФ), обладающих разной молокоосвертывающей активностью (МСА) и протеолитической активностью (ПА), на основе рекомбинантных химозинов теленка (Chy-max® Extra: MCA=554 IMCU/г; ПА=0,71 ед. ПА/г), верблюда (Chy-max® M: MCA=904 IMCU/г; ПА=0,68 ед. ПА/г) и модифицированного химозина (Chy-max® Supreme: MCA=912 IMCU/г; ПА=0,26 ед. ПА/г) на продолжительность свертывания молока, а также на состав сыворотки и свежих сыров при производстве мягкого сыра итальянского типа Кресченца при дозе внесения МФ, равной 1500, 2500 и 3500 IMCU на 100 кг молока. При равной дозе внесения наименьшая средняя продолжительность образования сгустка отмечается у МФ Chy-max Supreme (15,0–27,5 мин), большая — у МФ Chy-max M (17,0–31,0 мин) и наибольшая — у МФ Chy-max Extra (18,0–35,5 мин). Отсутствовало статистически значимое влияние ($p < 0,05$) типа и дозы МФ на общую продолжительность изготовления сыров, а также на содержание жира, белка и сухого вещества сыворотки. Тип и доза МФ оказали влияние на свойства свежих сыров: варианты сыров, произведенные с максимальной дозой Chy-max® Supreme, имели статистически достоверно ($p < 0,05$) большее среднее содержание сухого вещества (49,61%), чем варианты сыров, произведенные с минимальными дозами исследованных МФ (47,64–47,91%).

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FNEN-2019–0010 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

1. Introduction

The paper deals with the issues of improving the technology of soft cheeses. Cheeses have a high biological value and are

healthy food products. A significant disadvantage of soft cheeses is their short shelf life, which limits the interest in this product on the part of chain stores and reduces its sales. Another im-

FOR CITATION: Myagkonosov, D. S., Smykov, I. T., Abramov, D. V., Delitskaya, I. N., Krayushkina, V. N. (2022). Effect of the recombinant chymosins of different origins on production process of soft cheese. *Food systems*, 5(2), 164–171. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-164-171>

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мягконосов, Д. С., Смыков И. Т., Абрамов, Д. В., Делицкая, И. Н., Краюшкина, В. Н. (2022). Влияние рекомбинантных химозинов разного типа на процесс производства мягкого сыра. *Пищевые системы*, 5(2), 164–171. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-164-171>

portant point is the high cost of cheeses, which limits consumer demand for them. This article discusses technological methods aimed at solving these problems.

An increase in the shelf life of soft cheeses can be achieved through the use of milk-clotting enzymes (MCE) with low proteolytic activity [1,2,3,4,5]. Among all types of MCE used in the cheese industry, recombinant chymosins have the lowest level of proteolytic activity [6,7]. The group of recombinant chymosins includes chymosins of various origins, which are arranged in the following sequence in terms of MCA/PA values: calf chymosin < camel chymosin < modified camel chymosin [8,9]. The effect of calf and camel chymosins on proteolysis in cheeses has been extensively studied. The results obtained show a distinct decrease in the level of proteolysis and an increase in the shelf life of cheeses when replacing calf chymosin with camel chymosin [10,11,12]. Chymosin-based MCE was put on the market under the brand name Chy-max® Supreme by Chr. Hansen A/S in 2019. Modified chymosin was obtained by artificial change of the amino acid composition of natural chymosin (presumably camel chymosin), which made it possible to lower its PA level [8].

The use of recombinant chymosins in combination with Direct Vat Starters (DVS) opens up a number of new possibilities for cheesemakers. The improvement in the quality of commercial milk that has taken place to date is associated with its insufficient acidity (at pH 6.6–6.7), which is unfavorable for the activity of “traditional” MCEs (calf rennet, microbial proteases, pepsins). Recombinant chymosins are guaranteed to coagulate milk even with the active acidity of fresh milk, therefore, when using them, the starter activation process, which is carried out to reduce the pH of milk, is not required [12]. On the other hand, activation of the starter is conducted not only for acidification, but also for the accumulation of cells of the starter microflora, which is a necessary condition for the rapid metabolization of milk sugar and lowering the pH of the cheese. To compensate for the insufficient volume of starter microorganisms when using DVS without subsequent activation, it is possible to introduce an increased dose of DVS into the milk. Recently, their cost has significantly decreased, and an economically justified opportunity has appeared to use DVS in an increased dosage [13].

As a result of the combination of the use of recombinant chymosins and a high dose of DVS, many beneficial effects are achieved [12,14]:

- exclusion of starter activation eliminates the risk of activation in milk and subsequent reproduction in cheese of foreign microflora, which has retained its viability after pasteurization;
- rapid coagulation of milk prevents the threat of infection of the starter by a bacteriophage due to the impossibility of circulation of bacteriophages in the milk curd, which ensures the stable development and acid formation of the starter;
- rapid coagulation leads to a reduction in the total duration of the processing of grain in the tank;
- later activation of the DVS-starter and later onset of acid formation (after the formation of the curd) leads to less loss of colloidal calcium phosphate by casein micelles and promotes the formation of a dense curd, which quickly separates moisture during the syneresis process, which also reduces the curd processing time and improves the yield of cheese;
- a high dose of starter leads to an acceleration of the acid formation process and a reduction in the time required to reduce the pH of the cheese.

The new advanced technology ensures consistently high cheese quality and increased production profitability. This effect is achieved by minimizing the loss of milk dry matter in the manufacture of cheese, as well as by reducing labor, energy, time

costs for production, including due to the absence of costs for maintaining a starter department with personnel when using DVS-starter. Reducing the duration of the technological process gives an increase in the mass of milk processed at the enterprise per day, which increases the equipment turnover ratio and reduces the payback period for capital expenditures on equipment and premises.

A practical example of the implementation of an improved technology using recombinant camel chymosin and DVS-starter is the technology for the production of soft cheese of the Italian type Crescenza [2,15]. This technology is of the greatest interest for small cheese factories, since it involves the use of whole milk for the manufacture of cheese. This allows a more cost-effective conversion of milk dry matter and a higher yield of cheese with excellent taste. Another advantage of Crescenza cheese is the use of a culture of thermophilic streptococcus. The use of starter from thermophilic streptococcus guarantees a low level of lactic acid formation [13] and a low level of proteolysis during storage [16], so Crescenza cheese has a long shelf life (more than 21 days), which is of interest to chain stores and expands sales opportunities.

In this paper, the influence of MCE based on different types of recombinant chymosins on the processes occurring during the production and storage of soft cheeses, using the example of Crescenza cheese, was studied. The results obtained are of practical interest in terms of improving the technology for the manufacture of soft cheeses, reducing the cost, increasing the yield of cheeses and increasing their shelf life.

2. Materials and methods

2.1. Materials

In the studies, cow's milk was used from one supplier-manufacturer — AgriVolga LLC (Yaroslavl region, Uglich district, Burmasovo village).

In the production of cheese, lyophilized bacterial concentrates of direct application STI-12 and STI-14 (Chr. Hansen A/S, Denmark) based on the culture of *Streptococcus thermophilus* were used as lactic acid starter. To coagulate milk, milk-clotting enzyme preparations (MCEP) of the following brands were used:

- Chy-max® Extra 600 based on recombinant calf chymosin. Nominal MCA 600 IMCU/cm³ (Chr. Hansen A/S, Denmark);
- 1000 based on recombinant camel chymosin. Nominal MCA 1000 IMCU/cm³ (Chr. Hansen A/S, Denmark);
- Chy-max® Supreme 1000 based on recombinant modified chymosin. Nominal MCA 1000 IMCU/cm³ (Chr. Hansen A/S, Denmark).

2.2 Methods

2.2.1. Methods for studying the properties of milk-clotting enzymes

The determination of the total proteolytic activity was carried out according to GOST 34430–2018¹, as applied to weakly acidic proteases (at pH 5.3).

2.2.2. Methods for studying the properties of milk, whey and cheeses

The active acidity of milk, whey, and cheeses was determined on a pH-meter pH-150MI (ООО Измерительная Техника, Russia). Potentiometric electrodes of a pH meter immersed in the cheese mass measured the active acidity of cheeses during whey draining. The active acidity of cheese after salting was determined in a suspension of cheese, for the preparation of which 10 g of cheese was ground in a mortar with 10 cm³ of deionized water.

¹ GOST 34430–2018 Enzyme preparations for food industry. Method for the determination of proteolytic activity. M.: Standartinform, 2018. — 12 p.

The mass fraction of moisture in cheeses was determined by drying at a temperature of $102 \pm 2^\circ\text{C}$ according to the Russian state standard GOST 3626–73².

The mass fraction of moisture in whey was determined by the method according to GOST 3626–73 (clause 2.3, in relation to milk).

The mass fraction of total protein in milk and whey was determined by the Kjeldahl method according to the Russian state standard GOST 23327–98³.

The mass fraction of total protein in cheeses was determined by the Kjeldahl method according to the Russian state standard GOST R54662–2011⁴.

The mass fraction of fat in milk and whey was determined by the acid method according to the Russian state standard GOST 5867–90⁵.

The mass fraction of fat in cheeses was determined by the acid method according to the Russian state standard GOST R55063–2012⁶.

2.2.3. Methods for controlling the process of milk curd formation

In order to obtain comparable results, the moment when the curd was ready for cutting was determined online using a measuring system based on the Hot-Wire method [17,18].

2.2.4. Cheese production process

Italian soft cheese of the Crescenza type with a fat content in dry matter of at least 55% was made according to the technological regulations reproduced on the basis of data from Alinovi et al [2] (Table 1).

After acidification to final pH was completed, the fresh cheese was salted by immersion in an 18% salt solution for 1 h at a temperature of $4 \pm 2^\circ\text{C}$. After salting, the cheeses were dried overnight (14–16 h) at a temperature of $4 \pm 2^\circ\text{C}$ and a relative humidity of $85 \pm 5\%$, and then packaged. Packing was carried out in an inert gas atmosphere (a mixture of 70% nitrogen and 30% carbon dioxide) into Amivak CH-B polymer film bags (Atlantis-Pak, Russia) using a Henkelman Boxer 42 packaging machine (Henkelman Vacuum Systems). Packaged cheeses were stored at $3 \pm 1^\circ\text{C}$.

2.2.5. Methods of statistical analysis

The study was conducted based on the design of a full factorial experiment [19], which includes two categorical factors that vary at three levels: the factor “brand of MCEP” and the factor “dose of MCEP”. The introduction doses of MCE in the experiment were selected based on the analysis of scientific literature, based on the technical documentation for MCE, as well as the results of our own research [5,20]. Table 2 shows the experimental plan.

The experiments were carried out in triplicate in a randomized order. Mathematical data processing was carried out using the software packages Microsoft Excel and Statsoft Statistica (v. 5.5).

The influence of the factor “MCEP brand” on the response variables “coagulation duration” and “curd elasticity modulus” was assessed using one-way analysis of variance using Tukey’s

² GOST 3626–73 Milk and milk products. Methods for determination of moisture and dry substances. M.: Standartinform, 2009. — 11 p.

³ GOST 23327–98 Milk and milk products. Determination of mass part of total nitrogen by Kjeldahl method and determination of mass part of protein. M.: Standartinform, 2009. — 8 p.

⁴ GOST R54662–2011 Cheeses and processed cheeses. Determination of protein mass fraction by the Kjeldahl method. M.: Standartinform, 2012–16 p.

⁵ GOST 5867–90 Milk and dairy products. Method of determination of fat. M.: Standartinform, 2009. — 12 p.

⁶ GOST R55063–2012 Kinds of cheese and processed cheese. The rules of tests acceptance, sampling and control methods. M.: Standartinform, 2013. — 28 p.

Table 1

Technological regulations for the production of Crescenza cheese

Process stage		Process parameters
Fat content of standardized milk, %		3.7±0.1
Acidity of the milk mixture before pasteurization, pH units		6.62±0.05
Pasteurization mode of milk mixture		75±1 °C; 30 sec
Dose of introduction of glucono-delta-lactone (GDL), g/kg of milk		0.8±0.2
The duration of ageing of the milk mixture with GDL, min		40±2
Acidity of milk before GDL addition, pH units		6.50±0.02
Introduction dose of milk-starter, U/100 kg of milk *		50
Duration of milk ripening after milk-starter addition, min		10–15
Acidity before the introduction of a milk-clotting enzyme, pH units		6.42±0.02
Introduction dose of MCE, IMCU/100 kg of milk		1 500, 2 500 or 3 500
Temperature of milk coagulation and curd processing, °C		38.5±0.5
Coagulation time, min		15±2
Duration of cutting and formation of curd grain, min		2
Average curd grain size, mm		20±2
Curd holding under whey, min		25±1
Mixing of curd before discharge into molds, min		7.5
Curd grain acidity before molding, pH units		6.30±0.05
Temperature in the fermentation chamber during whey draining, °C		38±1
Whey draining time into the molds, min		220±20
The number of turns of molds during whey draining		3
Indicators of cheese mass before salting	acidity, pH units	5.30±0.05
	temperature, °C	35.5±1.0
Weight of the head before salting, kg		~ 2
Salting duration, min		60
Weight of the head after salting, kg		~ 2

Note:

* U — units of acid-producing activity of DVS-cultures produced by Chr. Hansen. The table shows the nominal durations of the process steps $\pm$ tolerances.

Table 2

Experiment plan

Option	Brand of MCE	Introduction dose of MCE, IMCU/100 kg of milk
1	Chy-max Extra	1 500
2	Chy-max M	1 500
3	Chy-max Supreme	1 500
4	Chy-max Extra	2 500
5	Chy-max M	2 500
6	Chy-max Supreme	2 500
7	Chy-max Extra	3 500
8	Chy-max M	3 500
9	Chy-max Supreme	3 500

pairwise comparison method. The influence of a pair of factors “MCEP brand” and “MCEP dose” on the response variables characterizing the parameters of the technological process at the stage of producing cheese in a cheesemaking tank, indicators of the whey composition and indicators of the composition of cheeses at the beginning of the shelf life was assessed using a two-way analysis of variance by the method of multiple comparisons of Scheffé [19].

3. Results and discussion

3.1. Milk-clotting and proteolytic activity of MCE

One of the goals of the experiment was to evaluate the influence of the level of nonspecific PA on the course of technological processes in the production of cheeses, as well as on the dynamics of proteolysis during the ripening of cheeses. Table 3 shows data on the dose of non-specific PA added to milk when using different doses of different types of MCE for coagulation.

Table 3

Introduction dose of MCE per unit of milk-clotting and total proteolytic activity

Brand of MCE	Milk-clotting activity of MCE (MA), nominal, IMCU/g*	Proteolytic activity of MCE (PA), units PA/g	The introduction of MCE in terms of units PA, at an introduction dose of in terms of units milk-clotting activity, IMCU/100 kg milk		
			1500	2500	3500
Chy-max Extra	554	0,71	1.92	3.21	4.49
Chy-max M	904	0,68	1.13	1.88	2.63
Chy-max Supreme	912	0,26	0.43	0.71	1.00

Note:

* The milk-clotting activity of MCE in the liquid form is recalculated from the nominal activity of 1 cm³ to the nominal activity of 1 g, based on the measured density of these preparations: Chy-max Extra 600 Liquid — 1.083 g/cm³, Chy-max M 1000 — 1.107 g/cm³, Chy-max Supreme — 1.096 g/cm³.

3.2 Milk coagulation process

Krescenza cheese production technology according to Ali-novi et al. [2] provides for the use of direct introduced starters without activation with the MCE introduction 15 minutes after adding the dry starter into milk. A feature of the technology for

the production of soft cheese Crescenza is the use of thermophilic streptococcus starter and a high coagulation temperature (38 °C). Such a coagulation temperature is close to the optimum activity of chymosins (~ 45 °C), which contributes to an increase in MCE activity and makes it possible to use reduced doses of MCE without compromising the duration of milk coagulation and the quality of the resulting cheese.

MCE was introduced into milk after it was kept with GDL until an acidity of 6.42±0.02 pH units was reached and before adding DVS-starter. In order to obtain comparable results, the moment when the curd was ready for cutting was determined online using a measuring system based on the Hot-Wire method. The milk with the introduced MCE solution was stirred for 2 min, after which the sensors of the measuring system were immersed in the product. The moment of completion of mixing is considered the beginning of coagulation. The moment of coagulation completion (readiness of the curd for cutting) was confirmed by a qualified cheesemaker by an organoleptic test for curd fracture.

Figure 1 presents the graphs showing the dependence of the duration of milk coagulation and the modulus of elasticity of the curd at the moment of readiness for cutting on the type and dose of MCE in the manufacture of Crescenza cheese.

Figure 1(A) shows data on the effect of the type and introduction dose of MCEP of different brands on the duration of milk coagulation. At an introduction dose of MCE equal to 1,500 IMCU/100 kg of milk, there are statistically significant differences (Tukey's test, $p < 0.05$) in the average duration of milk coagulation of MCE of different types: Chy-max Supreme (27.5±1.3 min) < Chy-max M (31.0±1.0 min) < Chy-max Extra (35.5±1.5 min). With an increase in the dose of MCE added to milk from 1,500 to 2,500 IMCU/100 kg, the duration of milk coagulation is reduced by ~ 2 times and for different types of MCE is: Chy-max Supreme (15.0±1.0 min) < Chy-max M (19.0±1.0 min) ≈ Chy-max Extra (19.0±1.0 min). There are no statistically significant variances in the duration of milk coagulation between MCE Chy-max M and Chy-max Extra at a dose of 2,500 IMCU/100 kg of milk (Tukey's test, $p < 0.05$). The introduction of MCE into milk at a dose of 3,500 IMCU/100 kg does not lead to a statistically significant (Tukey test, $p < 0.05$) reduction in the duration of coagulation, compared with a dose of 2,500 IMCU/100 kg.

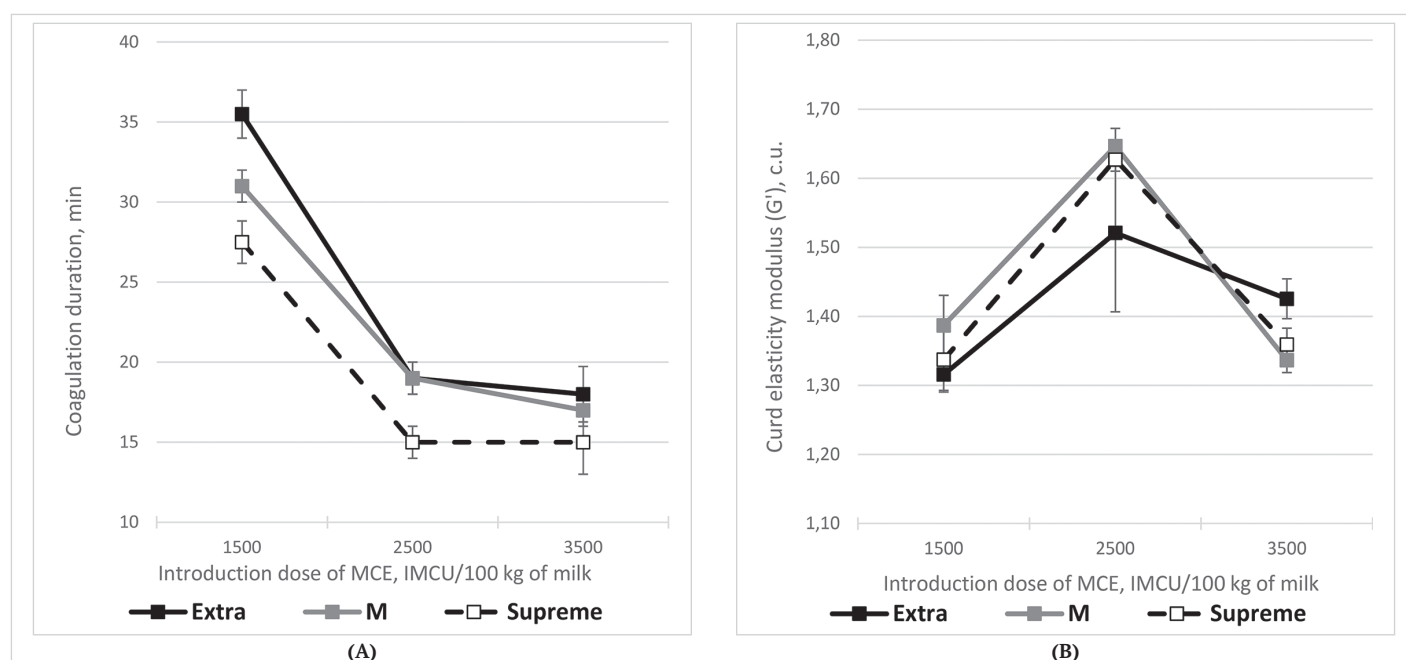


Figure 1. Influence of the type and dose of introduction of MCEP of different brands on: A) the coagulation duration; B) the modulus of elasticity of the curd at the moment of readiness for cutting. Designations for MCEP brands:

Extra — Chy-max Extra; M — Chy-max M; Supreme — Chy-max Supreme. Data are given in the form “mean ± standard deviation” (n = 3)

Thus, the differences in the proteolytic specificity of the studied MCEP, expressed in the level of MCA/PA, led to variances in the dynamics of milk coagulation by the given MCEP. With an equal dose of MCEP in terms of MCA, the shortest duration of milk coagulation was shown by MCEP Chy-max Supreme, which has the highest MCA/PA ratio among the studied MCEP.

There were no statistically significant differences (Tukey's test, $p < 0.05$) in the value of the elasticity modulus of the milk curd at the time of its readiness for cutting, when using different types of MCE at any dose used (Figure 1(B)).

3.3 Curd processing

In the process of making cheeses, the following indicators were studied:

- ❑ the duration of the individual stages of the processing procedure in the cheesemaking tank;
- ❑ the dynamics of changes in the active acidity of milk and milk curd.

The duration of processing stages of the curd and cheese grain in the cheesemaking tank was determined by the moment of reaching the required density of the curd and cheese grain, estimated by the foreman-cheesemaker.

Table 4 shows the actual values of the process indicators at the stage of making Crescenza cheese in the tank.

The analysis of the data in Table 4, carried out by the Scheffé method of multiple comparisons ($p < 0.05$), shows that at the stage of making cheese in a tank with an equal dose of MCE based on recombinant chymosins of different types, it was possible to identify the following differences:

- ❑ at a dose of 1,500 IMCU/100 kg of milk, there are differences in the duration of coagulation between the boiling options with different types of MCEP;
- ❑ at a dose of 2,500 and 3,500 IMCU/100 kg of milk, there are differences in the duration of coagulation only in the case of Chy-max Supreme MCEP;
- ❑ at a dose of 1,500 IMCU/100 kg of milk — there are differences in the duration of grain processing before molding until the grain acquires a standard density, between the boiling options with MCEP of different types;
- ❑ at any dose of the studied MCE, there are no differences in the duration of whey draining and the total duration of cheese production;
- ❑ after molding, cheeses made with a minimum dose of Chy-max Extra have the lowest pH.

To establish the effect of the type of MCE used on the amount of milk dry matter lost to whey, indicators of whey composition were evaluated (Table 5).

When analyzing the data obtained (Table 5) using the Scheffé method of multiple comparisons, it was found that there is no statistically significant effect ($p < 0.05$) of the type of MCE in the used dosage on fat, protein and dry matter content of whey. This was explained by the low level of PA of all used MCE, in which there are no negative consequences from the use of MCE in the form of excessive proteolysis of the curd at the stage of processing in the tank, which is associated with an increase in the loss of dry matter of the curd to whey. Therefore, the differences in the PA value between the options of the studied MCE did not lead to differences in the whey composition between the options of cheeses produced with these MCE.

Figure 2 shows a typical micropreparation of a cheese whey sample, which was obtained from one of the cheese samples made during the work.

In the micropreparation of cheese whey, shown in Figure 2, along with fat globules, curd microparticles (so-called cheese dust) are visible. Cheese dust particles are formed as a result of crushing of the cheese curd during its mechanical processing.

Table 4. Technological process indicators at the stage of production of samples of Crescenza cheese in a cheesemaking tank

Process parameter	Dose*	Parameter value for cheeses produced with MCE brand		
		Chy-max® Extra 600	Chy-max® M 1000	Chy-max® Supreme 1000
Active acidity of milk after pasteurization, pH units	1 500	6.57 ± 0.01 ^a	6.55 ± 0.04 ^a	6.52 ± 0.04 ^a
	2 500	6.62 ± 0.02 ^a	6.60 ± 0.04 ^a	6.62 ± 0.03 ^a
	3 500	6.52 ± 0.04 ^a	6.54 ± 0.04 ^a	6.54 ± 0.01 ^a
Active acidity after aging with GDL**, pH units	1 500	6.37 ± 0.01 ^a	6.30 ± 0.02 ^b	6.36 ± 0.03 ^a
	2 500	6.49 ± 0.04 ^a	6.47 ± 0.04 ^a	6.49 ± 0.03 ^a
	3 500	6.37 ± 0.02 ^a	6.37 ± 0.02 ^a	6.38 ± 0.04 ^a
Active acidity before coagulation, pH units	1 500	6.31 ± 0.01 ^a	6.26 ± 0.03 ^a	6.34 ± 0.04 ^a
	2 500	6.42 ± 0.04 ^a	6.42 ± 0.05 ^a	6.44 ± 0.02 ^a
	3 500	6.35 ± 0.04 ^a	6.38 ± 0.01 ^a	6.36 ± 0.06 ^a
Coagulation temperature, °C	1 500	37.7 ± 0.2	38.5 ± 0.4	38.5 ± 0.3
	2 500	37.8 ± 0.3	37.4 ± 0.4	38.6 ± 0.4
	3 500	37.8 ± 0.1	38.7 ± 0.2	38.2 ± 0.3
Coagulation duration, min	1 500	35.5 ± 1.5 ^a	31.0 ± 2.7 ^b	27.5 ± 1.3 ^c
	2 500	19.0 ± 1.0 ^a	19.0 ± 1.0 ^a	15.0 ± 1.0 ^b
	3 500	18.0 ± 1.7 ^a	17.0 ± 1.0 ^a	15.0 ± 2.0 ^b
Duration of cutting and formation of curd grain***, min	1 500	7.0 ± 1.0 ^a	8.0 ± 1.7 ^a	7.0 ± 1.0 ^a
	2 500	8.0 ± 1.0 ^a	8.0 ± 1.0 ^a	9.0 ± 1.0 ^a
	3 500	9.0 ± 1.0 ^a	8.0 ± 1.0 ^a	9.0 ± 1.7 ^a
Curd holding under whey, min	1 500	27.5 ± 1.5 ^a	25.0 ± 2.0 ^a	25.0 ± 2.0 ^a
	2 500	26.0 ± 1.7 ^a	25.0 ± 1.0 ^a	25.0 ± 2.0 ^a
	3 500	25.0 ± 1.0 ^a	25.0 ± 2.0 ^a	25.0 ± 1.7 ^a
Mixing of curd before discharge into molds, min	1 500	8.0 ± 1.0 ^a	9.5 ± 1.3 ^{ab}	11.0 ± 1.0 ^b
	2 500	10.0 ± 1.0 ^a	10.0 ± 2.0 ^a	11.0 ± 1.0 ^a
	3 500	11.0 ± 2.0 ^a	8.0 ± 2.0 ^b	8.0 ± 1.7 ^b
Overall whey draining time into the molds, min	1 500	186.7 ± 10.4 ^a	191.7 ± 12.6 ^a	188.3 ± 7.6 ^a
	2 500	188.3 ± 5.8 ^a	183.3 ± 10.4 ^a	185.0 ± 10.0 ^a
	3 500	183.3 ± 2.9 ^a	183.3 ± 5.8 ^a	181.7 ± 7.6 ^a
Total processing time****, min	1 500	229.2 ± 11.5 ^a	234.2 ± 14.5 ^a	231.3 ± 9.0 ^a
	2 500	232.3 ± 2.1 ^a	226.3 ± 7.5 ^a	230.0 ± 9.8 ^a
	3 500	228.3 ± 3.1 ^a	224.3 ± 9.1 ^a	223.7 ± 11.0 ^a
Active acidity of cheese at the end of whey draining, pH units	1 500	5.34 ± 0.06 ^a	5.28 ± 0.01 ^a	5.21 ± 0.07 ^b
	2 500	5.29 ± 0.03 ^a	5.31 ± 0.04 ^a	5.33 ± 0.04 ^a
	3 500	5.30 ± 0.03 ^a	5.33 ± 0.02 ^a	5.35 ± 0.05 ^a

Note:

* The dose of MCE in the milk mixture was IMCU/100 kg of milk;

** The duration of milk ageing after the introduction of GDL was fixed in time and equaled to 40 min;

*** The duration of cutting and formation of the grain in all options of cheeses was the same time;

**** Time from cutting to reach of final pH.

Data are given in the form "mean ± standard deviation" (n = 3).

The values of the parameters of the same stages of the technological process (separated by thick lines in the table), highlighted by the same superscript symbols, do not have statistically significant differences ($p < 0.05$, multiple comparison using the Scheffé test).

Table 5. Indicators of the whey composition obtained in the production of Crescenza cheese

Serum Composition Index	Dose*	The value of the indicator for whey from cheeses produced with MCE brand		
		Chy-max® Extra 600	Chy-max® M 1000	Chy-max® Supreme 1000
Fat, %	1 500	0.40 ± 0.04	0.30 ± 0.04	0.31 ± 0.04
	2 500	0.30 ± 0.01	0.30 ± 0.03	0.30 ± 0.01
	3 500	0.40 ± 0.02	0.30 ± 0.02	0.30 ± 0.03
Dry matter, %	1 500	7.50 ± 0.05	7.52 ± 0.03	7.41 ± 0.03
	2 500	7.52 ± 0.04	7.53 ± 0.04	7.60 ± 0.04
	3 500	7.52 ± 0.01	7.51 ± 0.02	7.48 ± 0.04
Total protein, %	1 500	0.77 ± 0.02	0.79 ± 0.04	0.78 ± 0.03
	2 500	0.77 ± 0.02	0.79 ± 0.02	0.77 ± 0.02
	3 500	0.79 ± 0.03	0.80 ± 0.03	0.79 ± 0.03

Note: Data are given in the form "mean ± standard deviation" (n = 3).

A high content of cheese dust in the whey means a high loss of dry matter of curd to the whey. A consequence of the use of an increased dose of DVS-starter is a high content of cells of starter microorganisms in the curd already at the initial stage of its processing, which is not typical for cheeses produced by the traditional method using a lower dose of starter culture. Figure 2 shows chains of *Str. thermophilus* trapped in milk curd particles.

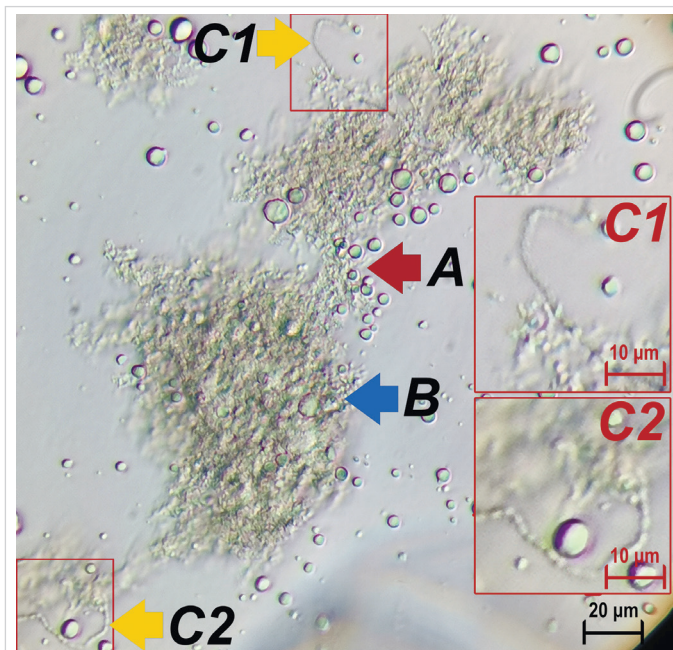


Figure 2. Micropreparation of cheese whey containing microparticles of fat and protein: A) fat globules; B) curd microparticles (cheese dust); C) chains of cells of *Str. thermophilus*

3.4. Physicochemical indicators of cheeses

Table 4 presents the indicators of Crescenza cheese samples produced during the experiment at the beginning of the storage period (7 days).

At the beginning of the storage period, there were no statistically significant differences between the cheese options in terms of fat, protein, salt and pH levels, but there was a tendency to increase the mass fraction of dry matter in cheeses with an increase in the dose of MCE used in cheese production (Table 6). These differences were not statistically significant, except for a single case: cheese options produced with the maximum dose of Chy-max Supreme had a statistically significantly higher dry matter content than cheese options made with the minimum doses of the studied MCE. The obtained data on the composition of cheeses indicate that the type and dose of MCE affect the properties of cheeses already at the stage of their manufacture in a cheesemaking bath.

Table 6. Indicators of Crescenza cheese samples at the beginning of the storage period (7 days)

Dose*	Brand**	Mass fraction, %			
		Dry matter	Fat	Protein	Table salt
1500	Extra	47.64±0.74 ^a	25.67±0.56 ^a	15.77±0.45 ^a	0.77±0.04 ^a
1500	M	47.91±0.37 ^a	25.67±0.64 ^a	15.81±0.29 ^a	0.80±0.04 ^a
1500	Supreme	47.86±0.52 ^a	25.67±0.53 ^a	15.94±0.38 ^a	0.75±0.02 ^a
2500	Extra	48.27±0.67 ^{ab}	26.77±0.18 ^a	15.98±0.36 ^a	0.78±0.03 ^a
2500	M	48.19±0.39 ^{ab}	26.40±0.63 ^a	15.90±0.24 ^a	0.81±0.02 ^a
2500	Supreme	48.95±0.72 ^{ab}	26.77±0.24 ^a	16.30±0.42 ^a	0.77±0.03 ^a
3500	Extra	49.28±0.43 ^{ab}	26.77±0.55 ^a	16.31±0.26 ^a	0.80±0.02 ^a
3500	M	49.22±0.51 ^{ab}	26.40±0.49 ^a	16.24±0.37 ^a	0.77±0.05 ^a
3500	Supreme	49.61±0.67 ^b	26.77±0.74 ^a	16.52±0.33 ^a	0.80±0.04 ^a

Note:

* The dose of MCE in the milk mixture was IMCU/100 kg of milk;

** Designations for MCEP brands: Extra — Chy-max Extra; M — Chy-max M; Supreme — Chy-max Supreme.

Data are given in the form “mean ± standard deviation” (n=3).

Data within the same column with the same superscripts are not statistically significant (p < 0.05, multiple comparison using Scheffé test).

4. Conclusion

Based on the data obtained, the following conclusions can be drawn:

- ❑ MCE based on recombinant chymosins differ in the level of specific nonspecific proteolytic activity, expressed in terms of the MCA/PA index, according to which recombinant chymosins of different types are arranged in descending order: calf chymosin (MCE Chy-max Extra) > camel chymosin (MCE Chy-max M) > modified camel chymosin (MCE Chy-max Supreme);
- ❑ the level of specific nonspecific PA of recombinant chymosins is significantly lower than that of MCE of animal and microbial origin, therefore, at the stage of making cheese in the tank, even at the maximum dose of MCE based on recombinant chymosins, there is no negative effect in the form of loss of milk dry matter into whey and a decrease in yield cheese;
- ❑ with an equal dose of introduction, the shortest duration of curd formation is observed in Chy-max Supreme MCE (modified chymosin). At the same time, differences in the duration of milk coagulation between recombinant chymosins of different types in one dosage are not significant from a technological point of view. The difference in the duration of milk coagulation by chymosins of different types decreases with an increase in their introduction dose — from ~ 5 min at an introduction dose of 1500 IMCU/100 kg of milk to ~ 2 min at an introduction dose of 3500 IMCU/100 kg of milk;
- ❑ the type and dose of MCE affect the properties of cheese already at the stage of cheese manufacture: cheese options made with the maximum dose of Chy-max Supreme had a statistically significantly higher dry matter content than cheese options produced with the minimum doses of the investigated MCE.

REFERENCES

- Soodam, K., Ong, L., Powell, I. B., Kentish, S. E., Gras, S. L. (2015). Effect of rennet on the composition, proteolysis and microstructure of reduced-fat cheddar cheese during ripening. *Dairy Science and Technology*, 95(5), 665–686. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0250-5>
- Alinovi, M., Cordioli, M., Francolino, S., Locci, F., Ghiglietti, R., Monti, L. et al. (2018). Effect of fermentation-produced camel chymosin on quality of Crescenza cheese. *International Dairy Journal*, 84, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.04.001>
- McCarthy, C. M., Wilkinson, M. G., Guinee, T. P. (2017). Effect of coagulant type and level on the properties of half-salt, half-fat Cheddar cheese made with or without adjunct starter: improving texture and functionality. *International Dairy Journal*, 75, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.07.006>
- Sheehan J. J., O’Sullivan K., Guinee T. P. (2004). Effect of coagulant type and storage temperature on the functionality of reduced-fat Mozzarella cheese. *Lait*, 84(6), 551–566. <https://doi.org/10.1051/laite:2004031>
- Myagkonosov, D. S., Smykov, I. T., Abramov, D. V., Delitskaya, I. N., Ovchinnikova, E. G. (2021). Influence of milk-clotting enzymes of animal and microbial origin on the quality and shelf life of soft cheeses. *Food Systems*, 4(4), 286–293. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-286-293>. (In Russian)

6. Harboe, M., Broe, M. L. Qvist, K. B. (2010). The Production, Action and Application of Rennet and Coagulants. Chapter 3 in book: Technology of cheesemaking. (ed. Law B. A. & Tamime A. Y.), 2nd Ed. — Chichester: Blackwell Publishing Ltd. 2010.
7. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2011). Recent advances in milk clotting enzymes. *International Journal of Dairy Technology*, 64(1), 14–33. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00633.x>
8. HA-La biotec. Chy-max® Supreme — A produção de queijo em um novo patamar. Retrieved from https://halabiotec.com.br/wp-content/uploads/2019/06/HA-La-Biotec_147.pdf Accessed April 12, 2022
9. Myagkonosov, D. S., Abramov, D. V., Delitskaya, I. N., Ovchinnikova, E. G. (2022). Proteolytic activity of milk-clotting enzymes of different origin. *Food Systems*, 5(1), 47–54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-47-54> (In Russian)
10. Moynihan, A. C., Govindasamy-Lucey, S., Jaeggi, J. J., Johnson, M. E., Lucey, J. A., McSweeney, P. L. H. (2014). Effect of camel chymosin on the texture, functionality, and sensory properties of low-moisture, part-skim Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 97(1), 85–96. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7081>
11. Bansal, N., Drake, M. A., Piraino, P., Broe, M. L., Harboe, M., Fox, P. F. et al. (2009). Suitability of recombinant camel (*Camelus dromedarius*) chymosin as a coagulant for Cheddar cheese. *International Dairy Journal*, 19(9), 510–517. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.03.010>
12. Fox, P. F., Cogan, T. M., Guinee, T. P. (2017). Factors That Affect the Quality of Cheese. Chapter in a book: Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. (Ed. by McSweeney, P.L.H., Fox, P.F., Cotter, P.D. and David W. Everett), 4th Ed. — Vol. 2. Elsevier: Academic Press, 2017.
13. Mullan, W. M. A. (2006). Use of starter concentrates in fermented dairy product manufacture. Retrieved from <https://www.dairyscience.info/index.php/cheese-starters/108-starter-concentrates.html?jij=1653231647740> Accessed April 12, 2022
14. Mozzarella is the biggest category in the commercial cheese market. Retrieved from https://mejeritekniskelskab.dk/sites/default/files/dms/Seminarprogrammer/ulf_mortensen_new_syrning_og_koagulering_i_mozzarella_apr2018_final_version.pdf Accessed April 12, 2022
15. Alinovi, M., Rinaldi, M., Mucchetti, G. (2018). Spatiotemporal characterization of texture of Crescenza cheese, a soft fresh Italian cheese. *Journal of Food Quality*, 2018, Article 5062124. <https://doi.org/10.1155/2018/5062124>
16. Tidona, F., Francolino, S., Ghiglietti, R., Locci, F., Carminati, D., Laforce, P. et al. (2020). Characterization and pre-industrial validation of *Streptococcus thermophilus* strains to be used as starter cultures for Crescenza, an Italian soft cheese. *Food Microbiology*, 92, Article 103599. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103599>
17. Smykov, I. T. (2018). Milk curd cutting time determination in cheesemaking. *Food Systems*, 1(2), 12–20. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-12-20> (In Russian)
18. Smykov, I. T. (2019). Self segmenting of rennet induced milk gel in cheesemaking tank. *International Journal of Dairy Technology*, 72(4), 591–600. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12650>
19. Montgomery D. C. (2013). Design and analysis of experiments. 8th Ed. Wiley, 2013.
20. Myagkonosov, D. S., Mordvinova, V. A., Delitskaya, I. N., Abramov, D. V., Ovchinnikova, E. G. (2020). The influence of milk-clotting enzymes on the functional properties of pizza-cheeses. *Food Systems*, 3(3), 42–50. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-3-42-50>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Soodam, K., Ong, L., Powell, I. B., Kentish, S. E., Gras, S. L. (2015). Effect of rennet on the composition, proteolysis and microstructure of reduced-fat cheddar cheese during ripening. *Dairy Science and Technology*, 95(5), 665–686. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0250-5>
2. Alinovi, M., Cordoli, M., Francolino, S., Locci, F., Ghiglietti, R., Monti, L. et al. (2018). Effect of fermentation-produced camel chymosin on quality of Crescenza cheese. *International Dairy Journal*, 84, 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.04.001>
3. McCarthy, C. M., Wilkinson, M. G., Guinee, T. P. (2017). Effect of coagulant type and level on the properties of half-salt, half-fat Cheddar cheese made with or without adjunct starter: improving texture and functionality. *International Dairy Journal*, 75, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.07.006>
4. Sheehan J. J., O'Sullivan K., Guinee T. P. (2004). Effect of coagulant type and storage temperature on the functionality of reduced-fat Mozzarella cheese. *Lait*, 84(6), 551–566. <https://doi.org/10.1051/lait:2004031>
5. Мяконосов, Д. С., Смыков, И. Т., Абрамов, Д. В., Делицкая, И. Н., Овчинникова, Е. Г. (2021). Влияние молокосвертывающих ферментов животного и микробного происхождения на качество и срок хранения мягких сыров. *Пищевые системы*, 4(4), 286–293. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-286-293>
6. Harboe, M., Broe, M. L. Qvist, K. B. (2010). The Production, Action and Application of Rennet and Coagulants. Chapter 3 in book: Technology of cheesemaking. (ed. Law B. A. & Tamime A. Y.), 2nd Ed. — Chichester: Blackwell Publishing Ltd. 2010.
7. Jacob, M., Jaros, D., Rohm, H. (2011). Recent advances in milk clotting enzymes. *International Journal of Dairy Technology*, 64(1), 14–33. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2010.00633.x>
8. HA-La biotec. Chy-max® Supreme — A produção de queijo em um novo patamar. Retrieved from https://halabiotec.com.br/wp-content/uploads/2019/06/HA-La-Biotec_147.pdf Accessed April 12, 2022
9. Мяконосов, Д. С., Абрамов, Д. В., Делицкая, И. Н., Овчинникова, Е. Г. (2022). Протеолитическая активность молокосвертывающих ферментов разного происхождения. *Пищевые системы*, 5(1), 47–54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-47-54>
10. Moynihan, A. C., Govindasamy-Lucey, S., Jaeggi, J. J., Johnson, M. E., Lucey, J. A., McSweeney, P. L. H. (2014). Effect of camel chymosin on the texture, functionality, and sensory properties of low-moisture, part-skim Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 97(1), 85–96. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7081>
11. Bansal, N., Drake, M. A., Piraino, P., Broe, M. L., Harboe, M., Fox, P. F. et al. (2009). Suitability of recombinant camel (*Camelus dromedarius*) chymosin as a coagulant for Cheddar cheese. *International Dairy Journal*, 19(9), 510–517. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.03.010>
12. Fox, P. F., Cogan, T. M., Guinee, T. P. (2017). Factors That Affect the Quality of Cheese. Chapter in a book: Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology. (Ed. by McSweeney, P.L.H., Fox, P.F., Cotter, P.D. and David W. Everett), 4th Ed. — Vol. 2. Elsevier: Academic Press, 2017.
13. Mullan, W. M. A. (2006). Use of starter concentrates in fermented dairy product manufacture. Retrieved from <https://www.dairyscience.info/index.php/cheese-starters/108-starter-concentrates.html?jij=1653231647740> Accessed April 12, 2022
14. Mozzarella is the biggest category in the commercial cheese market. Retrieved from https://mejeritekniskelskab.dk/sites/default/files/dms/Seminarprogrammer/ulf_mortensen_new_syrning_og_koagulering_i_mozzarella_apr2018_final_version.pdf Accessed April 12, 2022
15. Alinovi, M., Rinaldi, M., Mucchetti, G. (2018). Spatiotemporal characterization of texture of Crescenza cheese, a soft fresh Italian cheese. *Journal of Food Quality*, 2018, Article 5062124. <https://doi.org/10.1155/2018/5062124>
16. Tidona, F., Francolino, S., Ghiglietti, R., Locci, F., Carminati, D., Laforce, P. et al. (2020). Characterization and pre-industrial validation of *Streptococcus thermophilus* strains to be used as starter cultures for Crescenza, an Italian soft cheese. *Food Microbiology*, 92, Article 103599. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103599>
17. Смыков, И. Т. (2018). Определение момента готовности молочного сгустка к разрезке при производстве сыров. *Пищевые системы*, 1(2), 12–20. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-12-20>
18. Smykov, I. T. (2019). Self segmenting of rennet induced milk gel in cheesemaking tank. *International Journal of Dairy Technology*, 72(4), 591–600. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12650>
19. Montgomery D. C. (2013). Design and analysis of experiments. 8th Ed. Wiley, 2013.
20. Myagkonosov, D. S., Mordvinova, V. A., Delitskaya, I. N., Abramov, D. V., Ovchinnikova, E. G. (2020). The influence of milk-clotting enzymes on the functional properties of pizza-cheeses. *Food Systems*, 3(3), 42–50. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-3-42-50>

AUTHOR INFORMATION	СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
Affiliation	Принадлежность к организации
Dmitry S. Myagkonosov, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Research Department in Applied Biochemistry and Enzymology, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-915-973-63-13 E-mail: d.myagkonosov@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4443-7573 * corresponding author	Мягконосов Дмитрий Сергеевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, руководитель направления исследований по прикладной биохимии и энзимологии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-915-973-63-13 E-mail: d.myagkonosov@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4443-7573 * автор для контактов
Igor T. Smykov, Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Department of Physical Chemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-48532-9-81-21 E-mail: i_smykov@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5663-3662	Смыков Игорь Тимофеевич — доктор технических наук, главный научный сотрудник, Отдел физической химии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-48532-9-81-21 E-mail: i_smykov@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5663-3662
Dmitry V. Abramov, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Head of Biochemical Research in Cheesemaking and Buttermaking, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-910-970-42-97 E-mail: d.abramov@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8326-1932	Абрамов Дмитрий Васильевич — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, руководитель направления биохимических исследований по сыроделию и маслоделию, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-910-970-42-97 E-mail: d.abramov@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8326-1932
Irina N. Delitskaya, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Department of Cheesemaking, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-48532-98-1-28 E-mail: i.delitskaya@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3587-4050	Делицкая Ирина Николаевна — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, отдел сыроделия, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-48532-98-1-28 E-mail: i.delitskaya@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3587-4050
Valentina N. Krayushkina, Junior Researcher, Department of Biochemistry, All-Russian Scientific Research Institute of Butter- and Cheesemaking 19, Krasnoarmeysky Boulevard, Uglich, 152613, Yaroslavl Region, Russia Tel.: +7-48532-98-1-33 E-mail: v.krayushkina@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4904-6152	Краюшкина Валентина Николаевна — младший научный сотрудник, отдел биохимии, Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия 152613, Ярославская область, г. Углич, Красноармейский бульвар, 19 Тел.: +7-48532-98-1-33 E-mail: v.krayushkina@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4904-6152
Contribution	Критерии авторства
Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.	Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.
Conflict of interest	Конфликт интересов
The authors declare no conflict of interest.	Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

