

Техника и технология пищевых производств

Food Processing: Techniques and Technology



Национальный, рецензируемый научный журнал, посвященный вопросам пищевой промышленности и включенный в SCOPUS и Russian Science Citation Index.

Миссия: создание, агрегация, поддержка и распространение научно-образовательного контента в области пищевой промышленности, объединение усилий различных категорий исследователей, вузовской

и научной интеллигенции, 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, а также оказывать содействие в подготовке высококвалифицированных специалистов.

В журнале публикуются научные и обзорные статьи, рецензии и краткие научные сообщения по направлениям: пищевые системы; биотехнология; технология пищевых производств; санитария и гигиена; экология; биобезопасность; частная зоотехния; электротехнологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса. Подробная информация для авторов и читателей представлена на сайте <https://fptt.ru>

Главный редактор:

А.Ю. Просеков, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия.

Зам. главного редактора:

А.Н. Петров, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия;

О.О. Бабич, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия.

Редакционная коллегия:

Е.В. Абакумов, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

И.В. Алтухов, Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, Молодежный, Россия;

В.В. Бахарев, Самарский государственный технический университет, Самара, Россия;

С.М. Бычкова, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Пушкин, Россия;

А.Г. Галстян, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия;

И.А. Ганиева, АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс», Кемерово, Россия;

И.Ф. Горлов, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия;

Г.М. Гриценко, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Россия;

Н.И. Дунченко, Российский государственный аграрный университет – МСХА К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

И.А. Евдокимов, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия;

Ж.С. Есимбеков, Университет имени Шакарима города Семей, Семей, Казахстан;

А.В. Заушинцева, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;

А.П. Каледин, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

А.Б. Капанова, Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия;

В.Г. Лобанов, Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия;

Г.О. Магомедов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;

О.А. Неверова, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;

В.Н. Попов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;

С.Л. Тихонов, Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия;

О.А. Фролова, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия;

В.Н. Хмелев, Бийский технологический институт Алтайского государственного технического университета, Бийск, Россия;

Ю.С. Хотимченко, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;

А.Г. Храмов, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия;

С.В. Шахов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;

И.В. Юдаев, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Пушкин, Россия.

Материалы публикуются на условиях лицензии CC BY 4.0.

Выпускающий редактор А.И. Лосева

Ответственный за выпуск А.А. Кирыкова

Литературный редактор А.Ю. Курникова

Литературный редактор (англ. язык) Н.В. Рабкина

Дизайн и компьютерная верстка Е.В. Волкова

Редактор онлайн версии Е.В. Дмитриева

Учредитель, издатель и редакция: Кемеровский государственный университет, 650000, Россия, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Кемерово, Красная, 6,

тел.: +7 (3842) 58-80-24, e-mail: fptt98@gmail.com.

Адрес типографии: Кемеровский государственный университет, 650000, Россия, Кемеровская обл. – Кузбасс, г. Кемерово, пр. Советский, 73.

Дата выхода в свет 23.12.22.

Усл. п. л. 25,11. Тираж 500 экз.

Цена свободная. Выходит 4 раза в год.

Подписной индекс по интернет-каталогу агентства «Книга-Сервис» – 41672.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-72313 выдано Роскомнадзор.

© КемГУ, 2022. © Авторы, 2022.

The Journal is an open access, double-blind peer-reviewed quarterly journal that encompasses a wide range of food research areas in Russia and neighboring regions.

The journal is accepted by SCOPUS and Russian Science Citation Index.

The Journal's mission is to present, integrate and disseminate the most important results of fundamental and

applied research in the food industry of Russia and the CIS countries. We aim to create scientific content that would reflect the current state of food science in the post-Soviet space.

The Journal is addressed to practicing professionals, scientists, academics, and students.

The Journal publishes scientific articles, reviews, and research briefs

in the following areas: food systems; biotechnology; food production technology; sanitation and health; ecology; biosecurity; zootechnics; electrotechnologies, agro-industrial machines and equipment. For submission instructions, subscription and all other information visit this journal online at <https://fptt.ru/en>

Editor-in-Chief

Alexander Yu. Prosekov, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia.

Deputy Editor-in-Chief

Andrey N. Petrov, All-Russia Dairy Research Institute, Moscow, Russia;

Olga O. Babich, Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia.

Editorial Board Member

Evgeny V. Abakumov, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia;

Igor V. Altukhov, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Molodezhny, Russia;

Vladimir V. Bakharev, Samara State Technical University, Samara, Russia;

Svetlana M. Bychkova, St. Petersburg State Agrarian University, Pushkin, Russia;

Aram G. Galstyan, All-Russia Dairy Research Institute, Moscow, Russia;

Irina A. Ganieeva, Research and Academic Centre «Kuzbass», Kemerovo, Russia;

Ivan F. Gorlov, Povolzhsky Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russia;

Galina M. Gritsenko, Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia;

Nina I. Dunchenko, Timiryazev Russian State Agrarian University, Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia;

Ivan A. Evdokimov, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia;

Zhanibek S. Yessimbekov, Shakarim University of Semey, Semey, Kazakhstan;

Alexandra V. Zaushintsena, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia;

Anatoly P. Kaledin, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia;

Anna B. Kapranova, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia;

Vladimir G. Lobanov, Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia;

Gazibeg O. Magomedov, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;

Olga A. Neverova, Kemerovo State University, Kemerovo, Russia;

Vasily N. Popov, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;

Sergei L. Tikhonov, Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia;

Olga A. Frolova, Nizhni Novgorod Engineering-economic State University, Knyaginino, Russia;

Vladimir N. Khmelev, Biysk Technological Institute, Altai State Technical University, Biysk, Russia;

Yuri S. Khotimchenko, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia;

Andrey G. Khramtsov, North-Caucasian Federal University, Stavropol, Russia;

Sergey V. Shakhov, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia;

Igor V. Yudaev, St. Petersburg State Agrarian University, Pushkin, Russia.

All articles are licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits their use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as appropriate credit is given to the original author(s) and the source.

Executive Editor A.I. Loseva, Publishing Editor A.A. Kiryakova, Literary Editor A.Yu. Kurnikova, Literary Editor (Eng) N.V. Rabkina, Computer layout and design E.V. Volkova, Online Editor E.V. Dmitrieva.

Founder, Publisher and Editorial: Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, Kemerovo region – Kuzbass, 650000, Russia, phone: +7(3842) 58-80-24, e-mail: fptt98@gmail.com.

Printing Office: Kemerovo State University, Sovetskiy Ave. 73, Kemerovo, Kemerovo region – Kuzbass, 650000, Russia.

Date of issue December 23, 2022
Printed sheet 25,11 conventional printed
Circulation 500 cop.
Open price. Issued 4 times a year.

*Subscription index in the Kniga-Servis
online catalog – 41672.*

The certificate of mass media registration is
PI № FS 77-72313 Given by the Roskomnadzor.

© 2022, KemSU. © 2022 Authors

Колонка редактора
<https://fptt.ru>

Российская Федерация входит в число лидеров по производству и экспорту угля. Более половины российского угля добывается на территории Кемеровской области – Кузбасса. С начала 2022 г. угольными компаниями региона из недр изъято 181,5 млн т угля.

По данным на 01.01.2022 г. в Кузбассе на 152 угледобывающих и перерабатывающих предприятиях работает около 93 тыс. человек. Работники угольных предприятий подвержены действию вредных условий труда с высоким риском для здоровья. Состояние здоровья шахтеров Кузбасса характеризуется ростом заболеваемости и смертности от сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. У рабочих шахт повышена потребность в витаминах и минеральных веществах. Это обусловлено интенсивным потоотделением, достигающим 4 литра и более за рабочую смену и энергозатраты, которые могут превышать 4000 ккал в сутки.

Питание играет важную роль в профилактике профессиональных и обусловленных производственной средой заболеваний наряду с мероприятиями по снижению воздействия вредных условий труда на организм рабочих. Питание шахтеров должно содержать дополнительный комплекс веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности организма, а также быть бездефицитным по всем нутриентам. Правильная организация питания работников угольных предприятий позволяет снижать частоту хронических заболеваний и повышать производительность труда.

Помимо горнодобывающей промышленности, в регионе активно развиваются металлургия, углехимия, нефтехимия и другие отрасли экономики, что оказывает негативное воздействие на все компоненты окружающей среды (недра, почвы, подземные и поверхностные воды, растительный и животный мир) как на региональном, так и на глобальном уровне. Значительная часть населения Кемеровской области – Кузбасса проживает на территориях, непосредственно соседствующих с нарушенными (техногенными) землями, что не может не сказываться на качестве жизни и здоровье населения региона.

Ежегодный рост площади техногенных земель является одной из острых экологических проблем Кемеровской области – Кузбасса. По данным Рос-

природнадзора, в регионе за 2021 г. при разработке месторождений полезных ископаемых и строительных работах было нарушено 5,154 тыс. га земель, что на 44,3 % больше, чем в 2020 г. При этом в последние годы работы по восстановлению почв интенсифицировались: в 2021 г. рекультивировано 1,504 тыс. га. Все больше предприятий пытаются возмещать нанесенный экологический ущерб, используя рекультивацию земель, чаще всего под лесные насаждения. Однако темпы рекультивации земель в Кузбассе, как и по России в целом, пока ниже темпов их разрушения открытыми горными работами.

Рекультивация важна для восстановления первоначальной биологической ценности и экологических функций территорий. Восстановление земель после добычи угля может осуществляться при помощи современных методов как технической, так и биологической рекультивации.

Реабилитированные (восстановленные) земли могут быть использованы в различных целях. Наиболее предпочтительным является сельскохозяйственное использование (под пашню, луга, пастбища, многолетние насаждения). На рекультивированных землях можно разводить леса, создавать водоемы и природоохранные территории, рекреационные зоны для отдыха, спорта и туризма. Кроме того, восстановленные земли могут быть вновь задействованы под строительство.

Имеющийся опыт по рекультивации показывает, что участки посадок лесных культур площадью свыше 150 га снижают уровень загрязнения атмосферы в границах санитарно-защитных зон прилегающих предприятий и стабилизируют экологическую обстановку региона.

Правительство Российской Федерации утвердило разработку первой комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Чистый уголь – зеленый Кузбасс». В эту программу вошли 15 крупных научно-технических проектов, решающих комплексные задачи безопасной добычи и переработки угля, создания цифровых решений и технологий для угольной отрасли, экологии и здоровья жителей. Кемеровский государственный университет является ведущей организацией в реализации этой научно-технической программы.

Главный редактор журнала
«Техника и технология пищевых производств»,
член-кор. РАН, профессор

А. Ю. Просеков 

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2391>
<https://elibrary.ru/QHRWYP>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Трегалоза и изомальтулоза в технологии сладких молочных консервов



Е. И. Большакова

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности , Москва, Россия

Поступила в редакцию: 27.05.2022
Принята после рецензирования: 16.06.2022
Принята к публикации: 05.07.2022

Е. И. Большакова: e_bolshakova@vnimi.org,
<https://orcid.org/0000-0002-8427-0387>

© Е. И. Большакова, 2022



Аннотация.

Сахароза – компонент многих продуктов питания, но ее чрезмерное потребление способно негативно влиять на организм человека. В консервированной продукции сахароза, обеспечивая сладость и определенную долю сухих веществ, является осмотически деятельным агентом. Подсластители и сахарозаменители, применяемые в пищевой промышленности, не всегда выполняют роль осмотически деятельных веществ. Цель данного обзора – анализ свойств трегалозы и изомальтулозы в аспекте их использования в производстве сладких концентрированных молочных продуктов с промежуточной влажностью.

Объектом исследования являлась российская и зарубежная научная литература, проиндексированная в базах данных РИНЦ, Scopus и Web of Science с 2007 по 2022 гг. Из списка поисковых дескрипторов, включающего 12 слов и словосочетаний, основными в ходе работы были: «сгущенное молоко с сахаром», «активность воды», «сахароза», «трегалоза», «изомальтулоза».

В обзоре рассмотрели значимые свойства сахарозы в сгущенном молоке с сахаром и физико-химические особенности молочной системы. Были сформированы критерии оценки оптимальности альтернативных сахаристых веществ для замены сахарозы: молекулярная масса, сладость по отношению к сахарозе, поведение сахаристых веществ в реакции Майяра, их растворимость, вязкость и способность к кристаллизации. С учетом этих критериев изучили свойства трегалозы и изомальтулозы. Была отмечена положительная тенденция влияния данных веществ на анализируемые свойства.

В результате был предложен список критериев оценки оптимальности использования подсластителей и сахарозаменителей в производстве сладких концентрированных молочных продуктов с промежуточной влажностью в качестве регуляторов технологических свойств и компонентов рецептур продуктов с профилактическим действием. Проанализированные углеводы (трегалоза и изомальтулоза) могут быть рассмотрены в качестве альтернативы сахарозе. Отсутствие сопоставимых экспериментально подтвержденных данных о ряде свойств данных углеводов в системе сладких концентрированных молочных продуктов с промежуточной влажностью обуславливает проведение дальнейших исследований.

Ключевые слова. Сгущенное молоко с сахаром, сахароза, кариесогенность, сахарозаменители, трегалоза, изомальтулоза, дисахариды

Для цитирования: Большакова Е. И. Трегалоза и изомальтулоза в технологии сладких молочных консервов // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 623–630. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2391>

Trehalose and Isomaltulose in the Technology of Sweetened Condensed Milk



Ekaterina I. Bolshakova

All-Russian Dairy Research Institute , Moscow, Russia

Received: 27.05.2022
Revised: 16.06.2022
Accepted: 05.07.2022

Ekaterina I. Bolshakova: e_bolshakova@vniimi.org,
<https://orcid.org/0000-0002-8427-0387>

© E.I. Bolshakova, 2022



Abstract.

Sucrose is an important component in many foods. However, it can be dangerous for consumers' health, if overconsumed. For instance, it may cause tooth decay. As a rule, sucrose provides sweetness and a certain dry matter content. Alternative sweeteners and bulking agents can also perform these two functions. Unfortunately, they almost always fail to serve as an osmotically active agent in canned products. The research objective was to study the properties of trehalose and isomaltulose as sugar substitutes in sweetened condensed milk.

The study covered fifteen years of domestic and foreign research reported in the open databases of the Russian Scientific Citation Index, Scopus, and Web of Science. The list of search descriptors included twelve words and word combinations, e.g., *sweetened condensed milk*, *water activity*, *sucrose*, *trehalose*, *isomaltulose*, etc.

The review focused primarily on the important properties of sucrose in the sweetened condensed milk and the physico-chemical features of the milk system. The analysis provided a system of criteria to evaluate the optimality of alternative substances for sweet concentrated milk production. These criteria were applied to trehalose and isomaltulose.

The article introduces a list of criteria that can be used to evaluate sweeteners and sugar substitutes as regulators of certain technological properties in the production of sweetened concentrated milk products with intermediate moisture content. According to these criteria, trehalose and isomaltulose can serve as alternative sweeteners in condensed milk. However, the review revealed some gaps in experimental data on a number of properties of considered carbohydrates in sweetened concentrated milk products, which imposes further research.

Keywords. Sweetened condensed milk, sucrose, cariogenicity, sweeteners, trehalose, isomaltulose, disaccharides

For citation: Bolshakova EI. Trehalose and Isomaltulose in the Technology of Sweetened Condensed Milk. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):623–630. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2391>

Введение

Сахароза – один из самых распространенных углеводов, входящих в состав продуктов питания. По данным органов здравоохранения, потребление сахара составляет 82 г на человека в сутки при рекомендуемой Роспотребнадзором норме в 50 г [1]. В 2010 г. учеными Московского государственного медико-стоматологического университета была отмечена зависимость поражения кариесом зубов от суточного потребления сахара: увеличение средней суммы кариозных, пломбированных и удаленных зубов в два раза при соответствующем превышении рекомендуемой нормы потребления сахара [2].

Ряд молочных продуктов (творог, йогурт и др.) может способствовать сохранению минералов зубной эмали. Однако при добавлении сахара в эти продукты такой эффект нивелируется [3, 4].

Сгущенное молоко с сахаром – традиционный молочный продукт, включающий все составные части молока в концентрированном виде, а также высокое содержание калия, фосфора и кальция. Именно эти элементы теряет зубная эмаль в процессе деминерализации при развитии кариеса. Скорректировав вводимую в рецептуру углеводную часть, которая в традиционном исполнении представлена легкоферментируемой сахарозой, являющейся кариесогенной, можно получить профилактический продукт, в котором будут сохранены все его преимущества.

Использование сахарозаменителей в пищевом производстве – популярный метод снижения энергетической ценности, гликемического индекса и кариесогенного действия продуктов, но они не выполняют роль осмотически деятельных веществ. В связи с этим целью данного обзора являлось изучение

свойств трегалозы и изомальтулозы в аспекте их использования в производстве концентрированных продуктов с промежуточной влажностью, в том числе сгущенного молока с сахаром. В обзор были включены вещества, которые обладают кариесостатическими свойствами.

Свой вклад в предотвращение развития кариеса вносят не только интенсивные подсластители [5]. В работе R. A. Clemens и др. отмечается, что меньшей кариесогенностью, по сравнению с сахарозой, обладает трегалоза, а P. D. Sawale и др. и K. R. Goldfein и J. L. Slavin подчеркивают эффективность замены сахарозы на изомальтулозу в профилактике кариеса [6–8].

Объекты и методы исследования

Научная литература для анализа была взята из баз данных РИНЦ, Scopus и Web of Science. Поиск осуществлялся на русском и английском языках с использованием следующих дескрипторов: молочная система (milk system), сгущенное молоко с сахаром (sweetened condensed milk), активность воды (water activity), кристаллизация (crystallization), сахароза (sucrose), кариес (tooth decay), сахарозаменители (sweeteners), трегалоза (trehalose), изомальтулоза (isomaltulose), вязкость (viscosity), реакция Майяра (Maillard reaction) и растворимость (solubility). Глубина анализа научной литературы составила 15 лет.

Результаты и их обсуждение

Критерии оптимальности свойств альтернативных веществ. Поиск веществ для альтернативной замены сахарозы в сгущенном молоке с сахаром и оценка оптимальности свойств ингредиентов осуществлялись на основе критериев, сформированных исходя из свойств сахарозы. Данные критерии удовлетворяют получению качественного готового продукта, физико-химическим особенностям сырья, внутренним взаимодействиям в молочной системе и данным о влиянии обозреваемых веществ на зубную эмаль.

Значимые свойства сахарозы в системе сгущенного молока с сахаром. Сахароза в традиционной рецептуре сгущенного молока с сахаром отвечает за консервирующий эффект посредством обеспечения осмотического давления в 16–18 МПа, при котором исключается развитие микроорганизмов. Такой эффект в сгущенном молоке с сахаром обеспечивается при концентрации сахарозы на уровне 62,5–63,5 %. Недостаточная концентрация сахарозы может вызвать порок нечистого и неопределенного вкуса по причине развития осмофильных микроорганизмов, действующих на белковую составляющую продукта [9].

На осмотический потенциал среды, помимо концентрации вносимых консервирующих веществ,

влияет молекулярная масса, которая у сахарозы составляет 342 г/моль. Подробный анализ и систематизация альтернативных сахарозе осмотически деятельных веществ описаны в работе М. Н. Стрижко и А. Г. Галстяна [10]. Например, декстроза (которая также вызывает кариес), по сравнению с сахарозой, имеет большую теоретическую консервирующую способность, т. к. при концентрации раствора 15,25 % она обеспечивает осмотический потенциал, идентичный раствору сахарозы с концентрацией 24,93 %. Молекулярная масса декстрозы ниже и составляет 180 г/моль. В связи с этим одним из критериев оценки оптимальности обозреваемых веществ была обозначена молекулярная масса.

Помимо основной функции в виде консервирующего действия, сахароза отвечает за сладость готового продукта, поэтому сладость по отношению к сахарозе также учитывалась при изучении свойств рассматриваемых углеводов.

Низкая растворимость вещества может сказаться на органолептических характеристиках готового продукта, т. к. нерастворившиеся кристаллы способны вызывать пороки консистенции. В связи с этим растворимость была включена в список критериев оценки.

Физико-химические особенности молочной системы. Активность воды – основной показатель оценки консервирования [11, 12]. W. J. Scott в 1953 г. доказал, что оптимальные условия устойчивости пищевых продуктов к химическим и микробиологическим процессам должны определяться на основе значения показателя активности воды, характеризующей ее доступность для микроорганизмов. Сахароза в традиционной рецептуре сгущенного молока с сахаром выполняет функцию осмодетального агента. Связывая воду, она делает ее недоступной для микроорганизмов, что обуславливает взаимосвязь активности воды (A_w) и происходящих в молочных консервах микробиологических и физико-химических процессов [9]. С точки зрения оценки этого показателя качественным можно считать то сгущенное цельное молоко с сахаром, значение активности воды которого составляет 0,85–0,83 [12, 13].

Реакция Майяра в молочной системе – это термически-индуцированный процесс, заключающийся во взаимодействии NH_2 -групп молочных белков с карбонильными группами восстанавливающих сахаров [14, 15]. Основные продукты реакции – меланоидиновые соединения, которые могут вызывать появление привкуса карамелизации и изменение цвета (побурение) в продукте [14, 16].

В производстве сгущенного молока с сахаром предусмотрено проведение различных технологических операций, сопровождающихся тепловыми воздействиями, а именно нагрев молока при 45 °С, внесение сахарного сиропа при 80 °С, пастеризация

смеси и выдержка при 100 °С в течение 10 мин. Однако уже при 37 °С в системе молочных белков и восстанавливающих сахаров протекает начальная стадия реакции Майяра и образуются основания Шиффа и бесцветные гликозиламины [17, 18]. Их перегруппировка в соединения Армадори или Хейна происходит в промежуточной стадии при одновременном образовании бесцветных или чуть желтоватых соединений (5-гидроксиметилфурфурол, редутоны и др.). Некоторыми авторами отмечается, что 60 °С – характерная температура для промежуточной стадии [17, 18]. На финальном этапе активно образуются меланоидины и появляется характерное окрашивание молочной среды в кремовый цвет. Насыщенность цвета зависит от технологических режимов, pH, активности воды и свойств сахаров, находящихся в системе.

Характерный цвет цельного сгущенного молока с сахаром – белый с кремовым оттенком. Изменение нативного цвета является нежелательным эффектом, т. к. приводит к отбраковке продукта [9].

Вязкость. В сгущенном молоке с сахаром нормируется вязкость в диапазоне 3–15 МПа, но в процессе хранения она увеличивается [19]. Существует обратнопропорциональная зависимость скорости диффузии лактозы к зародышевым центрам (процесса кристаллизации) от вязкости продукта. Поэтому важно контролировать показатель вязкости, который влияет на формирование органолептических свойств и качества продукта в целом [20, 21].

Загустевание сгущенного молока с сахаром является пороком консистенции, поэтому нежелательно [22]. Потере текучести способствует как несоблюдение режимов производства и хранения, так и увеличенное содержание сухих обезжиренных веществ и инвертного сахара [19]. Важно подбирать такие вещества в композицию, которые в оптимальных концентрациях будут обеспечивать требуемую массовую долю влаги.

Кристаллизация лактозы – один из важных процессов в производстве сгущенного молока с сахаром, который позволяет получить продукт с заданными свойствами [21, 23]. При хранении этот процесс в контексте лактозы или вносимой углеводной части может быть обусловлен нарушениями технологических режимов или оптимальной концентрацией консервирующего вещества. Поэтому кристаллизация нежелательна и может вызывать пороки консистенции: мучнистость, песчанность и даже образование видимых кристаллов. Помимо лактозы, содержащейся в молочной системе, в сгущенном молоке с сахаром способностью кристаллизоваться обладает и сахароза. В связи с этим нарушение режимов технологического процесса и условий хранения может неблагоприятно повлиять на вносимую углеводную составляющую, что скажется на качестве готового продукта. Скорость

образования зародышевых центров сахарозы зависит от силы поверхностного натяжения, которое находится под влиянием многих факторов, в том числе химического потенциала и числа молей компонентов [24].

Поведение сахаристых веществ в реакции Майяра, их растворимость, вязкость и способность к кристаллизации напрямую влияют на формирование качества сгущенного молока с сахаром. В связи с этим рассмотренные свойства легли в основу критериев оценки оптимальности сладких веществ в аспекте замены сахарозы (рис. 1).

Обзор свойств сахарозных альтернатив. Трегалоза. Трегалоза (α -D-глюкопиранозил; α -D-глюкопиранозид) – подсластитель, который обладает коэффициентом сладости 0,5–0,7 по отношению к сахарозе. Он способен усиливать вкус, уменьшать запах и продлевать сроки хранения [25].

По химической структуре трегалоза представляет собой дисахарид, состоящий из двух глюкозных остатков, соединенных 1,1-гликозидной связью, с молекулярной массой 342,3 г/моль, как у сахарозы [25, 26]. Строение обуславливает свойства трегалозы – она является невосстанавливающим сахаром и обладает высокой стабильностью [25, 26]. Особенности строения трегалозы, а именно отсутствие у нее свободной альдегидной группы и наличие высокоустойчивой гликозидной связи, соединяющей два α -D-глюкопиранозных остатка, позволяют не вступать ей в химические реакции с аминокислотами и белками [27–29].

В технологическом аспекте трегалоза может быть интересна по причине проявления у нее способности к увеличению стабильности бета-казеина и бета-лактоглобулина благодаря механизму специфических связей, который влияет на формирование реологических характеристик [30–33]. Значение вязкости 0,5 М раствора трегалозы превышает значение вязкости 0,5 М раствора сахарозы на 30 % при 25 °С [26].

Румынские исследователи отмечают, что при добавлении в мед 0,07–0,08 ммоль трегалозы на 100 г

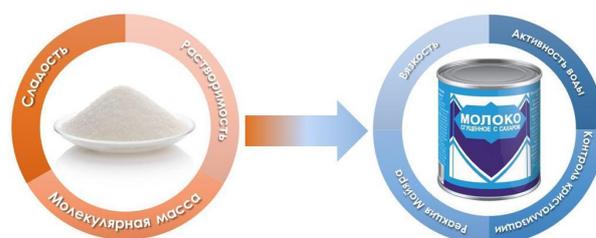


Рисунок 1. Дизайн критериального отбора сладких веществ в аспекте замены сахарозы

Figure 1. Criterial design for sucrose replacements

Таблица 1. Сравнение основных свойств и характеристик сахарозы, трегалозы и изомальтулозы

Table 1. The main properties of sucrose, trehalose, and isomaltulose

Характеристики и свойства	Углевод		
	Сахароза	Трегалоза	Изомальтулоза
Молекулярная масса, г/моль	342,3 [48]	342,3 [49]	342,3 [38]
Коэффициент сладости	1,0 [25]	0,5–0,7 [25]	0,3–0,4 [7]
Растворимость, г/100 г воды при 20 °С	200,0 [26]	40,6–69,0 [26]	0,5 [39]
Реакция Майяра	Вступает в реакцию [50]	Не вступает в реакцию [25]	Вступает в реакцию [39]

предотвращается его кристаллизация, но химический состав, цвет и текстура не изменяются [34]. В работе А. А. Thorat и др. отмечается, что добавление 1 % трегалозы в лиофилизаты углеводных смесей способно изменить ход кристаллизации сахарозы [35].

Трегалоза – космотропное вещество, которое обладает более высокой способностью к Н-связыванию, чем сахароза. В связи с этим в системе с трегалозой снижается подвижность воды, которая находится в прямой зависимости от скорости образования кристаллов и значения активности воды [36, 37].

Изомальтулоза. Изомальтулоза (6-О- α -D-глюкопиранозил-D-фруктофураноза) – подсластитель с низким гликемическим индексом, высокой стабильностью к изменению реакции среды и антикариесогенным действием. По химическому строению подсластитель представляет собой дисахарид, состоящий из остатков глюкозы и фруктозы, соединенных α -(1-6) связью с молекулярной массой 342,3 г/моль [7, 36].

Изомальтулоза активно участвует в реакции Майяра из-за наличия свободной редуцирующей группы, что отмечается в работах [36, 39–41].

Согласно уравнению регрессии A_w для раствора изомальтулозы, которое представлено в работе М. Н. Стрижко, данный дисахарид обладает высоким потенциалом к связыванию влаги [42]. Подобный эффект отмечается и другими исследователями [35, 43].

Изомальтулоза имеет ограничения в растворимости – 30 % [44]. В работе I. Reipado и др. отмечается низкая растворимость дисахаридов и подчеркивается необходимость включения в углеводную композицию с ним сахарозы или фруктозы [45]. Результаты исследования S. Song и др. показывают, что растворимость изомальтулозы находится в прямой зависимости от температуры [46].

На ингибирование процесса кристаллизации влияет снижение молекулярной подвижности среды, которое может быть обеспечено вязкостными свойствами вещества, входящего в пищевую систему. Значения вязкости растворов лиофилизатов с добавлением изомальтулозы и целлобиозы были

выше по сравнению с растворами фруктозы, сахарозы, лактозы, мальтозы или трегалозы [35].

V. W. K. Tan и др. отмечают близость вкусовых характеристик изомальтулозы и сахарозы, а коэффициент сладости изомальтулозы по отношению к сахарозе составляет 0,3–0,4 [7, 47].

Сравнительная характеристика свойств сахарозы, трегалозы и изомальтулозы представлена в таблице 1.

В статьях различных авторов приводятся данные о кристаллизации, вязкости и активности воды пищевых сред с изомальтулозой и трегалозой [34, 43, 51–53]. Однако было признано нецелесообразным сравнивать эти данные, т. к. сладкие концентрированные молочные продукты с промежуточной влажностью имеют особенные физико-химические свойства [9, 54, 55].

Выводы

Значение молекулярной массы, которое влияет на осмотический потенциал среды, а впоследствии и на консервирующий эффект, у рассматриваемых углеводов с сахарозой совпадает. Однако их сладость может быть ниже сладости сахарозы на 30–70 %, а растворимость углеводов при 20 °С сильно отличаться и уменьшаться в ряду сахароза – трегалоза – изомальтулоза. Таким образом, представляет интерес использование этих сахаров в комбинации с подсластителями, улучшающими вкусовые характеристики (при необходимости). В реакцию Майяра, аналогично сахарозе, вступает изомальтулоза, в то время как строение трегалозы исключает такого рода взаимодействие. Данный эффект можно рассматривать с положительной точки зрения в производстве классического сгущенного молока с сахаром при использовании трегалозы, а также в производстве вареного при использовании изомальтулозы.

В процессе изучения литературных источников не обнаружено коррелирующих между собой данных о взаимодействиях и характере поведения компонентов в концентрированной молочной системе при добавлении изомальтулозы и трегалозы. Также не найдено экспериментально подтвержденных данных о вязкости, активности воды и кристаллизации рассматриваемых веществ, которые можно было бы сопоставить или сравнить. Отмечена положительная

тенденция влияния представленных в обзоре веществ на анализируемые свойства. Это обуславливает их рассмотрение в качестве потенциальных альтернатив сахарозе в аспекте использования при производстве сладких молочных консервов. Вышеизложенное является основанием для проведения дальнейших исследований.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The author declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Federal Service for Supervision of Consumer Protection and Rights and Human Welfare [Internet]. [cited 2022 Mar 14]. Available from: <https://www.rospotrebnadzor.ru> [Федеральная служба по надзору в сфере защиты и прав потребителей и благополучия человека. URL: <https://www.rospotrebnadzor.ru> (дата обращения: 14.03.2022).].
2. Leontyev VK. Dental caries as a civilization disease. *Biosfera*. 2010;2(3):392–396. (In Russ.). [Леонтьев В. К. Кариес зубов-болезнь цивилизации // Биосфера. 2010. Т. 2. № 3. С. 392–396.].
3. Lodi CS, de Oliveira LV, Brighenti FL, Delbem ACB, Martinhon CCR. Effects of probiotic fermented milk on biofilms, oral microbiota, and enamel. *Brazilian Oral Research*. 2015;29(1). <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2015.vol29.0033>
4. Farias da Cruz M, Baraúna Magno M, Alves Jural L, Pimentel TC, Masterson Tavares Pereira Ferreira D, Almeida Esmerino E, *et al*. Probiotics and dairy products in dentistry: A bibliometric and critical review of randomized clinical trials. *Food Research International*. 2022;157. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111228>
5. Kakleas K, Christodouli F, Karavanaki K. Nonalcoholic fatty liver disease, insulin resistance, and sweeteners: a literature review. *Expert Review of Endocrinology and Metabolism*. 2020;15(2):83–93. <https://doi.org/10.1080/17446651.2020.1740588>
6. Clemens RA, Jones JM, Kern M, Lee S-Y, Mayhew EJ, Slavin JL, *et al*. Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016;15(3):433–470. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12194>
7. Sawale PD, Shendurse AM, Mohan MS, Patil GR. Isomaltulose (Palatinose) – An emerging carbohydrate. *Food Bioscience*. 2017;18:46–52. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.04.003>
8. Goldfein KR, Slavin JL. Why sugar is added to food: Food science 101. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2015;14(5):644–656. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12151>
9. Galstyan AG, Petrov AN, Radaeva IA, Turovskaya SN, Chervetsov VV, Illarionova EE, *et al*. Theory and practice of dairy canning. Moscow: Izdatel'skiy dom "Fedotov D.A."; 2016. 181 p. (In Russ.). [Теория и практика молочно-консервного производства / А. Г. Галстян [и др.]. М.: Издательский дом «Федотов Д. А.»; 2016. 181 с.].
10. Strizhko MN, Galstyan AG. Analysis and systematization of alternative of sucrose osmotically active substances. *Newsletter of North-Caucasus Federal University*. 2013;35(2):97–101. (In Russ.). [Стрижко М. Н., Галстян А. Г. Анализ и систематизация альтернативных сахарозе осмотически деятельных веществ // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. Т. 35. № 2. С. 97–101.].
11. Tapia MS, Alzamora SM, Chirife J. Effects of water activity (a_w) on microbial stability as a hurdle in food preservation. In: Barbosa-Cánovas GV, Fontana Jr. AJ, Schmidt SJ, Labuza TP, editors. *Water activity in foods: Fundamentals and applications*. John Wiley & Sons; 2020. pp. 323–355. <https://doi.org/10.1002/9781118765982.CH14>
12. Illarionova EE, Radaeva IA, Turovskaya SN, Guseva TB. Water activity in the products with intermediate moisture. *Dairy Industry*. 2017;(10):15–16. (In Russ.). [Активность воды в продуктах с промежуточной влажностью / Е. Е. Илларионова [и др.] // Молочная промышленность. 2017. № 10. С. 15–16.].
13. Galstyan AG. Scientific foundations and practical solutions for improving technologies and expanding the range of canned milk. Abstract dr. eng. sci. diss. Moscow: V.M. Gorbатов All-Russian Research Institute of the Meat Industry; 2009. 50 p. (In Russ.). [Галстян А. Г. Развитие научных основ и практические решения совершенствования технологий, повышения качества и расширения ассортимента молочных консервов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04. М., 2009. 50 с.].
14. Gómez-Narváez F, Contreras-Calderón J, Pérez-Martínez L. Usefulness of some Maillard reaction indicators for monitoring the heat damage of whey powder under conditions applicable to spray drying. *International Dairy Journal*. 2019;99. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104553>
15. Arena S, Renzone G, D'Ambrosio C, Salzano AM, Scaloni A. Dairy products and the Maillard reaction: A promising future for extensive food characterization by integrated proteomics studies. *Food Chemistry*. 2017;219:477–489. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.165>
16. Aljahdali N, Carbonero F. Impact of Maillard reaction products on nutrition and health: Current knowledge and need to understand their fate in the human digestive system. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019;59(3):474–487. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1378865>

17. Cortés Yáñez DA, Gagneten M, Leiva GE, Malec LS. Antioxidant activity developed at the different stages of Maillard reaction with milk proteins. *LWT*. 2018;89:344–349. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.002>
18. Wu J, Li H, A'yun Q, Sedaghat Doost A, De Meulenaer B, Van der Meeren P. Conjugation of milk proteins and reducing sugars and its potential application in the improvement of the heat stability of (recombined) evaporated milk. *Trends in Food Science and Technology*. 2021;108:287–296. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.019>
19. Petrov AN, Galstyan AG, Radaeva IA, Turovskaya SN, Illarionov EE, Semipyatniy VK, *et al.* Indicators of quality of canned milk: Russian and international priorities. *Foods and Raw Materials*. 2017;5(2):151–161. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-151-161>
20. Illarionova EE, Turovskaya SN, Radaeva IA. To the question of increasing of canned milk storage life. *Relevant Issues of the Dairy Industry, Cross-Industry Technologies, and Quality Management Systems*. 2020;1(1):225–230. (In Russ.). <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-225-230>
21. Rjabova AE, Kirsanov VV, Strizhko MN, Bredikhin AS, Semipyatnyi VK, Chervetsov VV, *et al.* Lactose crystallization: Current issues and promising engineering solutions. *Foods and Raw Materials*. 2013;1(1):66–73. <https://doi.org/10.12737/1559>
22. Radaeva IA, Turovskaya SN, Illarionova EE, Kulikovskaya TS. Structural changes of concentrated milk with sugar in the course of long storage. *Dairy Industry*. 2017;(9):60–72. (In Russ.). [Структурные изменения сгущенного молока с сахаром в процессе длительного хранения / И. А. Радаева [и др.] // Молочная промышленность. 2017. № 9. С. 60–62.]
23. Rjabova AE, Galstjan AG, Malova TI, Radaeva IA, Turovskaya SN. Heterogeneous crystallization of lactose in technology of sweetened condensed milk. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2014;32(1):78–83. (In Russ.). [К вопросу о гетерогенной кристаллизации лактозы в технологиях сгущенных молочных продуктов с сахаром / А. Е. Рябова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2014. Т. 32. № 1. С. 78–83.]
24. Petrov SM, Arapov DV, Kuritsyn VA. Physical and chemical properties of aqueous sucrose solutions: Equations for digital calculations. *Sugar*. 2014;(4):44–53. (In Russ.). [Петров С. М., Арапов Д. В., Курицын В. А. Уравнения для расчета на ЭВМ физико-химических свойств водных растворов сахарозы // Сахар. 2014. № 4. С. 44–53.]
25. Mahato DK, Keast R, Liem DG, Russell CG, Cicerale S, Gamlath S. Sugar reduction in dairy food: an overview with flavoured milk as an example. *Foods*. 2020;9(10). <https://doi.org/10.3390/foods9101400>
26. Ohtake S, Wang YJ. Trehalose: Current use and future applications. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2011;100(6):2020–2053. <https://doi.org/10.1002/jps.22458>
27. Feofilova EP, Usov AI, Mysyakina IS, Kochkina GA. Trehalose: chemical structure, biological functions, and practical application. *Microbiology*. 2014;83(3):271–283. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0026365614020074>
28. Cai X, Seidl I, Mu W, Zhang T, Stressler T, Fischer L, *et al.* Biotechnical production of trehalose through the trehalose synthase pathway: Current status and future prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2018;102(7):2965–2976. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8814-y>
29. Leiva GE, Naranjo GB, Malec LS. A study of different indicators of Maillard reaction with whey proteins and different carbohydrates under adverse storage conditions. *Food Chemistry*. 2017;215:410–416. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.003>
30. Rehan F, Ahemad N, Gupta M. Casein nanomicelle as an emerging biomaterial – A comprehensive review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2019;179:280–292. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.03.051>
31. Barbiroli A, Marengo M, Fessas D, Ragg E, Renzetti S, Bonomi F, *et al.* Stabilization of beta-lactoglobulin by polyols and sugars against temperature-induced denaturation involves diverse and specific structural regions of the protein. *Food Chemistry*. 2017;234:155–162. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.04.132>
32. He F, Woods CE, Litowski JR, Roschen LA, Gadgil HS, Razinkov VI, *et al.* Effect of sugar molecules on the viscosity of high concentration monoclonal antibody solutions. *Pharmaceutical Research*. 2011;28(7):1552–1560. <https://doi.org/10.1007/s11095-011-0388-7>
33. Jain NK, Roy I. Effect of trehalose on protein structure. *Protein Science*. 2009;18(1):24–36. <https://doi.org/10.1002/pro.3>
34. Amariei S, Norocel L, Scripcă LA. An innovative method for preventing honey crystallization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020;66. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102481>
35. Thorat AA, Forny L, Meunier V, Taylor LS, Mauer LJ. Effects of mono-, di-, and tri-saccharides on the stability and crystallization of amorphous sucrose. *Journal of Food Science*. 2018;83(11):2827–2839. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14357>
36. Singh SK. Sucrose and trehalose in therapeutic protein formulations. In: Warne NW, Mahler H-C, editors. *Challenges in protein product development*. Cham: Springer; 2018. pp. 63–95. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90603-4_3
37. Russ N, Zielbauer BI, Vilgis TA. Impact of sucrose and trehalose on different agarose-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*. 2014;41:44–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.03.020>
38. Palatinose [Internet]. [cited 2022 May 17]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Palatinose>

39. Podgornova NM, Petrov SM, Petryanina TA. Isomaltulose, an innovative low-glycemic carbohydrate sweetener. Storage and Processing of Farm Products. 2017;(11):14–20. (In Russ.). [Подгорнова Н. М., Петров С. М., Петрянина Т. А. Изомальтулоза – инновационный низкогликемический углеводный подсластитель // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 11. С. 14–20.].
40. Lee EJ, Moon Y, Kweon M. Processing suitability of healthful carbohydrates for potential sucrose replacement to produce muffins with staling retardation. LWT. 2020;131. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109565>
41. Di Monaco R, Miele NA, Cabisidan EK, Cavella S. Strategies to reduce sugars in food. Current Opinion in Food Science. 2018;19:92–97. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.03.008>
42. Strizhko MN. Prospects for alternative types of osmotically active substances in the dairy industry. Scientific contribution of young scientists to the development of the food and processing industry of the agro-industrial complex: Proceedings of the VII conference of young scientists and specialists from research institutes of the Department of storage and processing of agricultural products of the Russian Agricultural Academy; 2013; Moscow. Moscow: VNIMI; 2013. p. 418–421. (In Russ.). [Стрижко М. Н. Перспективы применения альтернативных видов осмотически деятельных веществ в молочно-консервной промышленности // Научный вклад молодых ученых в развитие пищевой и перерабатывающей промышленности АПК: Сборник научных трудов VII конференции молодых ученых и специалистов научно исследовательских институтов Отделения хранения и переработки сельскохозяйственной продукции Россельхозакадемии. М., 2013. С. 418–421.].
43. Periche A, Heredia A, Escriche I, Andrés A, Castelló ML. Optical, mechanical and sensory properties of based-isomaltulose gummy confections. Food Bioscience. 2014;7:37–44. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2014.05.006>
44. Castelló ML, Echevarriás A, Rubio-Arreaez S, Ortolá MD. How isomaltulose and oligofructose affect physicochemical and sensory properties of muffins? Journal of Texture Studies. 2021;52(3):410–419. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12602>
45. Peinado I, Rosa E, Heredia A, Andrés A. Use of isomaltulose to formulate healthy spreadable strawberry products. Application of response surface methodology. Food Bioscience. 2015;9:47–59. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2014.08.002>
46. Song S, Guo J, Qiu J, Liu J, An M, Yi D, *et al.* Solid-liquid equilibrium of isomaltulose in five pure solvents and four binary solvents from (283.15 to 323.15) K. Journal of Chemical and Engineering Data. 2019;64(3):963–971. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.8b00823>
47. Tan VWK, Wee MSM, Tomic O, Forde CG. Rate-All-That-Apply (RATA) comparison of taste profiles for different sweeteners in black tea, chocolate milk, and natural yogurt. Journal of Food Science. 2020;85(2):486–492. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15007>
48. Sucrose [Internet]. [cited 2022 May 17]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sucrose>
49. Trehalose [Internet]. [cited 2022 May 17]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Trehalose>
50. Bednyh BS, Gapparov MM-G, Nikolskaya GV, Sokolov AI, Ramanauskas IR, Kiselev AYu. Glycolising of proteins in the baby foods. Dairy Industry. 2014;(12):68–69. (In Russ.). [Гликозилирование белков в продуктах детского питания / Б. С. Бедных [и др.] // Молочная промышленность. 2014. № 12. С. 68–69.].
51. Moriano ME, Alamprese C. Honey, trehalose and erythritol as sucrose-alternative sweeteners for artisanal ice cream. A pilot study. LWT. 2017;75:329–334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.057>
52. Borges VC, Salas-Mellado MM. Influence of α -amilase, trehalose, sorbitol, and polysorbate 80 on the quality of gluten-free bread. International Food Research Journal. 2016;23(5):1973–1979.
53. Guggisberg D, Piccinali P, Schreier K. Effects of sugar substitution with Stevia, Actilight™ and Stevia combinations or Palatinose™ on rheological and sensory characteristics of low-fat and whole milk set yoghurt. International Dairy Journal. 2011;21(9):636–644. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.03.010>
54. Galstyan AG, Radaeva IA, Turovskaya SN, Korchagina SA, Chervetsov VV, Illarionova EE, *et al.* Brief reference of a specialist in dairy and canning production. Moscow: Ritm; 2011. 152 p. (In Russ.). [Краткий справочник специалиста молочно-консервного производства / А. Г. Галстян [и др.]. М.: Ритм, 2011. 152 с.].
55. González-Cruz AS, Sosa-Morales ME, Vélez-Ruiz JF. Effect of sucrose substitution by low-calorie sweeteners on the characteristics of condensed milk. American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2010. Vol. 7. 2010. pp. 5910–5916.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2392>
<https://elibrary.ru/PUYMSY>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние дрожжевых биосорбентов на качество вина



Н. М. Агеева*^{ORCID}, А. Н. Тихонова^{ORCID},
Б. В. Бурцев^{ORCID}, А. А. Храпов^{ORCID}

Северо-Кавказский федеральный научный центр
садоводства, виноградарства, виноделия^{ORCID}, Краснодар, Россия

Поступила в редакцию: 09.03.2022
Принята после рецензирования: 28.03.2022
Принята к публикации: 05.04.2022

*Н. М. Агеева: ageyeva@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-9165-6763>
А. Н. Тихонова: <https://orcid.org/0000-0002-3509-3345>
Б. В. Бурцев: <https://orcid.org/0000-0001-9755-5384>
А. А. Храпов: <https://orcid.org/0000-0001-6436-1970>

© Н. М. Агеева, А. Н. Тихонова, Б. В. Бурцев, А. А. Храпов, 2022



Аннотация.

В виноделии для улучшения органолептических характеристик вина и стабилизации пигментов и ароматических свойств применяют препараты, полученные из клеток винных дрожжей. Цель работы – получение дрожжевого биосорбента и изучение его влияния на органолептические и физико-химические показатели вина, а также оценка сорбционной способности в отношении катионов тяжелых металлов.

Объектами исследования являлись красные и белые вина, обработанные биосорбентом, которые получили по авторской технологии из дрожжевых отходов виноделия. В качестве контроля использовался коммерческий препарат глутаром (Франция). В работе применялись физико-химические, органолептические и биохимические методы исследования в соответствии с действующими стандартами.

В ходе исследования было установлено, что дрожжевые биосорбенты практически не оказывают влияния на объемную долю этилового спирта и массовую концентрацию сахаров и титруемых кислот в вине. Отмечено снижение массовой концентрации летучих кислот (в пересчете на уксусную): при обработке белого вина на 20 %, красного – на 50 %. С увеличением дозировки сорбента массовая концентрация приведенного экстракта снижалась на 0,2–0,7 г/дм³. При обработке белого виноматериала концентрация белка снизилась в 1,5–1,8 раза, полисахаридов – на 110–115 мг/дм³. Содержание фенольных соединений снизилось на 13–37 % (в зависимости от дозировки сорбента) за счет их конденсированных форм. Исследованные дрожжевые биосорбенты эффективно сорбировали катионы металлов, в том числе токсичных элементов. Установили разное время сорбции исследуемых катионов металлов. С увеличением дозировки биосорбентов эффективность их сорбционного действия возрастала. В винах, обработанных биосорбентами, улучшились органолептические показатели. Наибольшие улучшения были отмечены в красных винах: более мягкий, округлый и гармоничный вкус и яркий аромат с выраженными сортовыми тонами.

Авторы отметили идентичность влияния биосорбента, приготовленного из дрожжевых отходов виноделия, и коммерческого препарата глутаром, произведенного из автолизированных винных дрожжей. Биосорбенты обладают высокими сорбционными свойствами к фенольным катионам металлов, в том числе к токсичным элементам. Применение биосорбента для обработки виноматериалов способствует улучшению органолептических показателей вин. Разработанные биосорбенты могут стать аналогами импортных коммерческих препаратов и найти свое применение на винодельческих предприятиях.

Ключевые слова. Инактивированные дрожжи, виноматериалы, вино, биосорбенты, фенольные соединения, тяжелые металлы, сорбция

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/22.

Для цитирования: Влияние дрожжевых биосорбентов на качество вина / Н. М. Агеева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 631–639. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2392>

Effect of Yeast Biosorbents on Wine Quality



Natalia M. Ageyeva*^{ORCID}, Anastasia N. Tikhonova^{ORCID},
Boris V. Burtsev^{ORCID}, Anton A. Khrapov^{ORCID}

North-Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture,
Viticulture and Winemaking^{ROR}, Krasnodar, Russia

Received: 09.03.2022
Revised: 28.03.2022
Accepted: 05.04.2022

*Natalia M. Ageyeva: ageyeva@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-9165-6763>
Anastasia N. Tikhonova: <https://orcid.org/0000-0002-3509-3345>
Boris V. Burtsev: <https://orcid.org/0000-0001-9755-5384>
Anton A. Khrapov: <https://orcid.org/0000-0001-6436-1970>

© N.M. Ageyeva, A.N. Tikhonova, B.V. Burtsev, A.A. Khrapov, 2022



Abstract.

Foreign food industries know a variety of products derived from wine yeast cells. These products are used to improve the sensory properties of wine. This article describes the effect of a new yeast biosorbent on the sensory and physicochemical properties of white and red wine, e.g., their sorption capacity for heavy metals.

The research featured red and white wines treated with the novel biosorbent. Glutarom (France) served as control. The study relied on various physicochemical, organoleptic, biochemical, and microbiological methods.

The biosorbent affected neither the volume fraction of ethyl alcohol nor the mass concentration of sugars and titrated acids. However, the biosorbent reduced the mass concentration of volatile acids in terms of acetic acid: it decreased by 20% in the white wines and by 50% in the red wine samples. The mass concentration of the reduced extract decreased by 0.2–0.7 g/dm³ as the amount of sorbent increased. In the white wine samples, the protein concentration decreased by 1.5–1.8 times, while the concentration of polysaccharides decreased by 110–115 mg/dm³. The content of phenolic compounds decreased by 13–37%, depending on the amount of the sorbent, due to their condensed forms. The biosorbent reduced the value of the redox potential. The yeast sorbents effectively adsorbed metal cations, including those of heavy metals. A set of experiments also revealed the difference in sorption time for different metal cations. The effectiveness of the biosorbent was dose-dependent. The wines treated with the biosorbent had better sensory assessment results, especially the red wine samples. They had a soft, round, and harmonious flavor and a bright aroma with pronounced varietal tones.

The novel biosorbent proved to have a good sorption capacity for phenolic compounds, as well as cations of toxic metals. It improved the sensory profile of the red and white wines. This biosorbent can substitute their imported analogs in the Russian wine industry.

Keywords. Inactivated yeasts, winemaking by-products, white and red wines, biosorbent, phenolic compounds, heavy metal ions, sorption

Funding. The research was supported by the Kuban Science Foundation, project No. МФИ-20.1/22.

For citation: Ageyeva NM, Tikhonova AN, Burtsev BV, Khrapov AA. Effect of Yeast Biosorbents on Wine Quality. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):631–639. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2392>

Введение

Академик В. И. Вернадский в 1965 г. отметил способность живых и инактивированных клеток микроорганизмов взаимодействовать с различными металлами в водной среде и концентрировать отдельные элементы на своей поверхности с целью последующего использования.

Вино – продукт жизнедеятельности винных дрожжей рода *Saccharomyces cerevisiae* – является электролитом, в состав которого входят различные катионы металлов, микро- и макроэлементы, а также

токсичные элементы в нормируемых количествах. Продолжительный контакт виноматериала с дрожжами – обычная энологическая практика. Ее целью является улучшение качества вина, стабилизация его аромата и обогащение ценными компонентами дрожжевой клетки, в том числе азотистыми соединениями, смягчающими вкус вина, ароматическими компонентами, аминокислотами, глицерином и т. п. [1, 2]. Для этого используют дрожжевые осадки, образующиеся в результате производства вина – сбраживания виноградно-

сула чистыми культурами винных дрожжей рода *S. cerevisiae*. По завершении алкогольного брожения дрожжевые клетки выпадают в осадок, формируя подвижную и рыхлую субстанцию – жидкие дрожжевые осадки.

Жидкие дрожжевые осадки отделяются от виноматериала путем прессования с использованием пневматических или тканевых прессов, фильтрации или центрифугирования. Полученные таким образом плотные дрожжевые осадки, не содержащие вина, утилизируют, в том числе перерабатывают с получением новых продуктов, включая дрожжевые биосорбенты. Кроме винной кислоты и этилового спирта, дрожжевые осадки содержат все незаменимые аминокислоты, витамины и высокомолекулярные полисахариды (маннан, маннопротеины, глюкан и трегалозу), а также их комплексные соединения (липополисахариды и липопротеины). В связи с этим дрожжевые осадки являются ценным сырьем для получения дрожжевых оболочек – биосорбентов, которые применяются для осветления и стабилизации винопродукции, в качестве питательных добавок для кормовых смесей животных, а также для производства других биотехнологических продуктов [3–8].

Учеными и специалистами было разработано большое количество разнообразных коммерческих продуктов, полученных из клеток винных дрожжей и применяемых для обработки винодельческой продукции с целью улучшения ее органолептических характеристик, стабилизации пигментов и ароматических свойств, предотвращая их окисление. Этими продуктами являются инактивированные по специальным технологиям винные дрожжи, клеточные стенки и маннопротеины, применяемые в контексте выдержки виноматериала, и экстракты белков дрожжей для оклейки виноматериала. Отечественные предприятия приобретают такие препараты (глутаром, элевит, биопротект, фулпротект, натуралис и др.) за рубежом, преимущественно во Франции, хотя технология их получения проста и не требует существенных финансовых затрат [9, 10]. Основу технологии составляют такие приемы, как термическая обработка дрожжевой биомассы, ее очистка от балластных примесей, преимущественно белково-липидного комплекса, и последующая лиофильная сушка. При необходимости производят активацию поверхности полученных оболочек с целью сосредоточения на их поверхности активных центров, несущих определенный электрокинетический потенциал.

В последние 30 лет в нашей стране дрожжевые осадки не перерабатываются, их разбавляют водой и подвергают перегонке с получением спирта-сырца. Плотные дрожжевые осадки вывозят с территории винодельческих предприятий на виноградники и перепахивают.

В зависимости от технологии производства вина и расы дрожжей выход дрожжевых осадков составляет от 3 до 8 % от объема произведенного вина. Переработка такого количества вторичного сырья может обеспечить дрожжевыми оболочками-биосорбентами 2–3 крупных винодельческих предприятия. В связи с этим актуальным вопросом является разработка технологии производства дрожжевого биосорбента из дрожжевых отходов виноделия и исследование его сорбционного действия для дальнейшего применения в винодельческой промышленности при обработке виноматериалов.

Цель работы – оценка влияния дрожжевого биосорбента из дрожжевых осадков винодельческого производства, полученного по авторской технологии, на органолептические и физико-химические показатели белого и красного вина, в том числе на содержание токсичных элементов (тяжелых металлов).

Объекты и методы исследования

В работе использовались плотные дрожжевые осадки, полученные путем прессования жидких дрожжевых осадков на различных предприятиях Краснодарского края в 2021 г. Физиологическое состояние дрожжей было различным: содержались как живые (около 75 %), так мертвые клетки.

Для производства биосорбента плотные дрожжевые осадки трехкратно промывали дистиллированной водой с целью удаления различных балластных примесей и механических включений. Дрожжевые осадки считали хорошо промытыми, если жидкость на их поверхности становилась прозрачной. По окончании промывания в образовавшийся жидкий дрожжевой осадок вносили 3–4-кратный объем 0,1 N раствора соляной кислоты и 5–6 стеклянных шариков (на 1 дм³ суспензии) диаметром 8–10 мм (для большего диспергирования суспензии). Суспензию помещали на платформу горизонтального встряхивателя АБУ 6С и проводили перемешивание в течение 3 ч при скорости встряхивания 150 об/мин. По окончании процесса суспензию снова промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции и центрифугировали. Образовавшуюся твердую массу (дрожжевой биосорбент) сушили в сушильном шкафу при температуре 60–65 °С до постоянной массы. Затем диспергировали с помощью электромельницы и рассеивали с помощью сит, выделяя сорбент с размером частиц 0,4–0,5 мм. Полученный биосорбент использовали для обработки белых и красных виноматериалов с целью оценки его влияния на физико-химические и органолептические показатели продукции. Физико-химические показатели качества виноматериалов определяли традиционными методиками в соответствии с действующими стандартами:

– объемную долю этилового спирта – ареометром в дистилляте после перегонки виноматериалов;

- массовую концентрацию титруемых кислот – титрованием аликвоты виноматериала 0,1 N раствором едкого натра в присутствии индикатора бромтимолового синего и с применением потенциометра до получения нейтральной реакции;
- массовую концентрацию летучих кислот – путем титрования 0,1 N раствором едкого натра летучих кислот, выделенных из продукта путем перегонки с водяным паром;
- массовую концентрацию приведенного экстракта – методом, основанным на высушивании при температуре 105 ± 2 °С до постоянной массы остатка, полученного в результате выпаривания определенного объема виноматериала в выпарительной чашке, доведенной до постоянной массы. Массовую концентрацию приведенного экстракта вычисляют по разности значений массовой концентрации общего экстракта и массовой концентрации сахаров, определенной методом Бертрана;
- массовую концентрацию белка – по методу Лоури с предварительным построением калибровочного графика по альбумину;
- массовую концентрацию суммы полисахаридов – колориметрически фенолсерным методом Дише;
- массовую концентрацию суммы фенольных соединений – спектральным методом с применением реактива Фолина-Чокальтеу;
- величину окислительно-восстановительного потенциала – потенциометрически;
- интенсивность окраски – спектрофотометрическим способом путем сложения величин оптической плотности при длинах волн 420 и 540 нм;
- массовую концентрацию катионов металлов, в том числе токсичных элементов, – методом атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием прибора Квант-Z (Россия) с предварительным озелением проб.

Для обработки белых и красных виноматериалов в цилиндры вместимостью 200 см³ вносили данные виноматериалы и биосорбент в дозировке 0,2 и 0,5 г/дм³, перемешивали вручную и оставляли в покое до полного осветления виноматериала (18–20 ч). В качестве контроля использовали препарат глутаром (Франция), являющийся продуктом переработки дрожжевых осадков. Обработку виноматериалов глутаромом проводили аналогично экспериментальным образцам биосорбентов в дозировке 0,5 г/дм³.

Аналитические исследования проведены на базе научного центра «Виноделие» и ЦКП «Приборно-аналитический» ФГБНУ СКФНЦСВВ. Органолептический анализ виноматериалов до и после обработки биосорбентами включал оценку внешнего вида (прозрачность), цвета, вкуса и аромата вина и проводился дегустационной комиссией научного центра «Виноделие» ФГБНУ СКФНЦСВВ, в состав которой входили эксперты-дегустаторы.

Результаты и их обсуждение

Применение биосорбента способствовало улучшению качественных показателей вин (табл. 1). Объемная доля этилового спирта и массовая концентрация сахаров не претерпевали существенных изменений. Отмечено небольшое снижение массовой концентрации титруемых кислот. Массовая концентрация летучих кислот (в пересчете на уксусную) при обработке белых вин уменьшалась на 20 %. С увеличением дозировки биосорбента до 0,5 г/дм³ массовая концентрация летучих кислот в красных винах уменьшилась в 1,5 раза, что способствовало улучшению их аромата и вкуса. Это позволяет рекомендовать применение дрожжевого биосорбента для обработки вин с повышенной концентрацией летучих кислот. Массовая концентрация приведенного экстракта снижалась на 0,2–0,7 г/дм³ с увеличением дозировки сорбентов. При обработке белого вина в 1,5–1,8 раза снижалась массовая концентрация белка, на 110–115 мг/дм³ – массовая концентрация полисахаридов. Это способствует пролонгированию коллоидных помутнений, в том числе белково-полисахаридной природы.

Изменения физико-химических показателей произошли в результате обработки красного виноматериала. Произошло снижение содержания фенольных соединений на 13–37 % (в зависимости от дозировки сорбента), связанное с сорбцией конденсированных полифенолов. Их наличие обуславливает появление нежелательных коричневых и гранатовых оттенков в цвете красного вина. Антоцианы, ответственные за интенсивность окраски, не претерпевали существенных изменений: их концентрация уменьшалась на 2,3–5,1 % при дозировке биосорбента в количестве 0,2 и 0,5 г/дм³ соответственно. Полученные результаты коррелируют с величиной окислительно-восстановительного потенциала красного вина: его значение снизилось с 203 мВ в необработанном виноматериале до 164–180 мВ в образцах, обработанных биосорбентами.

В результате проведенных исследований установлено, что кинетика снижения концентрации полифенолов при обработке красных виноматериалов биосорбентами состоит из двух фаз. Первая фаза снижения концентрации полифенолов прошла за первые 1–2 часа, вторая – за несколько суток. Сначала в течение 1–2-х ч сорбировалось большее количество полифенолов (примерно 60–70 % от общего количества сорбированных фенольных веществ). При обработке биосорбентом в количестве 0,5 г/дм³ (табл. 1) общее снижение концентрации фенольных соединений составило 200 мг/дм³, из которых 120–140 мг/дм³ были сорбированы в первые 1–2 ч взаимодействия. Остальные 60–80 мг/дм³ – в течение последующих 3–4-х суток. Основную долю

Таблица 1. Влияние обработки виноматериалов биосорбентом на физико-химические показатели белого и красного вина

Table 1. Effect of the new biosorbent on the physicochemical profile of white and red wine

Наименование показателя	Необработанный виноматериал	Вино обработанное		
		Биосорбентом		Глутаромом, 0,5 г/дм ³
		0,2 г/дм ³	0,5 г/дм ³	
Белое вино Шардоне				
Объемная доля этилового спирта, %	12,7 ± 0,1	12,7 ± 0,1	12,6 ± 0,1	12,6 ± 0,1
Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	3,5 ± 0,2	3,5 ± 0,2	3,4 ± 0,2	3,3 ± 0,2
Массовая концентрация титруемых кислот в пересчете на винную кислоту, г/дм ³	6,8 ± 0,1	6,4 ± 0,1	6,3 ± 0,1	6,4 ± 0,1
Массовая концентрация летучих кислот в пересчете на уксусную кислоту, г/дм ³	0,56 ± 0,04	0,44 ± 0,03	0,44 ± 0,03	0,44 ± 0,03
Массовая концентрация приведенного экстракта, г/дм ³	25,4 ± 0,4	25,2 ± 0,4	25,0 ± 0,4	24,7 ± 0,4
Массовая концентрация белка, мг/дм ³	12,3 ± 0,2	8,2 ± 0,1	6,8 ± 0,1	7,2 ± 0,1
Массовая концентрация полисахаридов, мг/дм ³	650 ± 2	540 ± 2	500 ± 2	520 ± 2
Массовая концентрация суммы фенольных соединений, мг/дм ³	144 ± 1	132 ± 1	128 ± 1	126 ± 1
Окислительно-восстановительный потенциал, мВ	184 ± 2	154 ± 2	147 ± 2	145 ± 2
Красное вино Мерло				
Объемная доля этилового спирта, %	14,3 ± 0,1	14,3 ± 0,1	14,2 ± 0,1	14,2 ± 0,1
Массовая концентрация сахаров, г/дм ³	3,0 ± 0,2	2,8 ± 0,2	2,8 ± 0,2	2,4 ± 0,2
Массовая концентрация титруемых кислот в пересчете на винную кислоту, г/дм ³	6,0 ± 0,1	6,0 ± 0,1	5,8 ± 0,1	5,8 ± 0,1
Массовая концентрация летучих кислот в пересчете на уксусную кислоту, г/дм ³	0,64 ± 0,04	0,60 ± 0,04	0,40 ± 0,03	0,52 ± 0,03
Массовая концентрация приведенного экстракта, г/дм ³	28,6 ± 0,4	28,2 ± 0,4	27,8 ± 0,3	27,3 ± 0,3
Массовая концентрация белка, мг/дм ³	15,7 ± 0,3	13,8 ± 0,2	10,4 ± 0,1	10,0 ± 0,1
Массовая концентрация полисахаридов, мг/дм ³	840 ± 4	800 ± 3	770 ± 3	770 ± 3
Массовая концентрация суммы фенольных соединений, мг/дм ³	3120 ± 9	3020 ± 9	2920 ± 9	2860 ± 8
в том числе антоцианов	540 ± 2	523 ± 2	513 ± 2	510 ± 2
Окислительно-восстановительный потенциал, мВ	203 ± 2	180 ± 2	164 ± 2	167 ± 2

осажденных биосорбентами полифенолов составляли их полимерные формы, что согласуется с данными [11–13]. Такая кинетика изменения концентрации фенольных соединений может быть связана не столько с электростатическим взаимодействием между отрицательно заряженными полифенолами виноматериала и белками поверхностного слоя биосорбентов, сколько с их адгезией и взаимодействием с активными центрами.

При обработке белого виноматериала отмечено небольшое снижение концентрации фенольных соединений, которое влияет на его окраску: исчезли золотистые тона и вино приобрело соломенные оттенки. Также улучшился вкус вина: при дегустации контрольного образца отмечались легкие тона окисленности и редукции, исчезнувшие после обработки биосорбентами.

В полученных образцах установлена интенсивность цвета (рис. 1), которую рассчитывали для белых вин путем сложения оптических плотностей толщины слоя вина при длинах волн 420 и 520 нм, красных – 420,

520 и 620 нм [14]. В красных винах дополнительно установлена доля красного оттенка, определяемая при длине волны 520 нм. В образцах белых вин, где использовали биосорбент, интенсивность составила от 0,15 до 0,17, в контроле – 0,23, в красных обработанных винах – от 1,22 до 1,30, в контроле – 1,35. Доля красного оттенка в контроле составила 63 %, в обработанных винах – от 68 до 73 %, что подтверждает более яркую и насыщенную окраску красных вин.

Уменьшилась величина окислительно-восстановительного потенциала: с 184 мВ в исходном образце необработанного белого виноматериала до 145–154 мВ в вариантах, обработанных различными дозировками биосорбента. С увеличением дозировки выявлено большее снижение величины окислительно-восстановительного потенциала.

В винах, обработанных биосорбентами, улучшилась органолептическая оценка (рис. 2). Наибольшие улучшения отмечены в красных винах, которые обладали более мягким, округлым и

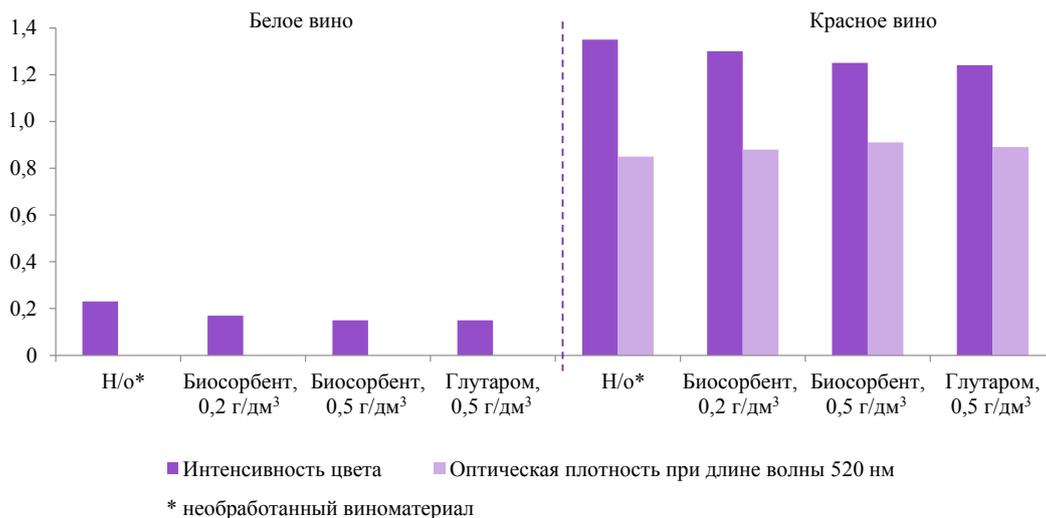


Рисунок 1. Влияние обработок виноматериалов дрожжевыми сорбентами на цветовые характеристики красного и белого вина

Figure 1. Effect of the new yeast sorbents on the color of red and white wine

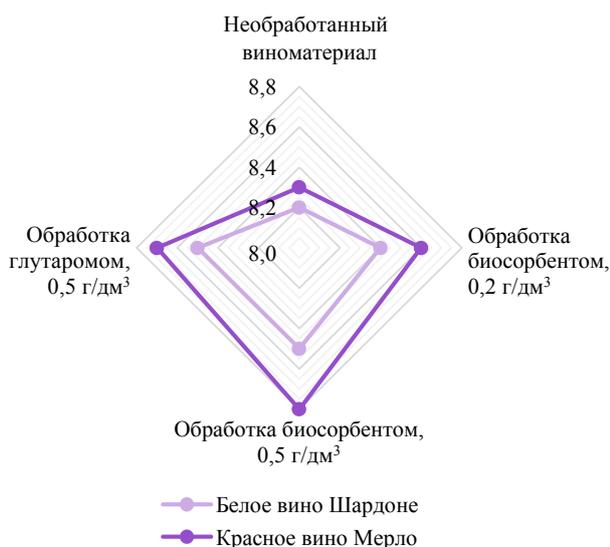


Рисунок 2. Результаты органолептической оценки красного и белого вина в зависимости от проведенных обработок

Figure 2. Sensory evaluation of red and white wines

гармоничным вкусом и ярким ароматом с выраженными сортовыми тонами. В результате обработки в винах ликвидированы тона окисленности, что связано с сорбцией хинонов и конденсированных форм полифенолов [12, 13]. Такая реакция связана с образованием прочных комплексов между маннопротеинами поверхности биосорбентов и танинами вина [11, 12]. Физико-химические взаимодействия между маннопротеинами и полифенолами рассматриваются как ключевой механизм.

Хотя β -глюканы также являются основными компонентами клеточных стенок, их потенциальная роль никогда не рассматривалась [12, 15].

Сравнивая полученные результаты, можно отметить идентичность влияния биосорбента, приготовленного нами из дрожжевых отходов виноделия, и препарата глутаром, произведенного во Франции из автолизированных винных дрожжей. Этот факт позволяет сделать вывод об идентичности механизма действия экспериментальных и промышленных сорбентов.

Дрожжевые оболочки дрожжей рода *Saccharomyces cerevisiae*, состоящие из полисахаридных комплексов и маннопротеинов, являются хорошими сорбентами тяжелых металлов, в том числе токсичных элементов, концентрация которых в винодельческой продукции нормируется ТР ТС 021/2011 [16, 17]. В связи с этим проведено сравнительное исследование сорбционных свойств экспериментальных биосорбентов, полученных из дрожжевых отходов виноделия, с импортным аналогом глутаромом, представляющим собой инактивированные клеточные оболочки, насыщенные глутатионом и специфическими полисахаридами с известной концентрацией маннопротеинов [10].

Исследования проведены на модельных смесях, представляющих собой виноградный виноматериал с добавлением токсичных элементов в виде их растворимых солей азотной кислоты. Дополнительно оценено влияние биосорбентов на концентрации катионов железа и меди, являющихся в виноделии т. н. «технологическими элементами», оказывающими влияние на устойчивость вин к металлическим кассам и коллоидным помутнениям. Дозировка сорбентов

Таблица 2. Изменение массовой концентрации катионов металлов под действием биосорбентов

Table 2. Effect of the new biosorbent on the concentration of metal cations

Элемент	Массовая концентрация катионов металлов в виноматериале, мг/дм ³				
	Необработанным	Обработанным биосорбентом		Обработанным глутаромом	
		0,2 г/дм ³	0,5 г/дм ³	0,2 г/дм ³	0,5 г/дм ³
Белое вино Шардоне					
Кадмий	0,84 ± 0,01	0,31 ± 0,01	0,12 ± 0,01	0,40 ± 0,01	0,12 ± 0,01
Ртуть	0,020 ± 0,001	0,008 ± 0,001	0,003 ± 0,001	0,008 ± 0,001	0,003 ± 0,001
Мышьяк	0,88 ± 0,01	0,32 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,21 ± 0,01	0,17 ± 0,01
Свинец	0,75 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,17 ± 0,01
Железо	10,2 ± 0,1	5,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1	6,3 ± 0,1	3,8 ± 0,1
Медь	7,4 ± 0,1	4,6 ± 0,1	2,1 ± 0,1	3,8 ± 0,1	1,9 ± 0,1
Красное вино Мерло					
Кадмий	0,76 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,32 ± 0,01	0,08 ± 0,01
Ртуть	0,020 ± 0,001	Нет	Нет	Нет	Нет
Мышьяк	0,78 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,27 ± 0,01	0,12 ± 0,01
Свинец	0,72 ± 0,00	0,18 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,10 ± 0,01
Железо	9,6 ± 0,1	5,0 ± 0,1	2,7 ± 0,1	5,4 ± 0,1	2,2 ± 0,1
Медь	7,6 ± 0,1	4,2 ± 0,1	1,1 ± 0,1	3,1 ± 0,1	1,2 ± 0,1

составила 0,2 и 0,5 г/дм³. Выбор винной модельной смеси, а не водной, объясняется следующими факторами. Ранее проведенными исследованиями с помощью электрофореза в полиакриламидной слое доказано, что дрожжи и сорбенты на их основе в водной смеси имеют отрицательный электрокинетический заряд поверхности [18]. При попадании в виноматериал в результате взаимодействия с компонентами винодельческой продукции биосорбенты, как и любые дрожжевые клетки, становятся электронейтральными. При этом на их поверхности сохраняется большое количество активных центров, имеющих как положительный, так и отрицательный заряды. Поэтому проведение экспериментов на винной модельной среде позволяет получить объективные данные о протекании физико-химических процессов при обработке биосорбентами.

Проведенные исследования показали (табл. 2), что дрожжевые сорбенты эффективно сорбировали катионы металлов из модельной среды. Можно отметить следующий факт: сорбция катионов металлов из красного виноматериала была больше, чем у белого. Это связано с наличием высоких концентраций реакционно-способных фенольных соединений, активно взаимодействующих с положительно заряженными катионами металлов. Установлено, что с увеличением дозировки как экспериментального образца биосорбента, полученного из дрожжевых осадков, так и глутарома их сорбционная способность возрастает относительно всех исследованных катионов металлов.

При обработке белого виноматериала биосорбентом отмечена следующая тенденция: массовая концентрация кадмия, в зависимости от дозировки, уменьшалась на 65–86 %, ртути – на 40–67 %,

мышьяка – на 64–80 %, свинца – на 71–83 %, железа – на 56–81 %, меди – на 48–72 %. Близкие результаты получены при использовании глутарома.

При обработке красного виноматериала получены следующие результаты: массовая концентрация кадмия, в зависимости от дозировки, уменьшалась на 70–89 %, ртути – на 100 %, мышьяка – на 70–88 %, свинца – на 75–89 %, железа – на 48–72 %, меди – на 48–86 %.

Такую высокую сорбционную способность биосорбентов можно объяснить исходя из химического состава оболочек винных дрожжей рода *S. cerevisiae*, выполняющих роль клеточного скелета [13, 19]. Их внешний слой состоит из сильно гликозилированных белков – маннопротеинов, а внутренний слой – из β-глюкана и хитина. Глюкан является важным структурным компонентом клеточной стенки, ответственным за поддержание ее прочности. Хитин участвует в построении первичной перегородки клеточной мембраны и ее проницаемости. Эти два слоя связаны между собой ковалентными связями, что приводит к надмолекулярной архитектуре, которая характеризуется физическими и химическими свойствами, включая жесткость, пористость и биосорбцию. Более позднее свойство возникает из-за наличия на поверхности оболочек дрожжей отрицательно заряженных активных центров различной природы, определяющих эффективность биосорбции.

Наличие в структуре биосорбента –СООН-групп позволяет рассматривать сорбцию тяжелых металлов в гетерофазной системе сорбент – водный раствор как ионный обмен на карбоксильных группах [20]. Кроме того, сорбирование катионов металлов клеточными оболочками дрожжей может происходить в

электростатическом поле с помощью отрицательно заряженных фосфорильных, гидроксильных и карбоксильных групп поверхности биосорбентов. При этом процесс сорбции металлов протекает как процесс адгезии – комплексообразование металлсвязывающих белков и металлов на поверхности клеток [21, 22].

Большой интерес представляет исследование кинетики сорбции исследованных катионов металлов. Согласно данным [25] максимальная сорбция тяжелых металлов поверхностью дрожжей рода *S. cerevisiae* из водного раствора, содержащего ионы тяжелых металлов, достигается в течение 5 мин. Проведенные кинетические исследования в белом и красном виноматериалах показали, что достижение состояния равновесия при биосорбции всех исследуемых катионов достигается в различное время контактирования. Это обуславливается многообразием химического состава виноматериалов, содержанием в них различных компонентов, несущих как положительный (белки, аминокислоты, катионы металлов и т. п.), так и отрицательный (полисахариды, фенольные соединения, анионы) заряды поверхности. Установлено, что при обработке белых виноматериалов максимальная сорбция кадмия, железа и меди наблюдалась через 30–35 мин с момента обработки, свинца и мышьяка – через 45–50 мин, ртути – в течение 2-х ч. При обработке красных виноматериалов максимальная сорбция кадмия – через 40–45 мин, железа и меди – через 50 мин, свинца и мышьяка – через 55–60 мин, ртути – в течение 3-х ч. На протяжении следующих 30–60 мин десорбции ионов металлов не наблюдалось. Это свидетельствует о возникновении прочных связей с функциональными группами поверхностного аппарата биосорбентов.

Выводы

Биосорбенты, полученные из дрожжевых отходов винодельческой промышленности, обладают высокими сорбционными свойствами к фенольным соединениям и к катионам металлов, в том числе к токсичным элементам виноматериалов.

Высокая сорбционная способность дрожжевых биосорбентов объясняется электростатическим механизмом, связанным с наличием на их поверхности активных центров различной природы, а также с комплексообразованием металлсвязывающих белков и металлов на поверхности биосорбента. С увеличением дозировки биосорбентов эффективность их действия возрастает. Отмечено разное время сорбции исследуемых катионов металлов. Выявлено снижение концентрации фенольных соединений не только в красных, но и в белых винах. Антоцианы, ответственные за интенсивность окраски в красных винах, не претерпевали существенных изменений. Биосорбенты не оказывают значительного влияния на объемную долю этилового спирта, массовую концентрацию сахаров и титруемых кислот и способствуют снижению массовой концентрации летучих кислот (в пересчете на уксусную кислоту), белка и полисахаридов. Применение биосорбента для обработки виноматериалов способствует улучшению их органолептических показателей.

Критерии авторства

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за достоверность информации и уникальность разработок.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Alfonzo A, Prestianni R, Gaglio R, Matraxia M, Maggio A, Naselli V, et al. Effects of different yeast strains, nutrients and glutathione-rich inactivated yeast addition on the aroma characteristics of Catarratto wines. *International Journal of Food Microbiology*. 2021;360. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109325>
2. Berbegal C, Polo L, García-Esparza MJ, Lizama V, Ferrer S, Pardo I. Immobilisation of yeasts on oak chips or cellulose powder for use in bottle-fermented sparkling wine. *Food Microbiology*. 2019;78:25–37 <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.09.016>
3. Bahut F, Romanet R, Sieczkowski N, Schmitt-Kopplin P, Nikolantonaki M, Gougeon RD. Antioxidant activity from inactivated yeast: Expanding knowledge beyond the glutathione-related oxidative stability of wine. *Food Chemistry*. 2020;325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126941>
4. Petruzzi L, Baiano A, De Gianni A, Sinigaglia M, Corbo MR, Bevilacqua A. Differential adsorption of Ochratoxin A and anthocyanins by inactivated yeasts and yeast cell walls during simulation of wine aging. *Toxins*. 2015;7(10):4350–4365. <https://doi.org/10.3390/toxins7104350>

5. Gabrielli M, Aleixandre-Tudo JL, Kilmartin PA, Sieczkowski N, du Toit WJ. Additions of glutathione or specific glutathione-rich dry inactivated yeast preparation (DYP) to Sauvignon blanc must: Effect on wine chemical and sensory composition. *South African Journal of Enology and Viticulture*. 2017;38(1):18–28. <https://doi.org/10.21548/38-1-794>
6. Ferri M, Vannini M, Ehrnell M, Eliasson L, Xanthakis E, Monari S, *et al.* From winery waste to bioactive compounds and new polymeric biocomposites: A contribution to the circular economy concept. *Journal of Advanced Research*. 2020;24:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.02.015>
7. Řezanka T, Palyzova A, Sigler K. Waste brewery and winery yeast as a raw material for biotechnological productions. *Kvasny Prumysl*. 2017;63(4):158–162. <https://doi.org/10.18832/kp201718>
8. Yeast Products. Yeast products for stabilisation and mouthfeel [Internet]. [cited 2022 Feb 27]. Available from: <https://laffort.com/en/ranges/yeast-products>
9. Ageyeva NM, Tikhonova AN, Globa EV, Biryukova SA. Study of the reological characteristics of yeast and adhesive sediments of grape wines. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*. 2021;67:332–342. (In Russ.). <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-1-67-332-342>
10. Biological preparations from yeast [Internet]. [cited 2022 Feb 27]. Available from: <https://ioc.eu.com/ru/products/alternativesru> [Биопрепараты из дрожжей. URL: <https://ioc.eu.com/ru/products/alternativesru> (дата обращения 27.02.2022)].
11. Božič JT, Butinar L, Albreht A, Vovk I, Korte D, Vodopivec BM. The impact of *Saccharomyces* and *non-Saccharomyces* yeasts on wine colour: A laboratory study of vinylphenolic pyranoanthocyanin formation and anthocyanin cell wall adsorption. *LWT*. 2020;123. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109072>
12. Dergacheva DI, Mashkova AA, Isakova EP, Gessler NN, Deryabina YuI. Influence of resveratrol and dihydroquercetin on physiological and biochemical parameters of the poly-extremophilic yeast *Yarrowia lipolytica* under temperature stress. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2019;55(2):158–165. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0555109919020041>
13. Mekoue Nguela J, Poncet-Legrand C, Sieczkowski N, Vernhe A. Interactions of grape tannins and wine polyphenols with a yeast protein extract, mannoproteins and β -glucan. *Food Chemistry*. 2016;210:671–682. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.050>
14. Anikina NS, Cherviak SN, Gnilomedova NV. Methods for evaluating the color of wines. The review. *Analytics and Control*. 2019;23(2):158–167. (In Russ.). <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.2.003>
15. De Iseppi A, Lomolino G, Marangon M, Curioni A. Current and future strategies for wine yeast lees valorization. *Food Research International*. 2020;137. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109352>
16. Wang J, Chen C. Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. *Biotechnology Advances*. 2006;24(5):427–451. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.03.001>
17. Chakraborty R, Asthana A, Singh AK, Jain B, Susan ABH. Adsorption of heavy metal ions by various low-cost adsorbents: a review. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022;102(2):342–379. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1722811>
18. Ageeva NM, Biryukov AP, Awanesianz RW. Biosynthesis of proteinases and pectinases by wine yeasts. *Periodico Tche Quimica*. 2019;16(32):497–508.
19. Giovinazzo G, Carluccio MA, Grieco F. Wine polyphenols and health. In: Mérillon J-M, Ramawat KG, editors. *Bioactive molecules in food*. Cham: Springer; 2019. pp. 1135–1155. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_81
20. Chwastowski J, Staroń P. Influence of *Saccharomyces cerevisiae* yeast cells immobilized on *Cocos nucifera* fibers for the adsorption of Pb(II) ions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022;632. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127735>
21. Mohebbad B, Bonyadi Z, Dehghan AA, Rahmat MH. Arsenic removal from aqueous solutions using *Saccharomyces cerevisiae*: Kinetic and equilibrium study. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2019;38(S1):S398–S402. <https://doi.org/10.1002/ep.13074>
22. Skugoreva SG, Kantor GYa, Domracheva LI. Biosorption of heavy metals by micromycetes: Specificity of the process, mechanisms, kinetics. *Theoretical and Applied Ecology*. 2019;(2):14–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-2-014-031>
23. Solopov MV, Legenkiy YuA, Bepalova SV, Holyavka MG. Biosorption of heavy metals ions by yeast cells modified with magnetite nanoparticles. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy*. 2019;(1):96–102. (In Russ.). [Бiosорбция ионов тяжелых металлов дрожжевыми клетками, модифицированными наночастицами магнетита / М. В. Солопов [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2019. № 1. С. 96–102.].

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2393>
<https://elibrary.ru/PBQUMJ>

Original article
Available online at <https://fptt.ru/en>

Developing a Herbal Drink from Green Asparagus (*Asparagus officinalis* L.): Effect of Process Parameters on the Quality of the Product



Quang Vinh Nguyen^{1,*}, Dang Pha Le², Minh Trung Nguyen¹,
Thi Yen Nhi Tran³, Truong Dang Le³

¹ Institute of Biotechnology and Environment, Tay Nguyen University, Buon Ma Thuot, Vietnam

² Department of Science and Technology in Dak Lak, Buon Ma Thuot, Vietnam

³ Nguyen Tat Thanh University^{ROR}, Ho Chi Minh, Vietnam

Received: 25.11.2021

Revised: 05.08.2022

Accepted: 06.09.2022

*Quang Vinh Nguyen: nqvinh@ttn.edu.vn,

<https://orcid.org/0000-0003-2584-1466>

Dang Pha Le: <https://orcid.org/0000-0001-8575-3009>

Minh Trung Nguyen: <https://orcid.org/0000-0002-6665-4213>

Thi Yen Nhi Tran: <https://orcid.org/0000-0001-7522-1471>

Truong Dang Le: <https://orcid.org/0000-0003-0335-1140>

© Q.V. Nguyen, D.P. Le, M.T. Nguyen, T.Y.N. Tran, T.D. Le, 2022



Abstract.

Green asparagus is widely consumed fresh due to its high nutritional value and a low calorie content. However, its short shelf-life due to a high water content causes high postharvest losses. In this study, we aimed to develop an innovative asparagus herbal drink to ease postharvest losses and diversify asparagus-derived products.

We investigated the effects of process parameters on the quality of the herbal drink from green asparagus. In particular, we determined the optimal length and grinding size for asparagus and selected suitable blanching and drying methods. Analytical responses included the contents of total soluble solids, polyphenol, carbohydrates, and vitamin C, as well as the visual appearance of asparagus samples.

The length of 5 mm was found suitable for subsequent steps as it facilitated an increase in solute in the asparagus infusion. Microwave blanching and convective drying were selected to achieve high contents of total soluble solids, polyphenol, carbohydrates, and vitamin C in the asparagus infusion. Dried asparagus ground into 1.5–2.0 mm particles was packaged into tea bags. The asparagus infusion subjected to sensory evaluation had a yellowish color, a characteristic asparagus flavor, and a relatively sweet taste. Total soluble solids in the infusion amounted to 26%.

Our results showed a possibility of developing an asparagus herbal drink which could be a potent product in the commercial market. Therefore, further large-scale studies of the asparagus herbal drink should be carried out to enhance its feasibility in the food industry.

Keywords. Green asparagus, herbal drink, total soluble solids, total polyphenol content, blanching, convective drying

For citation: Nguyen QV, Le DP, Nguyen MT, Tran TYN, Le TD. Developing a Herbal Drink from Green Asparagus (*Asparagus officinalis* L.): Effect of Process Parameters on the Quality of the Product. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):640–648. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2393>

Влияние технологических параметров на качество травяного напитка из зеленой спаржи (*Asparagus officinalis* L.)



Quang Vinh Nguyen^{1,*}, Dang Pha Le², Minh Trung Nguyen¹,
Thi Yen Nhi Tran³, Truong Dang Le³

¹ Institute of Biotechnology and Environment, Tay Nguyen University, Buon Ma Thuot, Vietnam

² Department of Science and Technology in Dak Lak, Buon Ma Thuot, Vietnam

³ Nguyen Tat Thanh University^{ROR}, Ho Chi Minh, Vietnam

Поступила в редакцию: 25.11.2021
Принята после рецензирования: 05.08.2022
Принята к публикации: 06.09.2022

*Quang Vinh Nguyen: nqvinh@ttn.edu.vn,
<https://orcid.org/0000-0003-2584-1466>
Dang Pha Le: <https://orcid.org/0000-0001-8575-3009>
Minh Trung Nguyen: <https://orcid.org/0000-0002-6665-4213>
Thi Yen Nhi Tran: <https://orcid.org/0000-0001-7522-1471>
Truong Dang Le: <https://orcid.org/0000-0003-0335-1140>

© Q.V. Nguyen, D.P. Le, M.T. Nguyen, T.Y.N. Tran, T.D. Le, 2022



Аннотация.

Зеленую спаржу употребляют в свежем виде из-за ее высокой питательной ценности и низкой калорийности. Однако высокое содержание воды укорачивает срок хранения данного продукта, что приводит к высоким послеуборочным потерям. В ходе данного исследования была разработана рецептура инновационного травяного напитка из спаржи, которая уменьшает послеуборочные потери и вносит разнообразие в ассортимент продуктов питания на основе спаржи. Изучили влияние параметров обработки сырья на качество травяного напитка из зеленой спаржи. Была определена оптимальная длина и величина помола спаржи, а также рациональные методы бланширования и сушки. В образцах определяли общее содержание растворимых сухих веществ, полифенолов, углеводов и витамина С, а также провели органолептическую оценку внешнего вида напитка.

Наиболее оптимальной оказалась длина в 5 мм, поскольку она способствовала увеличению содержания растворенного вещества в настое спаржи. Бланширование в микроволновой печи и конвективная сушка позволили повысить содержание растворимых сухих веществ, полифенолов, углеводов и витамина С. Сушеную спаржу, измельченную до 1,5–2,0 мм, упаковывали в чайные пакетики. Органолептическое исследование готового напитка позволило выделить такие качества, как желтоватый цвет, характерный спаржевый привкус и умеренно сладкий вкус. Общее содержание растворимых сухих веществ в настое составило 26 %.

Результаты исследования доказали высокий коммерческий потенциал разработанного травяного напитка из спаржи. Дальнейшее изучение позволит повысить его рентабельность в пищевой промышленности.

Ключевые слова. Зеленая спаржа, травяной напиток, общее содержание растворимых сухих веществ, общее содержание полифенолов, бланширование, конвективная сушка

Для цитирования: Влияние технологических параметров на качество травяного напитка из зеленой спаржи (*Asparagus officinalis* L.) / Q. V. Nguyen [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 640–648. (На англ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2393>

Introduction

Green asparagus (*Asparagus officinalis* L.), belonging to the Asparagaceae family, is widely cultivated in subtropical and tropical regions around the world such as China, Peru, Thailand, Mexico, etc. [1]. Asparagus is commonly divided into two categories: green asparagus and white asparagus. The difference between them,

however, is dependent on the growth of their spears. White stems are formed when growing below the soil, whereas green stems are developed when they are directly exposed to sunlight and become green via the chlorophyll function [2]. Besides, another rarely consumed asparagus is purple asparagus which has a higher anthocyanin content compared to green and

white asparagus [3]. Asparagus is favorably consumed in many countries due to its high nutritional value and low calorie content [1].

Asparagus has a considerably higher protein content than many other vegetables, but it is low in carbohydrates and calories [4]. Besides, asparagus has been found to be a rich source of such bioactive compounds as vitamin C, flavonoids, polyphenols, and tannins, which lower cholesterol and have an anti-cancerous effect [4]. Many antioxidants have been identified in green asparagus including rutin, tocopherol, ferulic acid, and glutathione [5]. The asparagus aqueous extract was found to have a 7-fold higher inhibitory effect against α -glucosidase than that of acarbose used for a high-fructose diet-induced metabolic syndrome in mice [6]. Asparagus extracts were reported to have potential in immunomodulatory activities [7]. The effectiveness of antihyperglycemic treatment with an asparagus extract (500 mg/kg) on STZ-induced diabetic mice was found to be the same as that of an anti-diabetic drug (glibenclamide, 5 mg/kg) [8].

On the other hand, asparagus is a highly perishable product due to its high respiration rate, limiting its shelf-life [9]. Therefore, appropriate methods should be applied to better maintain the quality of fresh asparagus or to create innovative asparagus-based products for long-term use. Asparagus stems are currently commercialized as fresh, frozen, or canned products [2]. To date, many studies have aimed to develop innovative products from green asparagus. White asparagus was successfully employed to produce a spray-dried asparagus powder by Siccama *et al.* [10]. Asparagus powder was used as an additive to improve the elasticity and rigidity of cheeses and ensure enhanced bioactive compounds in the final cheese products [11]. Mazaheri Kalahrodi *et al.* showed a tendering effect of asparagus juice on the textural characteristics of beefsteak [12]. Adding asparagus powder into processed cheese was found to enhance the phenolic content, antioxidant activity, and proteolysis of the processed cheeses, as well as to improve the textural characteristics of processed cheese [11]. The term “herbal drink” is scarcely mentioned in the studies developing products from green asparagus. Therefore, we, for the first time, developed a herbal drink from green asparagus which serves as a healthy drink due to its nutritional value and bioactive compounds. Besides, we selected an appropriate drying method to ease the quality deterioration of fresh asparagus and prevent its harvest loss. Finally, we evaluated the process parameters for developing the asparagus herbal drink to obtain a tea extract with a high solute yield.

Study objects and methods

Materials. Asparagus spears (edible part) of different length were collected from a local farm in Ea Kar, Dak Lak province. Anthrone (9,10-Dihydro-9-oxoanthracene), gallic acid, and vitamin C were purchased from Sigma-

Aldrich (St. Louis, Missouri, USA). Other analytical chemicals were purchased from standard commercial suppliers.

Preparation of asparagus herbal drink. Asparagus spears were washed with distilled water to remove impurities and then sliced into specimens with varying lengths (2, 5, 10, 15, and 20 mm). The samples (500 g) were blanched in hot water (90–100°C), dried at 55°C to obtain the moisture content of 12%, and roasted at 100°C for 3 min (SCR301, Barwell, China). The samples with a suitable length were then used for further experiments.

To investigate the effect of heat pretreatment methods on the quality of the asparagus herbal drink, the selected specimens (500 g) were subjected to different heat pretreatments: without blanching (control sample), hot water blanching at 70–80°C for 3 min, hot water blanching at 90–100°C for 1.5 min, and microwave heating (R-G302VN-S, Sharp Coporation, Osaka, Japan) for 30 s at 440 W. The pretreated samples were dried at 55°C to the moisture content of 12% and then roasted at 100°C for 3 min. An appropriate pretreatment method was selected and the samples were prepared for subsequent evaluations.

The pretreated asparagus samples (500 g) were then subjected to different drying conditions (convective drying at 55°C, heat pump drying at 40°C, and microwave drying) until obtaining the moisture content of 12% followed by roasting at 100°C for 3 min. A proper drying method was selected for the herbal drink. Finally, the dried samples were ground into smaller pieces of different sizes (< 0.5, 0.5–1.0, 1.0–1.5, 1.5–2.0, and > 2 mm). The dried asparagus samples (2 g) were packaged into teabags made of filter paper. Analytical responses were determined to select the appropriate process parameters, including total soluble solids, total polyphenol content, total carbohydrate, vitamin C, and visual appearance of asparagus samples.

Total polyphenol determination. The total polyphenol content was determined according to a previous study by Nguyen *et al.* [13]. Each sample was extracted with distilled water at the ratio of 1:10. An aliquot (1 mL) of the extract was mixed with 5 mL of 10% Folin-Ciocalteu reagent and 1 mL of 7.5% Na₂CO₃. The mixture was kept for 30 min in the dark before reading absorbance values at 765 nm by using a 722-Visible spectrophotometer (Yangzhou Wandong Medical Co., China). Gallic acid served as a standard solution. The total polyphenol content was expressed as milligrams of gallic acid equivalent per gram of dry matter (mg GAE/g DM) by establishing a standard curve or varying concentrations of gallic acid (0.01–0.09 mg/mL) versus its absorbance.

Vitamin C determination. The content of vitamin C was determined by using a high-performance liquid chromatography (HPLC) system (Waters Corp., Milford, MA, USA) equipped with a Bischoff prontosil column (AQ 4×125 mm×5 μ m). A gradient of the mobile phase

consisting of methanol and 5 mmol/L KH_2PO_4 was programmed at 0.75 mL/min for 30 min at 30°C. Each sample extract was injected to the column at the volume of 20 μL and vitamin C was used as a standard solution. The detector recorded the absorbance at 254 nm [14].

Total soluble solids and carbohydrate measurements. Total soluble solids were determined by using a digital refractometer (PR-101a, 0–45°Brix, Atago Co. Ltd., Japan). The carbohydrate content was measured following the Anthrone method [15]. Each sample extract (2 mL) was mixed with 4 mL of an anthrone solution and 5 mL of concentrated sulphuric acid. The mixture was boiled in a water bath for 8 min and immediately cooled to room temperature. The mixture was allowed to stand for 30 min in the dark before its absorbance was taken at 585 nm.

Sensory evaluation. The sensory evaluation of the asparagus herbal drink followed the Vietnamese standard TCVN 3218:2012. Four sensory attributes (appearance, color, flavor, and taste) of the asparagus infusion were evaluated according to a 5-point scale. For this, each teabag containing 2 g of dried asparagus was placed in a glass cup with 100 mL of boiled water and allowed to stand for 6 min. The sensory evaluation was conducted by 20 panelists who were assigned to score each attribute. The importance indexes were as follows: 1 for appearance, 0.6 for color, 1.2 for flavor, and 1.2 for taste.

Statistical analysis. Each experiment was conducted in triplicate and the data were presented as mean \pm standard deviation. The results were analyzed by a one-way analysis of variance (ANOVA) with the SPSS software (IBM Corp., Armonk, New York, USA). The Tukey HSD test was utilized to compare mean values at the significant level of 5% ($P < 0.05$).

Results and discussion

Effect of asparagus size on the solute content in the extract. Prior to heat pretreatment, green asparagus needs to be reduced in size to facilitate

further processes of blanching and drying. Table 1 presents the effects of asparagus lengths on the solute content in the extract. We found that longer samples had ineffective extraction yields of total soluble solids, total polyphenol content, and total carbohydrates. On the other hand, the total soluble solids, total polyphenol content, and total carbohydrate values of a 2 mm asparagus extract were the highest, amounting to $33.53 \pm 0.21\%$, 0.74 ± 0.02 mg GAE/g DM, and $13.36 \pm 0.32\%$, respectively. This was because smaller asparagus samples facilitated the diffusion of the blanching water to soften the plant tissues, increasing the extraction efficiency of solutes in green asparagus [16]. Our results were consistent with many previous reports that found smaller particle sizes to achieve higher extraction efficacy [16–18]. According to our analysis, there was no difference in the total soluble solids, total polyphenol content, and total carbohydrate values between the 2 and 5 mm samples. The content of vitamin C, however, showed an increasing trend at larger sample sizes. Vitamin C is highly susceptible to environmental conditions such as light, temperature, and oxygen [19]. The lowest content (83.57 ± 2.43 mg/100 g) of vitamin C was found in the 2 mm sample. This was because the small size contributed to a larger surface exposure to the hot blanching temperature, causing vitamin C to decay faster. Moreover, the loss in vitamin C could possibly be ascribed to the leakage to the blanching medium [20].

The visual appearance of asparagus specimens at different sizes is presented in Fig. 1a. As we can see, the 2 mm asparagus samples had a soft structure after blanching, with a dark brown color in some of the specimens. Meanwhile, the other samples showed harder structures with a greenish color, which were suitable for further processing. We found that the 5 mm sample could be suitable for further processing to develop an asparagus herbal drink.

Table 1. Effect of asparagus lengths on total soluble solids, polyphenol, carbohydrates, and vitamin C in the asparagus extract

Таблица 1. Зависимость общего содержания растворимых сухих веществ, полифенолов, углеводов и витамина С в экстракте от длины нарезанных образцов спаржи

Sample length, mm	Total soluble solids, %	Total polyphenol content, mg GAE/g DM	Total carbohydrate, %	Vitamin C, mg/100 g
2	33.53 ± 0.21^c	0.74 ± 0.02^{bc}	13.36 ± 0.32^d	83.57 ± 1.43^a
5	32.77 ± 0.59^c	0.72 ± 0.03^b	11.39 ± 1.67^{cd}	85.43 ± 1.21^{ab}
10	28.57 ± 0.34^b	0.67 ± 0.04^{ab}	10.56 ± 0.65^{bc}	86.33 ± 1.05^b
15	26.64 ± 0.82^a	0.63 ± 0.03^a	9.51 ± 0.34^b	88.53 ± 0.67^b
20	25.56 ± 0.48^a	0.61 ± 0.03^a	8.33 ± 0.24^a	90.78 ± 0.77^c

Values are expressed as mean \pm SD. Different letters (a, b, c, d) show significant differences within the same column ($P < 0.05$).

Данные представлены как среднее значение \pm стандартное отклонение. Буквами a, b, c, d обозначены значительные различия в пределах одного и того же столбца ($P < 0,05$).

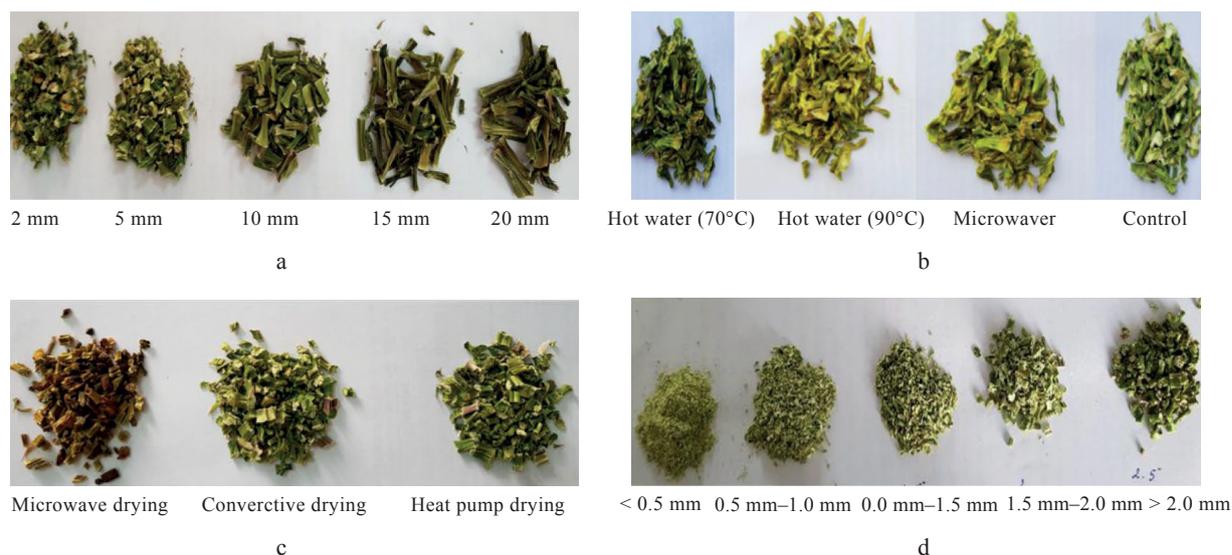


Figure 1. Visual appearance of asparagus samples: a) different lengths; b) blanching methods; c) drying methods; d) asparagus tea at different particle sizes

Рисунок 1. Внешний вид образцов спаржи: а) нарезки длины; б) методы бланширования; в) методы сушки; г) напиток из спаржи при разной величине помола

Effect of blanching methods on the quality of asparagus herbal drink. Heat pretreatment of the asparagus samples aims to inactivate the browning enzymes such as polyphenol oxidase and peroxidase, as well as to inhibit microbial growth on the material surfaces. It can also shorten the drying time as it softens the structure of the material, leading to a higher water evaporation rate [21]. According to our results, all the methods of heat pretreatment showed an increment in total soluble solids and total polyphenol content but a decline in vitamin C and total carbohydrates, compared to the control sample (without blanching). As previously discussed, high temperature might degrade vitamin C molecules. The decrease in total carbohydrates could be ascribed to the leakage to the blanching water, which was previously mentioned by Xanthakis *et al.* [20]. High Temperature Short Time (HTST). Heat treatment can increase the content of solutes and polyphenols by causing structural changes in plant cells. In particular, it can disrupt cell membranes and weaken hemicellulose and cellulose bonds, thus enhancing the extraction efficacy [22]. In our study, the microwave treatment showed the best extraction efficiency in the total soluble solids ($32.67 \pm 0.43\%$) and total polyphenol content (0.80 ± 0.05 mg GAE/g DM) of asparagus, while having a lesser effect on the vitamin C content and total carbohydrates in the extract. It was noted that the microwave treatment promoted a thermal gradient between the extracting medium and plant cells, facilitating the liberation of phenolic compounds [23]. A similar finding was reported in

the study by Severini *et al.*, where the microwave blanching showed an increase in phenolic compounds and impaired the degradation of vitamin C in the sample, compared to hot water blanching and steam blanching [24].

As seen in Fig. 1b, the blanching processes caused noticeable impacts on the color of the dried asparagus samples. Hot water blanching at 70°C caused a browning effect, while blanching at 90°C and microwave heating gave the dried asparagus a yellow-greenish color. This could be explained by the fact that blanching at 90°C and microwave heating showed better efficiency in inactivating polyphenol oxidase compared to blanching at 70°C [13, 20]. High Temperature Short Time. Thus, microwave blanching could be a suitable option to develop a yellow-greenish color for asparagus tea, as well as to achieve higher total soluble solids, total polyphenol content, and vitamin C contents in the extract.

Effect of drying conditions on the quality of asparagus herbal drink. The effects of different drying conditions on the extraction yield of the asparagus herbal drink are presented in Table 3. Microwave drying had the shortest drying time of 29 min. However, it considerably reduced the contents of vitamin C, carbohydrates, and total soluble solids in the asparagus drink. Meanwhile, convective drying and heat pump drying resulted in higher total soluble solids and vitamin C content in the extract. The rapid degradation of vitamin C by microwave heating was due to excessive heat generated in the internal molecular structures of asparagus. As shown in Fig. 1c,

Table 2. Effect of blanching methods on total soluble solids, polyphenol, carbohydrates, and vitamin C in the asparagus extract

Таблица 2. Зависимость общего содержания растворимых сухих веществ, полифенолов, углеводов и витамина С в экстракте спаржи от методов бланширования

Blanching method	Total soluble solids, %	Total polyphenol content, mg GAE/g DM	Total carbohydrate, %	Vitamin C, mg/100 g
Control sample (without blanching)	27.56 ± 0.32 ^a	0.60 ± 0.03 ^a	12.78 ± 0.54 ^b	72.10 ± 1.51 ^c
Hot water (70°C)	28.31 ± 0.21 ^b	0.68 ± 0.02 ^b	10.40 ± 0.43 ^a	63.52 ± 2.43 ^a
Hot water (90°C)	30.63 ± 0.18 ^c	0.74 ± 0.01 ^c	9.92 ± 0.67 ^a	65.29 ± 2.67 ^a
Microwave	32.67 ± 0.43 ^d	0.80 ± 0.02 ^d	11.56 ± 0.81 ^{ab}	68.61 ± 1.43 ^{ab}

Values are expressed as mean ± SD. Different superscripts (a, b, c, d) indicate significant differences within the same column ($P < 0.05$). Данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение. Буквами a, b, c, d обозначены значительные различия в пределах одного и того же столбца ($P < 0,05$).

Table 3. Effect of drying methods on total soluble solids, polyphenol, carbohydrates, and vitamin C in the asparagus extract

Таблица 3. Зависимость общего содержания растворимых сухих веществ, полифенолов, углеводов и витамина С в экстракте спаржи от методов сушки

Drying method	Total soluble solids, %	Total polyphenol content, mg GAE/g DM	Total carbohydrate, %	Vitamin C, mg/100 g	Drying time
Microwave	26.93 ± 1.44 ^a	0.75 ± 0.04 ^b	11.53 ± 0.54 ^a	52.69 ± 2.54 ^a	29 min
Convection	30.46 ± 1.20 ^b	0.61 ± 0.02 ^a	13.58 ± 0.32 ^b	68.36 ± 2.45 ^b	17 h
Heat pump	29.62 ± 2.12 ^b	0.59 ± 0.03 ^a	12.47 ± 0.67 ^b	70.33 ± 3.12 ^b	22 h

Data are expressed as mean ± SD. Different superscripts (a, b, c, d) indicate significant differences within the same column ($P < 0.05$). Данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение. Буквами a, b, c, d обозначены значительные различия в пределах одного и того же столбца ($P < 0,05$).

Table 4. Dried asparagus in the teabag and sensorial properties of asparagus infusion at different particle sizes

Таблица 4. Высушенная спаржа в пакетиках и органолептические свойства настоя спаржи при разной величине помола

Particle size, mm	Appearance of dried asparagus in the teabag	Color	Flavor	Taste	Sensory score
< 0.05	Fine powder	Light yellowish color, presence of many fine particles	Very light characteristic flavor of asparagus	Very light sweet	7.40 ± 0.32
0.5–1.0	Homogenous form	Presence of particles, light yellowish color	Light characteristic flavor of asparagus	Light sweet	9.00 ± 0.23
1.0–1.5	Homogenous form	Yellowish color	Intense characteristic flavor of asparagus	Relative sweet	15.40 ± 0.24
1.5–2.0	Homogenous form	Yellowish color	Intense characteristic flavor of asparagus	Relative sweet	16.00 ± 0.35
> 2.0	Inhomogeneous form	Light yellowish color	Very light characteristic flavor of asparagus	Very light sweet	9.60 ± 0.32

convective drying and heat pump drying gave dried asparagus a yellow-greenish color, whereas microwave drying induced a brown-yellowish color, reducing the sensorial attributes of the asparagus herbal drink. The lower total polyphenol content caused by convective drying and heat pump drying, as compared to the microwave-dried asparagus, could be attributed to the degradation of phenolic compounds when exposed to

an extended drying time (17–22 h). The decrease in the total polyphenol content could also be due to the enzymatic processes that occurred during drying [25]. Although the heat generated by microwave drying was considerably higher than that in the other drying methods, the microwave drying time was not sufficient to cause a significant impact on phenolic compounds. As for sensorial properties, the asparagus samples

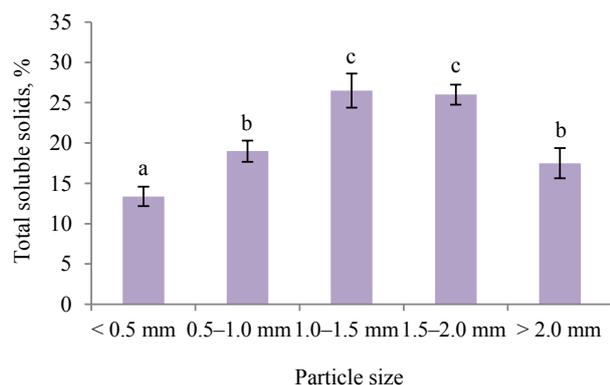


Figure 2. Effect of asparagus particle sizes on total soluble solids in the tea extract

Рисунок 2. Влияние величины помола на общее содержание растворимых сухих веществ в экстракте спаржи

acquired a yellow-greenish color from convective drying and heat pump drying and a dark brown color from microwave drying, which significantly affected their appearance. Both convective drying and heat pump drying produced the drinks with the same values of total soluble solids, total polyphenol content, total carbohydrate, and vitamin C. However, convective drying required a shorter time (17 h) to achieve the desired moisture content (12%) in the asparagus tea. Therefore, this method proved the most suitable for developing the asparagus herbal drink.

Effect of asparagus particle sizes on total soluble solids in the asparagus infusion. After drying, the asparagus samples were ground to different particle sizes and packaged into teabags. The effect of particle sizes on total soluble solids in the tea extract is illustrated in Fig. 2. We found that the grinding size from 1 to 2 mm produced the highest total soluble solids (> 26%), while very fine powder (< 0.5 mm) produced the lowest total soluble solids (13.37%) in the asparagus infusion. This agreed with many previous studies where the small particle size facilitated the extraction of solute in the solvent medium. However, very fine particles tended to agglomerate and deposit at the bottom of the teabag, preventing the diffusion of solute to the extracting medium sieving and selecting the optimal granulometry (0.15–0.74 mm) [16]. Table 4 shows a sensorial description of asparagus tea, while Fig. 1d features the appearance of dried asparagus at different particle sizes. According to the

sensory evaluation, dried asparagus with 1.5–2.0 mm particles produced an asparagus infusion with the highest score (16) for color, intense taste, and characteristic flavor. Therefore, this size proved the most suitable for developing the asparagus herbal drink since it produced the highest soluble solids and good sensorial properties.

Conclusion

In this study, we developed an innovative asparagus herbal drink. The asparagus length of 5 mm was found to facilitate subsequent steps. Microwave blanching caused the dried asparagus to acquire a yellow-greenish color. Unlike hot water blanching, this method produced higher values of total soluble solids, total polyphenol, and total carbohydrate, while having a lesser effect on the content of vitamin C. Of all drying methods, convective drying proved suitable for higher total soluble solids and total carbohydrate, as well as better visual appearance of asparagus tea. Finally, the grinding size of asparagus was selected at 1.5–2.0 mm to obtain the highest total soluble solids in the asparagus infusion and the highest sensory score. The asparagus herbal drink had a yellowish color, an intense characteristic flavor of asparagus, and a relatively sweet taste. In addition, we selected the process parameters for the asparagus teabag to maintain a high content of total polyphenol and vitamin C in the asparagus herbal drink to enhance its nutritional value. Further investigations can be carried out to produce an asparagus herbal drink with a higher polyphenol content in the infusion. Besides, a pilot-scale study should be conducted to enhance the feasibility of the asparagus herbal drink as a commercial product.

Contribution

The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Критерии авторства

Авторы были в равной степени вовлечены в написание рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

References

1. Chitrakar B, Zhang M, Adhikari B. Asparagus (*Asparagus officinalis*): Processing effect on nutritional and phytochemical composition of spear and hard-stem byproducts. *Trends in Food Science and Technology*. 2019;93:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.020>

2. Alventosa JMF, Rojas JMM. Bioactive compounds in asparagus and impact of storage and processing. In: Preedy V, editor. Processing and impact on active components in food. Academic Press; 2015. pp. 103–110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00013-5>
3. Dong T, Han R, Yu J, Zhu M, Zhang Y, Gong Y, *et al.* Anthocyanins accumulation and molecular analysis of correlated genes by metabolome and transcriptome in green and purple asparaguses (*Asparagus officinalis*, L.). Food Chemistry. 2019;271:18–28. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.120>
4. Guo Q, Wang N, Liu H, Li Z, Lu L, Wang C. The bioactive compounds and biological functions of *Asparagus officinalis* L. – A review. Journal of Functional Foods. 2020;65. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103727>
5. Palfi M, Jurković Z, Čosić J, Tomić-Obrdaj H, Jurković V, Knežević N, *et al.* Total polyphenol content and antioxidant activity of wild and cultivated asparagus in Croatia. Poljoprivreda. 2017;23(1):56–62. <https://doi.org/10.18047/poljo.23.1.9>
6. Adouni K, Zouaoui O, Chahdoura H, Thouri A, Lamine JB, Santos-Buelga C, *et al.* *In vitro* antioxidant activity, α -glucosidase inhibitory potential and *in vivo* protective effect of *Asparagus stipularis* Forssk aqueous extract against high-fructose diet-induced metabolic syndrome in rats. Journal of Functional Foods. 2018;47:521–330. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.06.006>
7. Wang N, Zhang X, Wang S, Guo Q, Li Z, Liu H, *et al.* Structural characterisation and immunomodulatory activity of polysaccharides from white asparagus skin. Carbohydrate Polymers. 2020;227. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115314>
8. Wang S, Zhu F. Antidiabetic dietary materials and animal models. Food Research International. 2016;85:315–331. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.028>
9. Toscano S, Rizzo V, Licciardello F, Romano D, Muratore G. Packaging solutions to extend the shelf life of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) “Vegalim”. Foods. 2021;10(2). <https://doi.org/10.3390/foods10020478>
10. Siccama JW, Pegiou E, Eijkelboom NM, Zhang L, Mumm R, Hall RD, *et al.* The effect of partial replacement of maltodextrin with vegetable fibres in spray-dried white asparagus powder on its physical and aroma properties. Food Chemistry. 2021;356. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129567>
11. Solhi P, Azadmard-Damirchi S, Hesari J, Hamishehkar H. Effect of fortification with asparagus powder on the qualitative properties of processed cheese. International Journal of Dairy Technology. 2020;73(1):226–233. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12635>
12. Mazaheri Kalahrodi M, Baghaei H, Emadzadeh B, Bolandi M. The combined effect of asparagus juice and balsamic vinegar on the tenderness, physicochemical and structural attributes of beefsteak. Journal of Food Science and Technology. 2021;58(8):3143–3153. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04817-4>
13. Nguyen TVL, Tran TYN, Lam DT, Bach LG, Nguyen DC. Effects of microwave blanching conditions on the quality of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) butt segment. Food Science and Nutrition. 2019;7(11):3513–3519. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1199>
14. Klimczak I, Gliszczynska-Świgło A. Comparison of UPLC and HPLC methods for determination of vitamin C. Food Chemistry. 2015;175:100–105. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.11.104>
15. Zhang X, Yan X, Hu W, Dhanasekaran S, Legrand Ngolong Ngea G, Godana EA, *et al.* Effects of *Fusarium Proliferatum* infection on the quality and respiratory metabolism of postharvest asparagus. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science. 2022;50(2–3):143–161. <https://doi.org/10.1080/01140671.2021.1943462>
16. Bindes MMM, Cardoso VL, Reis MHM, Boffito DC. Maximisation of the polyphenols extraction yield from green tea leaves and sequential clarification. Journal of Food Engineering. 2019;241:97–104. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.08.006>
17. Hu C-J, Gao Y, Liu Y, Zheng X-Q, Ye J-H, Liang Y-R, *et al.* Studies on the mechanism of efficient extraction of tea components by aqueous ethanol. Food Chemistry. 2016;194:312–318. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.029>
18. Ochanda SO, Faraj AK, Wanyoko JK, Onyango CA, Ruto HK. Extraction and quantification of total polyphenol content in different parts of selected tea cultivars. American Journal of Plant Sciences. 2015;6(9):1581–1586. <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.69158>
19. Yan B, Davachi SM, Ravanfar R, Dadmohammadi Y, Deisenroth TW, Pho TV, *et al.* Improvement of vitamin C stability in vitamin gummies by encapsulation in casein gel. Food Hydrocolloids. 2021;113. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106414>
20. Xanthakis E, Gogou E, Taoukis P, Ahrné L. Effect of microwave assisted blanching on the ascorbic acid oxidase inactivation and vitamin C degradation in frozen mangoes. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2018;48:248–257. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.012>

21. Deng L-Z, Mujumdar AS, Yang X-H, Wang J, Zhang Q, Zheng Z-A, et al. High humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying rate and softens texture of apricot via cell wall pectin polysaccharides degradation and ultrastructure modification. *Food Chemistry*. 2018;261:292–300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.062>
22. Khan MK, Paniwnyk L, Hassan S. Polyphenols as natural antioxidants: Sources, extraction and applications in food, cosmetics and drugs. In: Li Y, Chemat F, editors. *Plant based “Green chemistry 2.0”*. Singapore: Springer; 2019. pp. 197–235. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3810-6_8
23. Drevelegka I, Goula AM. Recovery of grape pomace phenolic compounds through optimized extraction and adsorption processes. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*. 2020;149. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107845>
24. Severini C, Giuliani R, De Filippis A, Derossi A, De Pilli T. Influence of different blanching methods on colour, ascorbic acid and phenolics content of broccoli. *Journal of Food Science and Technology*. 2016;53(1):501–510. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1878-0>
25. Bamba BSB, Komenan ACA, Kouassi KKP, Soro D. Effects of onion bulb processing conditions on drying characteristics, physicochemical and functional properties profile of onion (*Allium cepa* L.) powder. *Journal of Food Science*. 2020;85(10):3345–3354. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15415>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2394>
<https://elibrary.ru/OACVSR>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Показатели качества гороховых и нутовых белковых концентратов



В. В. Колпакова^{1,*}, Р. В. Уланова^{1,2}, Д. С. Куликов¹,
В. А. Гулакова¹, Г. В. Семёнов³, А. В. Шевякова⁴

¹ ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха», Красково, Россия

² Институт микробиологии им. С. Н. Виноградского ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

³ Российский биотехнологический университет, Москва, Россия

⁴ Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 07.04.2022

Принята после рецензирования: 18.05.2022

Принята к публикации: 07.06.2022

*В. В. Колпакова: val-kolpakova@rambler.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7288-8569>

Р. В. Уланова: <https://orcid.org/0000-0002-6315-7211>

Д. С. Куликов: <https://orcid.org/0000-0003-2171-0522>

В. А. Гулакова: <https://orcid.org/0000-0001-8393-9256>

Г. В. Семёнов: <https://orcid.org/0000-0003-2320-9985>

А. В. Шевякова: <https://orcid.org/0000-0002-7447-8520>

© В. В. Колпакова, Р. В. Уланова, Д. С. Куликов,
В. А. Гулакова, Г. В. Семёнов, А. В. Шевякова, 2022



Аннотация.

Дефицит белка в питании человека и животных диктует разработку новых видов белковых препаратов, к которым относятся концентраты из зернобобовых культур. Цель работы – сравнительная характеристика показателей качества пищевых и кормовых белковых концентратов, полученных биотехнологическим и биосинтетическим способами из гороховой и нутовой муки.

Объектами исследования являлись гороховые и нутовые белковые концентраты, ферментные препараты Shearzym 500 L, Viscoferm L, Fungamyl 800 L и Alcalase 2.4 L (Дания), дрожжи *Saccharomyces* и микромицет *Geotrichum*. Белковые концентраты получали из гороховой и нутовой муки по технологии, предложенной авторами. Свойства белковых концентратов изучали с помощью химических, физико-химических, биохимических и микробиологических методов исследования.

В ходе работы получили белковые концентраты пищевого назначения и кормовые микробно-растительные концентраты. Содержание белка в нутовом белковом концентрате составило $83,22 \pm 0,35$ % на сухое вещество, в гороховом – $71,78 \pm 0,35$ % на сухое вещество. Показатель биологической ценности, с поправкой на усвояемость белков, у горохового белкового концентрата составил 96 %, у нутового – 76 %. Полученные белковые концентраты отличались по содержанию незаменимых аминокислот, меди, кобальта, марганца и никеля и количеству фенолокарбоновых кислот и их производных. Более высокая пенообразующая способность и меньшая стабильность пены у нутового концентрата соотносились с большим содержанием фенолокарбоновых кислот и их производных и количеством параллельной β -структуры и антипараллельных 3_{10} -спиралей белков. Разницы в усвоении углеводов сыворотки консорциумом дрожжей *Saccharomyces* и микромицета *Geotrichum* как из горохового, так и из нутового микробно-растительного концентрата не обнаружено. Оба вида сухой кормовой биомассы содержали 61,68–64,10 % белка на сухое вещество, биомассы с культуральной жидкостью – 47,15–51,09 % белка на сухое вещество. Биологически полноценные кормовые концентраты отличались по массовой доле жира и растворимых и нерастворимых волокон, а также по минеральным веществам и соотношению жирных кислот. Обнаружена корреляционная взаимосвязь между количеством фенолокарбоновых кислот и их производных (в мг/г белка) в сырье, концентратах, оптической плотностью водных растворов при D_{590} нм и цветом препаратов ($R = 0,895$).

Полученные и исследованные гороховые и нутовые белковые концентраты из муки могут быть рекомендованы для применения в пищевых целях, микробно-растительные концентраты из гороховой и нутовой сыворотки – в кормах для животных с целью улучшения качества сырья животного происхождения.

Ключевые слова. Экстракция, бобовые, белок, аминокислотный состав, жирнокислотный состав, макроэлементы, микроэлементы, функциональные свойства, пищевая ценность, безопасность

Для цитирования: Показатели качества гороховых и нутовых белковых концентратов / В. В. Колпакова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 649–664. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2394>

Pea and Chickpea Protein Concentrates: Quality Indicators



Valentina V. Kolpakova^{1,*}, **Rusalia V. Ulanova²**,
Denis S. Kulikov¹, **Valentina A. Gulakova¹**,
Gennadiy V. Semenov³, **Ludmila V. Shevjakova⁴**

¹ Russian Potato Research Centre, Kraskovo, Russia

² S.N. Vinogradsky Institute of Microbiology of the Federal Research Center “Fundamental of Biotechnology” of the Russian Academy of Sciences^{ROR}, Moscow, Russia

³ Russian Biotechnological University^{ROR}, Moscow, Russia

⁴ Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety^{ROR}, Moscow, Russia

Поступила в редакцию: 07.04.2022
Принята после рецензирования: 18.05.2022
Принята к публикации: 07.06.2022

*Valentina V. Kolpakova: val-kolpakova@rambler.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7288-8569>
Rusalia V. Ulanova: <https://orcid.org/0000-0002-6315-7211>
Denis S. Kulikov: <https://orcid.org/0000-0003-2171-0522>
Valentina A. Gulakova: <https://orcid.org/0000-0001-8393-9256>
Gennadiy V. Semenov: <https://orcid.org/0000-0003-2320-9985>
Ludmila V. Shevjakova: <https://orcid.org/0000-0002-7447-8520>

© V.V. Kolpakova, R.V. Ulanova, D.S. Kulikov,
V.A. Gulakova, G.V. Semenov, L.V. Shevjakova, 2022



Abstract.

Protein deficiency in human and animal diet demands novel protein components, e.g., various leguminous concentrates. This article compares the quality indicators of food and feed protein concentrates obtained by biotechnological and biosynthetic methods from pea and chickpea flour.

The research featured pea and chickpea protein concentrates; enzyme preparations Shearzym 500 L, Viscoferm L, Fungamyl 800 L, and Alcalase 2.4 L (Denmark); *Saccharomyces* and *Geotrichum micromyces* yeasts. The protein concentrates were obtained from pea and chickpea flour using a new technology developed by the authors. The properties of the protein concentrates were studied by chemical, physicochemical, biochemical, and microbiological research methods.

The research resulted in new protein concentrates for human diet and microbial-vegetable feed concentrates. The protein content was $83.22 \pm 0.35\%$ on dry basis in the chickpea protein concentrate and $71.78 \pm 0.35\%$ on dry basis in the pea concentrate. The indicator of biological value, adjusted for protein digestibility, was 96% for the pea protein concentrate and 76% for the chickpea protein concentrate. The resulting protein concentrates differed in the content of essential amino acids, copper, cobalt, manganese, and nickel, as well as in phenolic acids and their derivatives. The chickpea concentrate had a greater foaming capacity and lower foam stability, which correlated with a greater content of phenolic acids, their derivatives, parallel β -structures, and antiparallel protein 3_{10} -helices. Both the concentrates had the same results in assimilating whey carbohydrates by the consortium of *Saccharomyces* and *G. micromycete*. Both types of the dry feed biomass contained 61.68–64.10% protein on dry basis, while the biomasses with culture liquid contained 47.15–51.09% protein on dry basis. The biologically complete feed concentrates differed in the mass fraction of fat, soluble and insoluble fibers, minerals, and fatty acids. The amounts of phenolic acids and their derivatives (mg/g of protein) in the raw materials and the concentrates correlated with the optical density of their aqueous solutions at D_{590} nm and the color of the preparations ($R = 0.895$).

The new pea and chickpea flour protein concentrates can be recommended as human food components, while the microbial-vegetable concentrates from pea and chickpea serum can improve the quality of raw materials of animal origin in animal feed.

Keywords. Extraction, legumes, protein, amino acid composition, fatty acid composition, macroelements, microelements, functional properties, nutritional value, safety

For citation: Kolpakova VV, Ulanova RV, Kulikov DS, Gulakova VA, Semenov GV, Shevjakova LV. Pea and Chickpea Protein Concentrates: Quality Indicators. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):649–664. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2394>

Введение

В России и за рубежом возрос интерес к использованию в пищевых продуктах зернобобовых культур из-за высокой питательной ценности белка и относительно низкой стоимости [1]. Белковые концентраты и изоляты используются в производстве хлебоулучшителей и макаронных изделий, имитационных молочных продуктов, творога, йогуртов, мясных аналогов, продуктов детского и спортивного питания и т. д. Поэтому разработка новых технологий концентрированных форм растительного белка с высокой питательной ценностью и хорошими функциональными свойствами является актуальной задачей [2].

Обычно белки из растительного сырья экстрагируют растворами щелочи, в присутствии которой возможно образование новых поперечных ковалентных связей, D-изомеров аминокислот и т. д., оказывающих негативное влияние на здоровье человека и животных. Безопасные технологии с использованием ферментных препаратов для получения биологически ценных гороховых и нутовых белков с надлежащими функциональными свойствами малоизвестны.

При производстве белковых продуктов, независимо от особенностей технологии и вида сырья, образуются вторичные продукты переработки – сывороточные воды. Наряду с ростом мирового спроса на белоксодержащие продукты питания и кормления из растительного сырья увеличиваются объемы жидких отходов, загрязняющих окружающую среду и нагружающих биосферу в целом [3]. Так как одно из направлений научно-технического развития мирового сообщества на предстоящие годы – рациональное природопользование, то важной проблемой является разработка экологически безопасных технологий утилизации отходов и повышение уровня экологической культуры при глубокой переработке растительного сырья.

Отходы перспективно использовать в качестве субстрата для синтеза биомассы микроорганизмов [2, 4–6]. Биомасса может использоваться как часть рациона сельскохозяйственных животных для повышения их продуктивности и как ингредиент в продуктах питания в качестве белковых, липидных, углеводных и других компонентов, а также в технических целях [7–9].

Препарат, полученный в процессе ферментации стеблей кукурузы сахаромикетами или консорциумом сахаромикетов *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus casei*, положительно влиял на организм животных и окружающую среду [10–12]. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, вводимые в корма кур-бройлеров в количестве 0,8 % к массе рациона, повышали эффективность их использования [13]. Изучение микробиоты фекальных образцов на 21 и 42 дни с помощью полимеразной реакции выявило

положительное влияние добавки с дрожжами *S. cerevisiae* на микрофлору кур-бройлеров и жвачных животных и повышение усвояемости волокон и популяции целлюлолитических бактерий *Ruminococcus flavefaciens* рубца [14]. Добавление в рацион крупного рогатого скота биомассы *S. cerevisiae* и/или *Aspergillus oryzae* повышало надой и жирность молока [15–17]. Известны кормовые добавки из спиртовой барды с пшеничными отрубями, полученные выращиванием дрожжей *Saccharomyces diastaticus* и каротинообразующих дрожжей *Rhodospiridium species*, для повышения содержания в них незаменимых аминокислот [18]. С дрожжами *Rhodotorula glutinis*, *Rhodotorula mucilaginosa* и *Rhodotorula gracilis* на среде из картофельных сточных вод с отходами от производства глицерина синтезирована кормовая добавка с каротиноидами и липидами [19]. На заводе, перерабатывающем сахарный тростник, из винного отхода получена грибная биомасса *Aspergillus niger* с липидами для биодизельного топлива [20]. На экстракте, оставшемся от производства крахмала из зерна тритикале для кормления прудовых рыб, синтезирован микробно-растительный концентрат с дрожжами *S. cerevisiae* с массовой долей белка $25,2 \pm 2,1$ %, жира – $22,1 \pm 3,2$ %, углеводов – $40,8 \pm 1,6$ % [21]. В концентрате содержались калий, кальций, кобальт, железо, цинк, молибден, никель и другие минеральные элементы.

По данным ФАО, дефицит белка в мире оценивается в десятки миллионов тонн. Ежегодный дефицит одного пищевого белка к 2050-му г. может достигнуть 30 млн т. [3]. В качестве источника белка в рационе людей, включая тех, которые по тем или иным причинам не употребляют мясо, с древних времен используются бобовые культуры и продукты их переработки [22, 23]. В то же время процессам переработки вторичных продуктов зернобобовых культур, образующихся при получении белковых концентратов с помощью био конверсии, уделяется мало внимания. Например, при использовании вторичных продуктов от экстракции горохового белка получен пищевой веган-протеиновый концентрат для замены мяса. Исследования проводились с 5 штаммами нитчатых грибов: *Neurospora intermedia*, *A. oryzae*, *Rhizopus oryzae*, *Fusarium venenatum* и *Monascus purpureus*, которые выращивали при 35 ± 2 °C в течение 48 ч до содержания белка в биомассе 43,13–59,74 % на сухое вещество. На каждую 1 т побочного продукта можно получить около 680 кг грибной биомассы с 38 % дополнительного белка. С использованием культур *S. cerevisiae* и *Geotrichum candidum* доказана возможность синтеза кормовых концентратов с массовой долей белка 61,68–70,48 % из сыворотки, которая остается после осаждения горохового белка, экстрагируемого с ферментным препаратом [5].

Особый интерес промышленности возрос к нуту – зернобобовой культуре, использование которой позволяет создавать технологии белковых концентратов, изолятов и ряда других полезных продуктов [2]. Данная культура является перспективным дополнением к сое и гороху [1, 24–26]. За последние годы посевные площади нута увеличились, что свидетельствует о стабильности сырьевой базы нута и гороха в России, которая перспективна для производства белковых препаратов различного состава и назначения [2]. Актуальность проблемы обеспечения населения белком из данного вида культур диктует разработку различных технологий белковых препаратов. Поэтому создание способов утилизации жидких вторичных продуктов для перспективного внедрения в производство является востребованным.

Цель данной работы – сравнительная характеристика химических, физико-химических, биохимических и микробиологических показателей белковых концентратов, полученных безопасным биотехнологическим способом для пищевых целей, и кормовых концентратов, синтезированных с помощью микроорганизмов из сыворотки, остающейся после экстрагирования основной массы пищевого белка из гороховой и нутовой муки.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали гороховую муку из зерна сорта «Ямал», выращенного в Алтайском крае, и нутовую муку из зерна сорта «Волжанин», выращенного в Волгоградской области в 2020–2021 гг.

Химический состав гороховой муки, % на сухое вещество: массовая доля белка ($N \times 6,25$) – $24,30 \pm 1,40$, золы – $2,87 \pm 0,20$, жира – $1,58 \pm 0,12$, углеводов – $73,02 \pm 3,66$.

Химический состав нутовой муки, % на сухое вещество: массовая доля белка ($N \times 6,25$) – $24,54 \pm 0,23$, золы – $2,91 \pm 0,02$, жира – $4,89 \pm 0,31$, углеводов – $67,66 \pm 0,56$.

Количество общих азотистых веществ в муке и концентратах определяли по методу Кьельдаля – ГОСТ 10846-91, массовую долю влаги – ГОСТ 13586.5-93, золы – ГОСТ 10847-2019, жира – ГОСТ 29033-91, углеводов – по разнице между 100 % и суммой остальных компонентов.

Для выделения из муки белкового концентрата и вторичного продукта (сыворотки) использовали ферментные препараты компании «Novozymes» (Дания). Применяли Shearzym 500 L из *Aspergillus aculeatus* с ксиланазной активностью 500 ед/г и оптимальными условиями действия – 65–75 °С, рН 4,5–5,5. В качестве источника целлюлазной, карбоксиметилцеллюлазной и β -глюканизной активностей применяли Viscoferm L, продуцируемый штаммами *Trichoderma* и *Aspergillus*, с цитолити-

ческой активностью 600 ед/г сырья и оптимумом действия при температуре 50–60 °С и рН 4,8–5,8. В качестве источника α -амилазы использовали Fungamyl 800 L из плесени *Aspergillus oryzae*, расщепляющий α -1,4 гликозидные связи с образованием мальтодекстринов и мальтозы (50–60 °С и рН 5,0–6,5). Ферментный препарат, содержащий амилоглюкозидазу, AMG 300 L 2500 выделен из гриба *Aspergillus niger*. Он расщепляет как α -1,4, так и α -1,6 гликозидные связи в крахмале, декстринах и олигосахаридах с образованием глюкозы. Оптимум действия лежал в области 55–60 °С и рН 4,5–5,5. В качестве источника протеаз использовали ферментный препарат Alcalase 2.4 L из *Bacillus licheniformis* с активностью протеаз 2,4 ед/г. Ферментативную активность препаратов определяли по ГОСТ Р 54330-2011, ГОСТ Р 53974-2010 и ГОСТ Р 55302-2012. Все реактивы были химически чистые. УЗ-обработку белковой суспензии проводили на аппарате Soniprep 150 ME (MseLtd., Великобритания).

Для получения кормовых микробно-растительных концентратов (КМРК) из коллекции Института микробиологии им. С. Н. Виноградского (г. Москва) использовали дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* 121 и гриб *Geotrichum candidum* 977, филогенетическое положение которого определено в Научно-исследовательском институте генетики. Музейные культуры с сушла-агара пересевали в пробирку с гороховой или нутовой сывороткой, которую предварительно стерилизовали под давлением 0,1 МПа и охлаждали. Микроорганизмы выращивали 24 ч, после чего их пересевали в колбы объемом 300 см³ с 50 см³ сыворотки (рН 6,0–6,5). Культивирование осуществляли на качалке при скорости вращения колб 150 мин⁻¹ и температуре 27 ± 1 °С в течение 24–48 ч. Суспензию инактивировали при температуре 95 ± 5 °С в течение 10–15 мин и охлаждали до температуры 22 ± 2 °С. Биомассу отделяли центрифугированием при 4000 мин⁻¹ в течение 10 мин, высушивали отдельно или вместе с культуральной жидкостью на лиофильной установке Hochvacuum HVDTG-50 (Германия) в вакууме при –80 °С и получали препараты КМРК-2 или КМРК-1 соответственно.

Количество белка в растворах определяли по методу Лоури, растворимых и нерастворимых волокон в концентратах – по методике, изложенной в руководстве [27]. Метод основан на ферментативном гидролизе крахмальных и белковых соединений с амилазой, протеазой и амилоглюкозидазой до моно-, ди- и олигосахаридов и пептидов. Для гидролиза белков и углеводов использовали α -амилазу Фунгамил 800 L, протеазу Alcalase 2,4 L и амилоглюкозидазу AMG от компании «Novozymes» (Дания). Растворимые пищевые волокна осаждали 4 объемами 95 % (v/v) этанола в течение 2 ч при 4 °С и промывали 2 раза 95 % этанолом. Количество высушенной массы

определяли гравиметрическим методом, массовую долю волокон выражали в процентах (г/100 г). Перевариваемость кормовых концентратов определяли по ГОСТ 24230-80.

Углеводный состав сыворотки и культуральной жидкости исследовали на газовом хроматографе GCMS-QP 2010 (Shimadzu Corporation, Япония) с колонкой ReproGel Na (9 мкм, 8×300 мм). Аминокислотный состав белков определяли на хроматографе L-8800 фирмы «Hitachi» (Япония) с катионообменником (сульфированный сополимер стирола с дивинилбензолом) и ступенчатым градиентом натрий-цитратных буферных растворов с возрастающим значением pH и молярности. Данные обрабатывались в online системе «МультиХром 1.52» для Windows 98 (Россия). Для детекции элюируемых аминокислот использовали нингидриновый реагент. Калибровку прибора проводили со стандартными смесями аминокислот после соответствующего разведения. Воспроизводимость по времени выхода равнялась 0,3 %, по площади пиков – 1 %, нижняя граница чувствительности – 3 пмоль (отношение сигнал/шум = 2 для Asp). Для кислотного гидролиза 3–5 мг образца помещали в стеклянную ампулу из молибденового стекла и добавляли 0,3 см³ гидролизующей смеси (концентрированные соляная и трифторуксусная кислоты в соотношении 2:1 с 0,1 % β-меркаптоэтанола). Образец замораживали в жидком азоте, вакуумировали и заплавляли в стеклянной ампуле. Гидролиз проводили при 155 °С в течение 1 ч, после чего ампулу вскрывали, содержимое переносили в пластиковую пробирку («Eppendorf», Германия) и удаляли гидролизующую смесь на CentriVap Concentrator LABCONCO (США). К сухому остатку гидролизата добавляли 0,1N HCl, интенсивно перемешивали в закрытой пластиковой пробирке и центрифугировали 5 мин при 8000 мин⁻¹ на центрифуге Microfuge 22R (Beckman-Coulter, США). При расчете аминокислотного сора концентратов использовали шкалу эталонного белка ФАО/ВОЗ (2011). Липиды из кормовых микробно-растительных концентратов выделяли по методу Фолча [28]. После упаривания липидов в ротационном испарителе к ним добавляли хлороформ и солянокислый метанол (SupelcoMethanolic-HCl 0,5 N) и нагревали смесь 1 ч при 90 °С. Жирнокислотный состав липидов исследовали на хроматографе с масс-детектором Simadzu GCMS-QP2010 Ultra при температуре 120 °С, инжектора – 200 °С, интерфейса – 205 °С, детектора – 200 °С на колонке SLB-IL82 (30 м, 0,20 мкм, d = 0,25 мм) с гелевым носителем при скорости потока 35,6 см/с и его делении 1:10. Градиентный режим изменяли от 120 до 260 °С со скоростью 5 °С/мин в течение 2 мин.

Содержание макро- и микроэлементов определяли после сухого озоления методом атомной абсорбции на приборе фирмы «Hitachi» (модель Z 5300) в пламени

воздух – ацетилен с зеемановской коррекцией [28]. Функциональные свойства белковых концентратов исследовали по методикам, изложенным в работе [29], фенолокарбоновые кислоты и их производные – спектрофотометрическим методом при поглощении света при 276 нм [30].

Молекулярные массы белков муки, экстрактов, выделенных под действием ферментных препаратов, и сыворотки определяли с помощью гель-электрофореза в денатурирующих условиях (SDS-ПААГ). Белковые пробы в количестве около 50 мкг смешивали с буфером в соотношении 1:1. Для приготовления буфера в стакан наливали 60 см³ глицерина и 1 мг бромфенолового синего, доводили pH до 6,8 концентрированной HCl. В раствор добавляли 5 см³ β-меркаптоэтанола и его объем доводили до 100 см³. Пробы и растворы белков-маркеров в количестве 102 мкг/30 мкл нагревали 2 мин при 95–100 °С. Для приготовления 15 % разделяющего геля смешивали 4,5 см³ раствора АБ (навеску 29,6 г акриламида растворяли в небольшом количестве воды, добавляли 0,4 г бисакриламида, объем доводили до 100 см³), 2,5 см³ трис-HCl буфера с pH 8,8, 3 см³ воды, 20 мкл TEMED и 160 мкл персульфата аммония. Раствор встряхивали и заливали между стеклами. Для приготовления концентрирующего геля смешивали 1 см³ раствора АБ, 1 см³ трис-HCl буфера с pH 6,8, 3 см³ воды, 20 мкл TEMED и 160 мкл персульфата аммония. Раствор встряхивали и заливали в прибор с пластинами для электрофореза. Между стеклами помещали гребенку и формировали лунки для белковых проб. Электрофорез проводили при напряжении 50–60 В для вхождения образцов в гель и при 120 В для разделения компонентов. Готовые электрофореграммы окрашивали ярко-синим кумасси и сканировали.

Экспериментальные данные обрабатывали в программах TableCurve 2D 5.1, TableCurve 3D 4.0, Mathematica 10.3 и Statistica 10. Доверительный интервал среднего арифметического рассчитан по уровню значимости $P = 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Белковые концентраты пищевого назначения.

Экстракцию белков из гороховой и нутовой муки осуществляли с гидролитическими ферментными препаратами (целлюлазой, ксиланазой, амилазой и протеазой) на 3-х стадиях по схеме, приведенной на рисунке 1. Для определения оптимальных параметров экстрагирования белков составляли матрицу планирования эксперимента из 25 опытов зависимости растворимости (R) белка от концентрации ферментного препарата (sv), гидромодуля (соотношения мука:вода) (gl) и продолжительности экстракции (t). После решения задач белки в раствор переводили при оптимальных значениях параметров: для гороховой муки: $sv - 1,50 \%$, $t - 4,2$ ч, $gl - 15$;

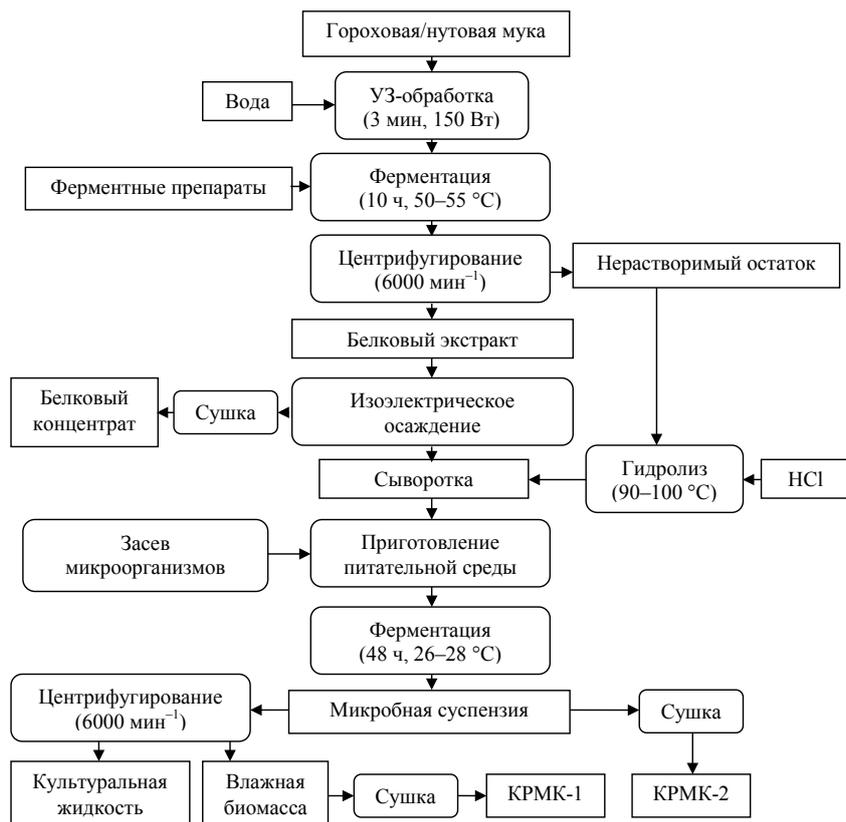


Рисунок 1. Технологическая схема переработки гороховой и нутовой муки на белковые концентраты

Figure 1. Processing pea and chickpea flour into protein concentrates: technological scheme

Таблица 1. Химический состав горохового и нутового белковых концентратов

Table 1. Pea and chickpea protein concentrates: chemical composition

Массовая доля влаги, %		Массовая доля, % на сухое вещество					Пищевые волокна		
		Белок (N×6,25)	Жир	Зола	Растворимые				
Гороховый									
3,86 ± 0,20		71,78 ± 0,35	4,47 ± 0,27	1,80 ± 0,27	9,67 ± 0,76		7,57 ± 0,26		
Нутовый									
9,76 ± 0,11		83,22 ± 0,35	2,23 ± 0,31	1,11 ± 0,38	8,01 ± 0,70		5,81 ± 0,48		
Аминокислотный скор, %									
Val	His	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Thr	Trp	Phe+Tyr	
Гороховый									
110	144	166	144	145	109	160	212	183	
Нутовый									
86	120	120	111	100	100	136	184	195	

для нутовой муки: $sv - 1,81\%$, $t - 5$ ч, $gl - 25$ при скорости перемешивания обеих суспензий 200 мин^{-1} .

Белки из раствора осаждали 10 %-ной HCl в изоэлектрической точке (pH 4,2) с последующим центрифугированием суспензии при 5000 мин^{-1} и отделением осадка от сыворотки. Осадок дважды промывали водой, высушивали лиофильным способом

и получали белковые концентраты с химическим составом, представленным в таблице 1. Выход белков с концентратами составлял 65–70 % от их содержания в сырье. Оба белковых концентрата имели значения аминокислотного скор 100 % и выше. Исключение составил скор валина у нутового белкового концентрата.

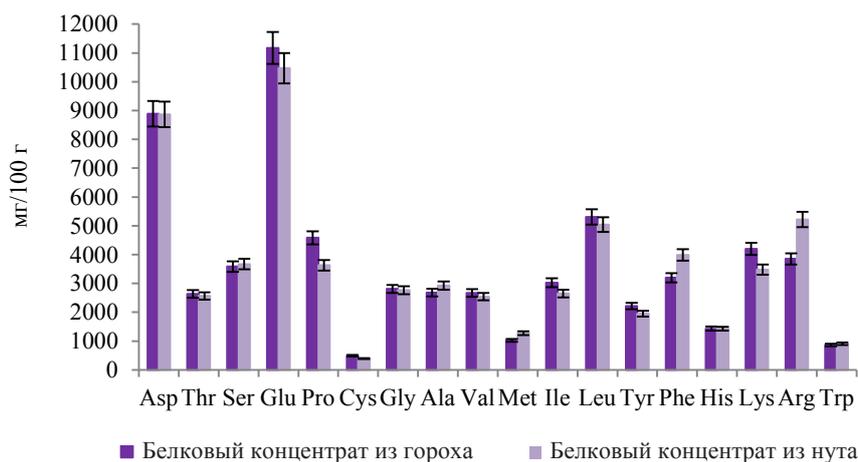


Рисунок 2. Аминокислотный состав горохового и нутового белковых концентратов

Figure 2. Pea and chickpea protein concentrates: amino acid composition

Таблица 2. Содержание макро- и микроэлементов в белковых концентратах

Table 2. Macro- and microelements in the protein concentrates

Элемент	Концентраты	
	Гороховый	Нутовый
Натрий, мг/100 г	103,00 ± 7,00	109,00 ± 7,00
Калий, мг/100 г	259,00 ± 14,00	263,00 ± 15,00
Кальций, мг/100 г	219,00 ± 14,00	207,00 ± 18,00
Магний, мг/100 г	10,30 ± 0,70	10,70 ± 0,60
Железо, мг/100 г	114,00 ± 8,00	53,90 ± 4,00
Цинк, мг/100 г	3,10 ± 0,25	2,20 ± 0,20
Медь, мг/100 г	0,36 ± 0,02	1,73 ± 0,05
Марганец, мг/100 г	0,51 ± 0,04	0,92 ± 0,07
Кобальт, мкг/100 г	92,00 ± 2,00	109,00 ± 3,00
Никель, мкг/100 г	190,00 ± 16,00	340,00 ± 25,00
Кадмий, мг/кг	0,086 ± 0,005	0,071 ± 0,003
Хром, мг/кг	≤ 0,005 ± 0,001	≤ 0,005 ± 0,002
Молибден, мг/кг	≤ 0,040 ± 0,001	≤ 0,040 ± 0,001

Сумма незаменимых аминокислот горохового белкового концентрата мало отличалась от суммы таких кислот в нутовом белковом концентрате и равнялась 256,21 и 247,9 мг/100 г соответственно (рис. 2). С поправкой на усвояемость белков (PDCAAS) (88 %) показатель биологической ценности у горохового белкового концентрата равен 96 %, у нутового – 76 %.

Состав макро- и микроэлементов белкового концентрата характеризовался показателями, приведенными в таблице 2. В нутовом белковом концентрате массовая доля железа была в 2,1 раза ниже, чем в гороховом, цинка – в 1,4 раза ниже, меди, кобальта, марганца и никеля – в 4,8, 1,2 и 1,8 раза больше соответственно.

Значения функциональных свойств (табл. 3) находились на уровне значений функциональных

свойств зерновых белковых концентратов, полученных из пшеницы, ячменя, ржи и риса [29, 31, 32]. Гороховый концентрат, имеющий коричневый цвет и содержащий в 5,5 раз больше фенолокарбоновых кислот и их производных, по сравнению с белковым концентратом светло-желтого цвета, имел в 2 раза большую пенообразующую способность, в 3 раза меньшую стабильность пены и в 1,4 раза меньшую способность связывать воду. Жироэмульгирующая и жиросвязывающая способности, стабильность эмульсии и растворимость белков практически были одинаковые у всех белковых концентратов. Нутовый белковый концентрат, как и гороховый белковый концентрат коричневого цвета, по сравнению с гороховым светло-желтого цвета, имел в 2,0–2,2 раза больше пенообразующую способность и в 2,6–3,2 раза меньшую стабильность пены. Можно сделать вывод о том, что эти различия были связаны с присутствием в белковом концентрате фенолокарбоновых кислот и их производных.

В таблице 4 представлены данные по элементам вторичной структуры белков светлого порошка горохового и нутового белковых концентратов, полученных на основе спектров кругового дихроизма. Измерения проводились в растворе 0,05 М уксусной кислоты при 20 °С и концентрации белков от 0,10 до 0,16 мг/см³.

Белки нутового белкового концентрата отличались от белков горохового в 7 раз меньшим количеством регулярной и нерегулярной α-спирали и в 2 раза меньшим количеством параллельной β-структуры. Однако в нутовом белковом концентрате присутствовало в 1,26–6,0 раз больше белков с антипараллельной 3₁₀-спиралью: левозакрученной, правозакрученной и релаксированной. Скрученные β-изгибы и другие виды вторичной структуры присутствовали в одинаковых количествах. Следовательно, повышенная пенообразующая

Таблица 3. Функциональные свойства и количество фенолокарбоновых кислот и их производных в белковом концентрате

Table 3. Functional properties and phenolic profile of the protein concentrates

Показатель	Образец белкового концентрата		
	Гороховый светло-желтого цвета	Гороховый коричневого цвета	Нутовый кремового цвета
Водосвязывающая способность, г/г	2,79 ± 0,04	2,44 ± 0,03	2,82 ± 0,05
Пенообразующая способность, %	42 ± 1	91 ± 1	85 ± 0
Стабильность пены, %	32 ± 1	10 ± 1	12 ± 0
Жирсвязывающая способность, г/г	2,24 ± 0,01	2,25 ± 0,03	2,26 ± 0,03
Жироэмульгирующая способность, %	52 ± 2	56 ± 3	55 ± 1
Стабильность эмульсии, %	47 ± 9	51 ± 3	52 ± 1
Растворимость в воде, %	11,60 ± 0,25	13,10 ± 0,15	12,20 ± 0,50
Фенолокарбоновые кислоты и их производные, мг/г белка	2,78 ± 0,24	15,05 ± 0,71	14,06 ± 0,41

Таблица 4. Элементы вторичной структуры белков горохового и нутового белковых концентратов, % от суммы структур

Table 4. Secondary structure of proteins in the pea and chickpea protein concentrates, % of total structures

Гороховый белковый концентрат светло-желтого цвета		Нутовый белковый концентрат кремового цвета	
α -спираль – 7,2 ± 0,3	Регулярная – 3,0 ± 0,1	α -спираль – 0,100 ± 0,005	Регулярная – 0,1 ± 0,0
	Нерегулярная – 4,2 ± 0,2		Нерегулярная – 0
Антипараллельная 3_{10} -спираль – 26,9 ± 0,5	Левозакрученная – 0,8 ± 0,1	Антипараллельная 3_{10} -спираль – 39,2	Левозакрученная – 4,7 ± 0,1
	Релаксированная – 12,6 ± 0,4		Релаксированная – 17,6 ± 0,4
	Правозакрученная – 13,4 ± 0,5		Правозакрученная – 16,9 ± 0,5
Параллельная β -структура – 7,1 ± 0,3		Параллельная β -структура – 3,0 ± 0,2	
Свернутые β -изгибы – 14,5 ± 0,6		Свернутые β -изгибы – 14,8 ± 0,7	
Другие – 44,3 ± 0,7		Другие – 42,9 ± 0,6	

способность, но низкая величина ее стабильности, в белковом концентрате были обусловлены параллельной β -структурой, всеми видами белков антипараллельной 3_{10} -спирали и присутствием фенолокарбоновых кислот и их производных.

Кормовые микробно-растительные концентраты из гороховой и нутовой сыворотки. На сыворотке, остающейся после осаждения концентрированных гороховых и нутовых белков из экстрактов, выделенных с помощью гидролитических ферментных препаратов, синтезированы кормовые белковые концентраты с консорциумом дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 121 и микромицета *Geotrichum candidum* 977, взятых при весовом соотношении 1:1. Составлены планы проведения эксперимента в виде латинских квадратов, при которых функцией являлась массовая доля биомассы (г/дм³), факторами – pH субстрата, температура и количество посевного материала при росте микроорганизмов в течение 4 суток. Через листинг решения определили коэффициенты и оптимальные значения влияющих факторов на максимальный выход массовой доли биомассы md , г/дм³. Уравнения зависимости выхода

биомассы (md) от влияющих факторов для нутовой (1) и гороховой (2) сыворотки имели вид:

$$md = 3,798 (0,44 + 0,00585cm^2) e^{-332624e-t} (0,3402 + +5,5403 / pH^2) \quad (1)$$

$$md = -2,94 + 0,544 pH - 0,0356 pH^2 + 0,181 t - 0,003 t^2 - 0,147 cm + 0,0276 cm^2 - 0,00447 pH t \quad (2)$$

где md – массовая доля биомассы; cm – количество посевного материала; t – температура; pH – pH среды.

Коэффициенты корреляции для уравнений (1) и (2) были значимы ($P \leq 0,05$) и равнялись $R = 0,9644$ и $R = 0,9869$ соответственно, что указывает на адекватное описание ими экспериментальных данных. Из уравнений вытекали оптимальные значения факторов, обеспечивающих максимальный выход биомассы $md = 0,82$ г/дм³ для гороховой сыворотки: pH (pH) – 6,03, температура (t) – 25,7 °С, количество посевного материала (cm) – 2–3 %; $md = 0,88$ г/дм³ для нутовой сыворотки: pH (pH) – 5,0, температура (t) – 16,96 °С, количество посевного материала (cm) – 4,0 %.

Таблица 5. Углеводный состав сыворотки и культуральной жидкости в процессе роста биомассы

Table 5. Carbohydrate composition of serum and culture liquid during biomass growth

Рост микроорганизмов, сутки	Углеводный состав сыворотки и культуральной жидкости, % от общего количества						
	Высокомолекулярные соединения	Раффиноза, стахиоза	Сахароза	Мальтоза	Глюкоза	Ксилоза, галактоза	Арабиноза, фруктоза
	Сыворотка						
	29,75 ± 0,43	17,65 ± 1,20	0	4,75 ± 2,30	2,29 ± 1,20	39,07 ± 1,60	6,49 ± 0,20
	Культуральная жидкость в процессе роста микроорганизмов						
1	57,56 ± 0,10	26,00 ± 0,81	4,73 ± 0,12	8,21 ± 0,07	0	0	3,51 ± 0,41
2	53,78 ± 0,09	33,30 ± 0,70	0,20 ± 0,03	8,07 ± 0,06	0	4,86 ± 0,13	
3	55,88 ± 0,08	28,28 ± 1,20	3,05 ± 0,21	7,79 ± 0,08	0	5,02 ± 0,05	
4	58,47 ± 1,10	27,04 ± 0,92	0,25 ± 0,08	10,05 ± 0,10	0	4,45 ± 0,33	

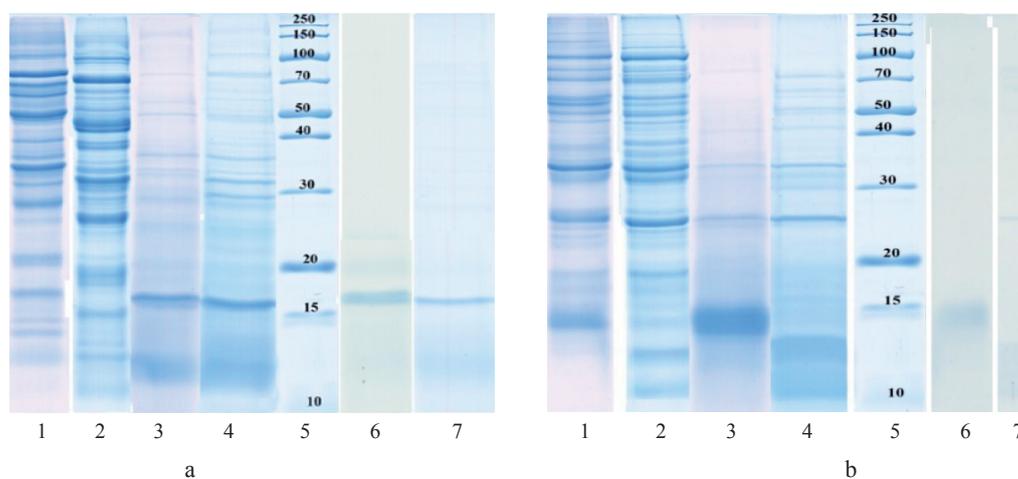


Рисунок 3. Белковые компоненты в полиакриламидном геле: а – гороховая сыворотка; б – нутовая сыворотка.

Без меркаптоэтанола: 1 – мука; 3 – экстракт 1-ой стадии; 5 – маркеры; 6 – сыворотка. С меркаптоэтанолом: 2 – мука; 4 – экстракт 1-ой стадии; 7 – сыворотка

Figure 3. Protein components according to Polyacrylamide Gel Electrophoresis: a – pea serum; b – chickpea serum. Without mercaptoethanol: 1 – flour; 3 – extract of stage 1; 5 – markers; 6 – serum. With mercaptoethanol: 2 – flour; 4 – extract of stage 1; 7 – serum

В процессе синтеза биомассы из обоих видов сыворотки микроорганизмы полностью усваивали глюкозу, большую часть ксилозы, арабинозы, галактозы и фруктозы. В сумме их количество уменьшилось более чем в 10 раз (табл. 5). Раффиноза, стахиоза и мальтоза практически не усваивались, появление сахарозы в культуральной жидкости связано с гидролизом в раффинозе α -1 \rightarrow 6-гликозидной связи между остатками галактозы и сахарозы. Количество высокомолекулярных соединений в жидкости увеличивалось из-за количественного перераспределения фракций.

Эффективное накопление биомассы происходило благодаря присутствию в сыворотке, по сравнению с исходной мукой, не только углеводов, но и относительно низкомолекулярных азотистых компонентов. Молекулярную массу компонентов определяли электрофорезом в полиакриламидном

геле с SDS с применением меркаптоэтанола и без него для разрыва дисульфидных связей в белках. Если в муке присутствовали многоцепочечные компоненты с молекулярной массой от 15 до > 250 кДа, под действием меркаптоэтанола распадающиеся на одноцепочечные полипептиды с молекулярной массой от 10 до 150 кДа, то сыворотка содержала компоненты с более низкой молекулярной массой: от 10 до 25 кДа (рис. 3).

Углеводный и белковый составы питательной среды на вторые сутки роста (24 ч) микроорганизмов на сыворотке обеспечивали формирование консорциума из дрожжей и микромицета, положительно влияющего на морфологию клеток (рис. 4) и на химический состав готовых кормовых микробно-растительных концентратов (табл. 6).

Массовая доля белка и жира в КМПК-2 из биомассы больше на 20–36 и 4–6 % соответственно,



Рисунок 4. Клетки монокультур и их консорциума: гороховая сыворотка: а – *Saccharomyces cerevisiae*; б – *Geotrichum candidum* 977; с – 48 ч роста; нутовая сыворотка: d – 24 ч роста; e – 48 ч роста

Figure 4. Cells of monocultures and their consortium. Pea serum: a – *Saccharomyces cerevisiae*; b – *Geotrichum candidum* 977; c – 48 h of growth; chickpea serum: d – 24 h of growth; e – 48 h of growth

Таблица 6. Химический состав кормовых микробно-растительных концентратов из биомассы с культуральной жидкостью (КМПК-1) и без нее (КМПК-2)

Table 6. Chemical composition of the microbial-vegetable feed biomass concentrates with and without cultural liquid

Концентрат	Влажность, %	Массовая доля, % на сухое вещество			Пищевые волокна	
		Белок (N×6,25)	Зола	Жир	Растворимые	Нерастворимые
Кормовой микробно-растительный концентрат из нутовой сыворотки						
КМПК-1	7,20 ± 0,26	47,15 ± 0,58	15,27 ± 0,05	2,65 ± 0,01	15,22 ± 0,64	20,31 ± 0,33
КМПК 2	9,10 ± 0,50	64,10 ± 0,88	8,93 ± 0,04	9,57 ± 0,42	8,80 ± 0,72	8,60 ± 0,27
Кормовой микробно-растительный концентрат из гороховой сыворотки						
КМПК-1	6,81 ± 0,40	51,09 ± 0,37	8,60 ± 0,03	2,04 ± 0,19	10,51 ± 0,55	20,48 ± 0,35
КМПК 2	6,81 ± 0,41	61,68 ± 0,47	8,60 ± 0,04	8,31 ± 0,36	7,13 ± 0,55	14,27 ± 0,44

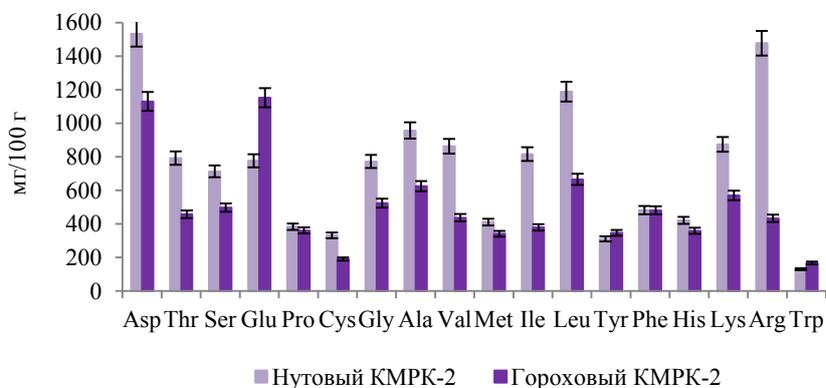


Рисунок 5. Аминокислотный состав КМПК-2 из биомассы

Figure 5. Amino acid composition of the microbial-vegetable feed concentrates with cultural liquid

чем массовая доля этих соединений в кормовых микробно-растительных концентратах из биомассы с культуральной жидкостью (КМПК-1). Сумма растворимых и нерастворимых волокон меньше в 1,4–2,0 раза. Различия в химическом составе выявлены и для кормовых микробно-растительных концентратов, полученных на различной сыворотке. Отличия в массовой доле белка составили 5–8 %. В обоих видах нутовых кормовых микробно-растительных концентратов на 15–29 % больше жира и на 20–45 %

больше растворимых волокон, чем в гороховых. Массовая доля нерастворимых волокон была почти одинаковой в гороховом и нутовом КМПК-1, тогда как в КМПК-2 из гороховой биомассы их количество было на 66,5 % больше, чем в КМПК-2 из нутовой сыворотки. Большему содержанию нерастворимых волокон у горохового КМПК-2 (на 66 %), по сравнению с нутовым КМПК-2, соответствовало несколько меньшее значение их перевариваемости *in vitro* с ферментным препаратом: 84,41 ± 0,32

Таблица 7. Аминокислотный скор КМПК-2 из гороховой и нутовой сыворотки

Table 7. Amino acid score of the microbial-vegetable feed concentrates with cultural liquid

Кормовой микробно-растительный концентрат	Скор незаменимых аминокислот, %								
	Val	His	Ile	Leu	Lys	Met+Cys	Thr	Trp	Phe+Tyr
КМПК-2 из гороховой сыворотки	107	219	124	107	116	226	179	247	197
КМПК-2 из нутовой сыворотки	151	188	197	136	127	225	221	137	135

Таблица 8. Жирнокислотный состав кормового микробно-растительного концентрата из гороховой и нутовой сыворотки

Table 8. Microbial-vegetable feed concentrate from pea and chickpea serum: fatty acid composition

Кислота	Массовая доля, %		Кислота	Массовая доля, %	
	Гороховая	Нутовая		Гороховая	Нутовая
Каприновая (декановая) кислота C _{10:0}	0,10	–	Гипогеиновая (7-гексадеценная) кислота C _{16:1(7)}	0,56	–
Ундекановая кислота C _{11:0}	0,05	–	Пальмитиновая (гексадекановая) кислота C _{16:0}	15,03	20,09
(R)-3,4 – Метиледимоксимета мфетамин C ₁₁ H ₁₅ NO ₂	0,17	–	Пальмитолеиновая (транс-9-гексадеценная) кислота C _{16:1(9)}	3,65	8,26
Лауриновая (додекановая) кислота C _{12:0}	0,28	–	10-гептадеценная кислота C _{17:1(10)}	0,63	–
Азелаиновая (нонандиовая) кислота C ₉ H ₁₆ O ₄	0,09	–	Маргариновая (гептадекановая) кислота C _{17:0}	0,52	–
Лауриновый альдегид C ₁₂ H ₂₄ O	0,05	–	Линолевая (октадекадиен-9Z, 12Z-овая) кислота C _{18:2(9,12)}	19,73	–
1-Нонадецен C _{19:1(9)}	0,81	–	Олеиновая (9-октадеценная) кислота C _{18:1(9)}	40,43	16,56
10-Метилдодекановая кислота C ₁₃ H ₂₆ O ₂	0,05	–	Петрозелиновая (6-октадеценная) кислота C _{18:1(6)}	4,31	1,01
Дифенолкетон (C ₆ H ₅) ₂ CO	0,08	–	Стеариновая (октадекановая) кислота C _{18:0}	7,10	1,82
3-фенил-2-бутиловый эфир пропеновой кислоты C ₁₃ H ₁₆ O ₂	–	–	Гипогеиновая (7-гексадеценная) кислота C _{16:1(7)}	0,56	–
Миристовая (9-тетрадеценная) кислота C _{14:1(9)}	0,25	–	Пальмитолеиновая (транс-9-гексадеценная) кислота C _{16:1(9)}	3,65	–
Миристиновая (тетрадекановая) кислота C _{14:0}	1,36	1,35	Пальмитиновая (гексадекановая) кислота C _{16:0}	–	–
Пентадекановая кислота C _{15:0}	0,45	2,14	10-гептадеценная кислота C _{17:1(10)}	0,63	–
n-Гексилловый эфир бензойной кислоты C ₁₃ H ₁₈ O ₂	0,41	–	Маргариновая (гептадекановая) кислота C _{17:0}	0,52	–
Гептиловый эфир бензойной кислоты C ₁₄ H ₂₀ O ₂	0,31	–	Линолевая (октадекадиен-9Z, 12Z-овая) кислота C _{18:2(9,12)}	19,73	41,26
Диэтиловый эфир 1,4-бензолдикарбоновой кислоты	–	4,08	Нонадеканол-1 C ₁₉ H ₃₉ OH	–	3,42

против 88,46 ± 1,30 %. Различия были обусловлены особенностями химического состава зерна культур, из которых получали белковые концентраты, т. к. технология биоконверсии сыворотки была одинаковой.

Белки кормовых микробно-растительных концентратов содержали 18 аминокислот: глутаминовую и аспарагиновую кислоты, глицин, пролин, лизин и др. (рис. 5). Скор для всех незаменимых

аминокислот КМПК-2, полученного из биомассы, выращенной на обоих видах сыворотки, был выше 100 % (табл. 7). Это указывает на высокую биологическую ценность концентратов. Однако у КМПК-2 из нутовой сыворотки скор для треонина, лизина, лейцина, изолейцина и валина был выше, чем у КМПК-2 из гороховой сыворотки, и меньше для суммы ароматических аминокислот и триптофана. Скор для серосодержащих аминокислот одинаковый.

Жирнокислотный состав КМПК-1 из нутовой сыворотки был представлен 10 компонентами, из гороховой – 30 (табл. 8). Среди них на долю жирных кислот растительных масел и животных жиров у первого концентрата приходилось 92,5 %, на сумму эфира и спирта со свойствами ароматизаторов, эфирных масел и метаболитов – 7,50 %, у второго концентрата – 97,0 и 3,0 % соответственно.

У нутового концентрата соотношение суммы насыщенных (25,40 %) и ненасыщенных жирных кислот (67,09 %) равнялось 1:2,6, содержание омега-6 жирных кислот (линолевой кислоты) – 41,26 %, у концентрата из гороховой сыворотки – 1:3 (23,5/71,67%) и 19,73 % соответственно. Содержание цис-изомеров в концентрате – 91,1 %, транс-изомеров – 5,1 %. Таким образом, по составу и виду жирных кислот оба КМПК-1 приближались к пищевым маслам и жирам, но в нутовом КМПК-1 таких кислот содержалось на 4,5 % меньше, а омега-6 жирных кислот (линолевой) на 21,5 % больше. Общее количество ненасыщенных жирных кислот в гороховом кормовом микробно-растительном концентрате было выше, чем в нутовом (соотношение насыщенные:ненасыщенные жирные кислоты 1:3 против 1:2,6).

Минеральный состав КМПК-1 представлен 14 макро- и микроэлементами (табл. 9). В нутовом КМПК-1 содержалось в 1,8 раз больше калия, магния и кобальта, в 10 раз больше марганца и в 2 раза больше натрия, чем гороховом КМПК-1. Количество кальция, железа, цинка практически одинаковое в обоих препаратах.

Результаты рекомендовано учитывать при составлении рецептов кормов и добавок для различных

Таблица 9. Содержание макро- и микроэлементов в КМПК-1 из нутовой и гороховой сыворотки

Table 9. Macro- and microelements in the microbial-vegetable feed concentrates without cultural liquid

Элемент	КМПК-1 из сыворотки	
	Нутовой	Гороховой
Натрий, мг/100 г	2460,00 ± 172,00	1163,00 ± 81,00
Калий, мг/100 г	3377,00 ± 200,00	1844,00 ± 100,00
Кальций, мг/100 г	2010,00 ± 156,00	2000,00 ± 120,00
Магний, мг/100 г	222,00 ± 10,00	121,00 ± 8,00
Железо, мг/100 г	5,10 ± 0,35	6,30 ± 0,46
Цинк, мг/100 г	11,40 ± 0,90	14,00 ± 1,20
Медь, мг/100 г	1,50 ± 0,04	1,12 ± 0,04
Марганец, мг/100 г	12,00 ± 0,56	1,56 ± 0,08
Кобальт, мкг/100 г	107,00 ± 3,00	57,00 ± 2,00
Никель, мкг/100 г	210,00 ± 15,00	440,00 ± 36,00
Свинец, мг/кг	≤ 0,001	≤ 0,001
Кадмий, мг/кг	0,151 ± 0,007	0,171 ± 0,009
Хром, мг/кг	≤ 0,005	≤ 0,005
Молибден, мг/кг	≤ 0,04	≤ 0,04

групп животных в целях улучшения качества получаемого от них пищевого сырья.

Один из образцов белковых концентратов, полученных из гороховой муки (образец 1), имел темно-коричневый цвет (рис. 6). Цвет мог быть связан с реакцией меланоидинообразования между карбонильными группами восстанавливающих сахаров и аминогруппами белков и аминокислот, образованием меланинов при участии аминокислоты тирозин и фермента тирозиназы и окислением –ОН-групп фенольных соединений.

Первые две причины не получили экспериментального подтверждения, тогда как между количеством фенолокарбоновых кислот и их производных в образцах с различными оттенками цвета установлена взаимосвязь. Массовая доля фенолокарбоновых кислот и их производных в муке и белковых концентратах, выраженная в мг/г белка, коррелировала с оттенками цвета исследуемых образцов, тогда как количество их в % на сухое вещество и в мг/г продукта не отражало эти особенности (табл. 10).

Чем меньше в муке содержалось фенолокарбоновых кислот и их производных, тем меньше их было в составе белкового концентрата. В БК-2 светло-желтого цвета, полученном из муки-2 с меньшим в 5,6 раза их количеством, по сравнению с мукой-1, этих соединений также содержалось меньше, чем в БК-1 темно-коричневого цвета (в 5,4 раза). Такая же зависимость была характерна и для кормового микробно-растительного концентрата. Кормовой концентрат КМПК-2 светло-желтого цвета содержал в 1,7 раза меньше фенолокарбоновых кислот и их производных, по сравнению с светло-коричневым КМПК-1. Высокое содержание в нутовой муке фенолокарбоновых кислот и их производных также сопровождалось большим их количеством в готовом БК-3 темно-желтого цвета. Величина оптической плотности водных растворов всех исследуемых продуктов, измеренная при D_{590} нм, высоко коррелировала с массовой долей общего количества фенолокарбоновых кислот и их производных, выраженной в мг/г белка ($R = 0,895$).

Выводы

Выполнен сравнительный анализ качественных показателей пищевых и кормовых белковых концентратов из зернобобовых культур, полученных с гидролитическими ферментными препаратами с достижением растворимости белков гороха и нута до 84 ± 1 % и их выходом 65–70 %. Нутовые белковые концентраты содержали белка больше, чем гороховые: $83,22 \pm 0,35$ против $71,78 \pm 0,35$ % на сухое вещество. Но показатель биологической ценности, с поправкой на усвояемость белков (PDCAAS) (88 %), у горохового белкового концентрата был



Рисунок 6. Внешний вид белкового концентрата: а – из гороховой муки 1; б – из гороховой муки 2; с – из нутовой муки; д – кормовой микробно-растительный концентрат из нутовой муки

Figure 6. Appearance of protein concentrate: a – pea flour 1; b – pea flour 2; c – chickpea flour; d – chickpea flour microbial-vegetable feed concentrate

Таблица 10. Массовая доля фенолокарбоновых кислот и их производных в муке и белковом концентрате

Table 10. Mass fraction of phenolic acids and their derivatives in the flour and protein concentrate

Продукт	Цвет продукта	Оптическая плотность, водных растворов D ₅₉₀ нм	Массовая доля фенолокарбоновых кислот и их производных		
			% на сухое вещество	мг/г продукта	мг/г белка
Гороховая мука и концентраты					
Мука-1	Желтый	0,390 ± 0,010	1,14 ± 0,06	12,70 ± 0,78	56,00 ± 1,01
БК-1	Темно-коричневый	0,080 ± 0,010	1,08 ± 0,07	11,22 ± 1,40	15,05 ± 0,56
Мука-2	Светло-желтый	0,080 ± 0,000	0,02 ± 0,01	1,79 ± 0,91	9,89 ± 0,23
БК-2	Светло-желтый	0,040 ± 0,010	0,02 ± 0,01	1,88 ± 1,01	2,78 ± 0,05
КРМК-1	Светло-коричневый	0,100 ± 0,040	1,11 ± 0,03	12,23 ± 0,21	39,14 ± 0,38
КРМК-2	Светло-желтый	0,040 ± 0,030	1,12 ± 0,07	12,37 ± 2,31	2,85 ± 0,04
Нутовая мука и концентраты					
Мука-3	Желтый	0,380 ± 0,030	1,11 ± 0,08	12,24 ± 0,41	54,49 ± 0,41
БК-3	Темно-желтый	0,080 ± 0,040	1,17 ± 0,08	12,84 ± 0,56	14,06 ± 0,12
КРМК-3	Темно-желтый	0,085 ± 0,020	1,11 ± 0,03	12,28 ± 0,12	26,68 ± 0,53

выше, чем у нутового: 96 и 76 % соответственно. Сумма незаменимых аминокислот выше у горохового белкового концентрата (256,21 мг/100 г) по сравнению с нутовым (247,9 мг/100 г). Белковые концентраты отличались по содержанию меди, кобальта, марганца, никеля и количеству фенолокарбоновых кислот и их производных, пенообразующей способности и элементам вторичной структуры белков. Большему содержанию фенолокарбоновых кислот и их производных и количеству параллельной β -структуры и антипараллельных 3_{10} -спиралей в нутовом белковом концентрате соответствовала более высокая пенообразующая способность, но более низкая стабильность пены, по сравнению с гороховым. Скрученные β -изгибы и другие виды вторичной структуры белков не влияли на значения функциональных свойств белковых концентратов.

В усвоении углеводов дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* 121 и микромицетом *Geotrichum candidum* 977 из разных видов сыворотки различий не обнаружено. Из углеводов и белков сыворотки с

молекулярной массой от 10 до 25 кДа на вторые сутки роста формировался консорциум микроорганизмов с массовой долей белка 47,15–51,09 % на сухое вещество в биомассе совместно с культуральной жидкостью и 61,68–64,10 % – только в биомассе. Обнаружены различия у кормовых белковых концентратов из биомассы гороховой и нутовой сыворотки в массовой доле жира, растворимых и нерастворимых волокон. Аминокислотный скор всех незаменимых аминокислот в концентратах из обеих видов сыворотки выше 100 %. Количество ненасыщенных жирных кислот в гороховом КРМК-1 выше, чем в нутовом КРМК-1 (соотношение насыщенные:ненасыщенные жирные кислоты 1:3 против 1:2,6), но в нутовом КРМК-1 на 21,5 % больше омега-6 жирных кислот (линолевой), калия, магния, кобальта, марганца и натрия. Для всех видов концентратов обнаружена высокая корреляционная взаимосвязь между массовой долей фенолокарбоновых кислот и их производных в сырье, концентратов и цветом сухих препаратов. Коэффициент корреляции R между оптической плотностью водных растворов, измеренной при

D_{590} нм, и массовой долей фенолокарбоновых кислот и их производных, выраженной в мг/г белка, равнялся 0,895.

Оба вида белкового концентрата рекомендовано использовать в пищевых целях, кормовой микробно-растительный концентрат – в кормах для животных с учетом особенностей их химического состава, физико-химических и биохимических показателей для улучшения качества пищевого сырья животного или растительного происхождения.

Критерии авторства

В. В. Колпакова руководила проектом, выполняла обзор и анализ публикаций по теме и анализировала полученные в ходе экспериментов данные. Р. В. Уланова выполняла исследования по выращиванию биомассы на сыворотке и анализировала полученные данные. Д. С. Куликов выполнял исследования по получению белковых концентратов из гороха и нута и определению их химического состава и функциональных свойств. В. А. Гулакова занималась определением химического и углеводного состава концентратов. Г. В. Семёнов выполнял исследования по получению и сушке белковых

концентратов пищевого и кормового назначения. Л. В. Шевякова анализировала химический состав белковых концентратов, включая минеральный состав.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

V.V. Kolpakova supervised the project, reviewed publications, and analyzed the experimental data. R.V. Ulanova was responsible for the cultivation of biomass on serum and data analysis. D.S. Kulikov obtained protein concentrates from peas and chickpeas to determine their chemical composition and functional properties. V.A. Gulakova determined the chemical and carbohydrate composition of the concentrates. G.V. Semenov obtained protein concentrates for food and feed purposes. L.V. Shevjakova studied the mineral composition of the protein concentrates.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

References/Список литературы

1. Zotikov VI, Naumkina TS, Sidorenko VS, Gryadunova NV, Naumkin VV. Pulses as an important factor of sustainable ecologically oriented agriculture. *Legumes and Groat Crops*. 2016;17(1):6–13. (In Russ.). [Зернобобовые культуры – важный фактор устойчивого экологически ориентированного сельского хозяйства / В. И. Зотиков [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. 2016. Т. 17. № 1. С. 6–13.].
2. Kolpakova VV, Kulikov DS, Ulanova RV, Chumikina LV. Food and feed protein preparations from peas and chickpeas: Production, properties, application. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(2):333–348. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-333-348>.
3. Driving commitment for nutrition within the UN Decade of Action on Nutrition. World Health Organization and Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2018. 14 p.
4. Kulikov DS, Kolpakova VV, Ulanova RV, Chumikina LV, Bessonov VV. Biological processing of pea grain and secondary starch raw materials to produce food and feed protein concentrates. *Biotechnology in Russia*. 2020;36(4):49–58. (In Russ.). [Биологическая переработка зерна гороха с получением пищевых и кормовых белковых концентратов / Д. С. Куликов [и др.] // Биотехнология. 2020. Т. 36. № 4. С. 49–58.].
5. Souza Filho PF, Nair RB, Andersson D, Lennartsson PR, Taherzadeh MJ. Veganmycoprotein concentrate from peaprocessing industry byproduct using edible filamentous fungi. *Fungal Biology and Biotechnology*. 2018;5(1):1–10. <https://doi.org/10.1186/s40694-018-0050-9>
6. Ulanova RV, Kulikov DS, Gulakova VA, Ahremko AG, Slozhenkina MI, Kolpakova VV. Ecological approach to the use of secondary products of pea flour and rice grain processing into protein concentrates and phytin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;848(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012106>
7. Xu J, Zhang M, He T, Luo H, Peng K, Huang X, et al. Application of de-lignified cellulose to enhance intracellular and extracellular lipid production from oleaginous yeast using acetic acid. *Bioresource Technology*. 2019;293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122032>
8. Sarris D, Sampani Z, Rapti A, Papanikolaou S. Valorization of crude glycerol, residue deriving from biodiesel-production process, with the use of wild-type new isolated *Yarrowia lipolytica* strains: Production of metabolites with pharmaceutical and biotechnological interest. *Current Pharmaceutical Biotechnology*. 2019;20(10):881–894. <https://doi.org/10.2174/1389201020666190211145215>

9. Machado WRM, Silva LG, Vanzela ESL, Del Bianchi VL. Production of carotenoids by *Rhodotorula toruloides* isolated from Brazilian tropical savannah. *International Food Research Journal*. 2019;26(4):1259–1267.
10. Zhou X, Ouyang Z, Zhang X, Wei Y, Tang S, Ma Z, *et al.* Sweet corn stalk treated with *Saccharomyces cerevisiae* alone or in combination with *Lactobacillus plantarum*: Nutritional composition, fermentation traits and aerobic stability. *Animals*. 2019;9(9). <https://doi.org/10.3390/ani9090598>
11. Rychen G, Aquilina G, Azimonti G, Bampidis V, Bastos MDL, Bories G, *et al.* Efficacy of *Saccharomyces cerevisiae* NBRC 0203, *Lactobacillus plantarum* NBRC 3070 and *Lactobacillus casei* NBRC 3425 as a technological additive (silage additive) for all animal species. *EFSA Journal*. 2017;15(2). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4704>
12. Sun Z, Wang T, Aschalew ND, Zhao W, Chen X, Zhang X-F, *et al.* Effects of yeast cultures with different fermentation times on the growth performance, caecal microbial community and metabolite profile of broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2020;104(1):212–223. <https://doi.org/10.1111/jpn.13241>
13. Zhen YG, Zhao W, Chen X, Li LJ, Lee HG, Zhang XF, *et al.* Effects of yeast culture on broiler growth performance, nutrient digestibility and caecal microbiota. *South African Journal of Animal Science*. 2019;49(1):99–108. <https://doi.org/10.4314/sajas.v49i1.12>
14. Sousa DO, Oliveira CA, Velasquez AV, Souza JM, Chevaux E, Mari LJ, *et al.* Live yeast supplementation improves rumen fibre degradation in cattle grazing tropical pastures throughout the year. *Animal Feed Science and Technology*. 2018;236:149–158. <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2017.12.015>
15. Anjum MI, Javaid S, Ansar MS, Ghaffar A. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation on intake, digestibility, rumen fermentation and milk yield in Nili-Ravi buffaloes. *Iranian Journal of Veterinary Research*. 2018;19(2): 96–100.
16. Shakira G, Qubtia M, Ahmed I, Hasan F, Anjum MI, Imran M. Effect of indigenously isolated *Saccharomyces cerevisiae* probiotics on milk production, nutrient digestibility, blood chemistry and fecal microbiota in lactating dairy cows. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 2018;28(2):407–420.
17. Sallam SMA, Abdelmalek MLR, Kholif AE, Zahran SM, Ahmed MH, Zeweil HS, *et al.* The effect of *Saccharomyces cerevisiae* live cells and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on the lactational performance of dairy cows. *Animal Biotechnology*. 2020;31(6):491–497. <https://doi.org/10.1080/10495398.2019.1625783>
18. Serba EM, Sokolova EN, Fursova NA, Volkova GS, Borshheva YuA, Kurbatova EI, *et al.* Obtaining biologically active additives based on enriched yeast biomass. Storage and Processing of Farm Products. 2018;(2):74–79. (In Russ.). [Получение биологически активных добавок на основе обогащенной дрожжевой биомассы / Е. М. Серба [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 2. С. 74–79.].
19. Kot AM, Błażej S, Kieliszek M, Gientka I, Bryś J, Reczek L, *et al.* Effect of exogenous stress factors on the biosynthesis of carotenoids and lipids by *Rhodotorula* yeast strains in media containing agroindustrial waste. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2019;35(10). <https://doi.org/10.1007/s11274-019-2732-8>
20. ChuppaTostain G, Hoarau J, Watson M, Adelard L, Sing ASC, Caro Y, *et al.* Production of *Aspergillus niger* biomass on sugarcane distillery waste water: Physiological aspects and potential for biodiesel production. *Fungal Biology and Biotechnology*. 2018;5(1):1–12. <https://doi.org/10.1186/s40694-018-0045-6>
21. Andreev NR, Kolpakova VV, Goldstein VG, Kravchenko IK, Ulanova RV, Gulakova VA, *et al.* Utilization of secondary triticale processing products with production of fodder microbial-vegetative concentrate for pond fish. *South of Russia: Ecology, Development*. 2017;12(4):90–104. (In Russ.). <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-4-90-104>
22. Barman A, Marak CM, Barman RM, Sangma CS. Nutraceutical properties of legume seeds and their impact on human health. In: Jimenez-Lopez JC, Clemente A, editors. *Legume seed nutraceutical research*. IntechOpen; 2019. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78799>
23. Singhal A, Karaca AC, Tyler R, Nickerson M. Nutraceutical properties of legume seeds and their impact on human health. In: Goyal AK, editor. *Grain legumes*. IntechOpen; 2016. <https://doi.org/10.5772/64020>
24. Bondarenko AN. Effect of growth-stimulating preparations on productivity and economic efficiency of chickpea under the conditions of light chestnut saline soils of the Astrakhan oblast'. *Agrarian Russia*. 2019;(1):24–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2019-1-24-26>
25. Acquah C, Ohemeng-Boahen G, Power KA, Tosh SM. The effect of processing on bioactive compounds and nutritional qualities of pulses in meeting the sustainable development goal 2. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2021;5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.681662>
26. Wang Y, Wang Y, Li K, Bai Y, Li B, Xu W. Effect of high intensity ultrasound on physicochemical, interfacial and gel properties of chickpea protein isolate. *LWT*. 2020;129. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109563>

27. Nechaev AP, Traubenberg SE, Kochetkova AA, Nechaev AP. Food chemistry: Laboratory workshop. St. Petersburg: GIORД; 2006. 302 p. (In Russ.). [Пищевая химия: Лабораторный практикум / А. П. Нечаев [и др.] // СПб.: ГИОРД, 2006. 302 с.].
28. Skurikhin IM, Tutel'yan VA. Guide to methods for food quality and safety analysis. Moscow: Brandes, Meditsina; 1998. 341 p. (In Russ.). [Скурихин И. М., Тутельян В. А. Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов. М.: Брандес, Медицина. 1998. 341 с.].
29. Kolpakova VV, Chumikina LV, Arabova LI, Lukin DN, Topunov AF, Titov YeI. Functional technological properties and electrophoretic composition of modified wheat gluten. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(2):48–57. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-48-57>
30. Gavrilin MV, Popova OI, Gubanova EA. Phenolic compounds of the aerial part of clary sage (*Salviasclarea* L.), cultivated in the Stavropol Region. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2010;(4):99–104. (In Russ.). [Гаврилин М. В., Попова О. И., Губанова Е. А. Фенольные соединения надземной части шалфея мускатного (*Salviasclarea* L.), культивируемого в Ставропольском крае // Химия растительного сырья. 2010. № 4. С. 99–104.].
31. Kolpakova VV, Ulanova RV, Kulikov DS, Gulakova VA, Kadieva AT. Grain composites with a complementary amino acid composition in food and fodder. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(2):301–311. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-301-311>
32. Kolpakova VV, Chumikina LV, Arabova LI. Modification of functional properties of white and brown rice protein concentrates. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019;81(1):181–189. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-181-189>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2396>
<https://elibrary.ru/ODDAMN>

Оригинальная статья
<https://fppt.ru>

Изучение качества полуфабриката из ядер семян *Pinus sibirica*



В. Б. Мазалевский*^{ID}, О. В. Голуб^{ID}, Г. П. Чекрыга^{ID},
Е. В. Бородай^{ID}, О. К. Мотовилов^{ID}

Сибирский федеральный научный центр агробιοтехнологий Российской академии наук,
Краснообск, Россия

Поступила в редакцию: 11.04.2022

Принята после рецензирования: 13.05.2022

Принята к публикации: 07.06.2022

*В. Б. Мазалевский: mazalevskij@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-5870-2350>

О. В. Голуб: <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>

Г. П. Чекрыга: <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>

Е. В. Бородай: <https://orcid.org/0000-0003-4350-085X>

О. К. Мотовилов: <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>

© В. Б. Мазалевский, О. В. Голуб, Г. П. Чекрыга,
Е. В. Бородай, О. К. Мотовилов, 2022



Аннотация.

Ядра кедрового ореха и продукты их переработки пользуются популярностью в пищевой промышленности благодаря специфическим органолептическим характеристикам и высокой пищевой ценности. Цель работы – исследовать влияние механоакустической обработки на формирование характеристик качества полуфабриката из ядер семян *Pinus sibirica* Du Tour.

Объектом исследования являлся полуфабрикат из ядер кедрового ореха. Технология выработки полуфабриката включала подготовку сырья, механоакустическую обработку смеси ядер и воды при температуре 63–67 °С в течение 20 мин при интенсивности воздействия 100–500 Вт/кг, фасование, охлаждение и хранение. Готовый полуфабрикат хранили в полимерных банках при температурах 2–6 и –18–22 °С. В работе применяли общепринятые и стандартные методы исследования.

Полуфабрикат из ядер кедрового ореха, полученный при помощи механоакустического гомогенизатора, представлял собой светло-кремовую пюреобразную и текучую однородную массу с хорошо выраженным запахом и вкусом кедрового ореха. Нутриентный состав полуфабриката близок к исходному сырью (в среднем, %: белок – 7,4, жир – 22,6, сахара – 1,4, клетчатка – 1,4, зола – 1,03). После механоакустической обработки в полуфабрикate, по сравнению с исходным сырьем, отмечено сокращение КМАФАМ на три порядка и дрожжей в 6 раз, а также гибель неспорообразующих бактерий группы кишечных палочек. В результате проведенных исследований органолептических, физико-химических и микробиологических показателей установили сроки годности полуфабриката: при температуре 2–6 °С – 14 суток, –18–22 °С – 24 месяца.

Применение механоакустического гомогенизатора при изготовлении полуфабриката из ядер кедрового ореха позволяет не только сократить количество технологических операций, но и обеспечить его качественные характеристики на протяжении длительного срока хранения. Полуфабрикат из ядер семян *P. sibirica*, полученный с использованием механоакустического гомогенизатора, обладает большим потенциалом для изготовления пищевых продуктов.

Ключевые слова. Сосна кедровая сибирская, орех, ореховая масса, механоакустическая обработка, пищевая ценность, безопасность, хранение

Для цитирования: Изучение качества полуфабриката из ядер семян *Pinus sibirica* / В. Б. Мазалевский [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 665–674. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2396>

Quality Analysis of Semi-Finished Product from *Pinus sibirica* Kernels



Viktor B. Mazalevskiy*^{ORCID}, Olga V. Golub^{ORCID},
Galina P. Chekryga^{ORCID}, Elena V. Boroday^{ORCID}, Oleg K. Motovilov^{ORCID}

Siberian Federal Scientific Center of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences,
Krasnoobsk, Russia

Received: 11.04.2022
Revised: 13.05.2022
Accepted: 07.06.2022

*Viktor B. Mazalevskiy: mazalevskij@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-5870-2350>
Olga V. Golub: <https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>
Galina P. Chekryga: <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>
Elena V. Boroday: <https://orcid.org/0000-0003-4350-085X>
Oleg K. Motovilov: <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>

© V.B. Mazalevskiy, O.V. Golub, G.P. Chekryga, E.V. Boroday, O.K. Motovilov, 2022



Abstract.

Cedar-pine nut kernels are tasty and nutritious, which makes them a popular raw material. This research featured the effect of mechano-acoustic treatment on the quality of a novel semi-finished product from *Pinus sibirica* kernels.

The production technology included the following stages. A mix of kernels and water underwent mechano-acoustic treatment (100–500 W/kg) at 63–67°C for 20 min. After that, the mix was packaged, cooled, and stored in plastic jars at 2–6 and –18–22°C. The study relied on conventional and standard research methods.

The resulting light-cream homogeneous mass had a characteristic aroma and taste of cedar-pine nuts. Its nutrient composition was close to the original raw material: protein – 7.4%, fat – 22.6%, sugar – 1.4%, fiber – 1.4%, ash – 1.03%. However, the quantity of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms decreased by three orders of magnitude and that of yeast decreased by six times. In addition, the semi-finished product contained no non-spore-forming *Escherichia coli*. A set of sensory, physico-chemical, and microbiological tests revealed the shelf life of 14 days at 2–6°C and 24 months at –18–22°C. The mechano-acoustic homogenizer made it possible to obtain a high-quality semi-finished product from *Pinus sibirica* nut kernels with a simple production technology, long shelf life, and great commercial potential.

Keywords. Siberian cedar pine, nut, nut mass, mechano-acoustic processing, nutritional value, safety, storage

For citation: Mazalevskiy VB, Golub OV, Chekryga GP, Boroday EV, Motovilov OK. Quality Analysis of Semi-Finished Product from *Pinus sibirica* Kernels. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):665–674. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2396>

Введение

Сосна кедровая сибирская (*Pinus sibirica* Du Tour, кедровая сосна, сибирский кедр) относится к группе сосны белой из семейства *Pinaceae*, роду *Pinus*, подроду *Strobus*, произрастает на территории Западной и Восточной Сибири и представляет собой уникальное растение, имеющее промышленное значение за счет коры, древесины, живицы, хвои, семян и т. д. [1–3].

Многие части сосны кедровой сибирской используются при изготовлении различных продуктов питания общего и специального назначения, поскольку содержат нутриенты, оказывающие благоприятное воздействие на организм человека [4–8]. Учеными

Сибирского федерального университета и Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук доказано, что эфирное масло из ветвей *P. sibirica* обладает антимикробной в отношении штаммов условно-патогенных бактерий (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus* 209p, *Micrococcus luteus*, *Acinetobacter baumannii*, *Candida albicans*) и антирадикальной активностями [9]. А. Ю. Просеков с соавторами доказали, что масло из ядер семян обладает высокой антимикробной активностью, выраженными пребиотическим и антиоксидантным действиями, независимо от способа прессования (холодное или горячее) [10]. Шведскими и испан-

скими учеными разработан продукт, обладающий заживляющим действием хронических язв полости рта, желудка и двенадцатиперстной кишки за счет смолы *P. sibirica*, содержащей дитерпены [11].

Человек использует в питании семена (орехи) *P. sibirica* из-за их оригинальных характеристик, высокой пищевой ценности и хранимоспособности, в том числе транспортабельности. При изготовлении продуктов питания используются как сами ядра, так и продукты их переработки.

Химический состав ядер семян *P. sibirica* отличается широкой вариабельностью в зависимости от множества факторов (место произрастания, время сбора и т. д.). Следовательно, продукты из них или с их использованием способны поставлять в организм человека разное количество нативных нутриентов. Учеными Калининградского государственного технического университета и научно-исследовательской и консультационной лаборатории UBF (Германия) проведены исследования химического состава ядер семян *P. sibirica*, собранных в Бурятии и Горном Алтае. В результате было установлено, что они содержат биологически активные соединения в большом количестве. В процессе хранения количество витамина Е и моно- и полиненасыщенных жирных кислот уменьшается, а насыщенных жирных кислот увеличивается, как и перекисное число жира. Также образуются трансжирные кислоты и летучие вещества за счет деструкции моно- и полиненасыщенных жирных кислот. Ядра семян *P. sibirica* целесообразно хранить в шишках или в вакуумной упаковке [12].

О. О. Бабич с соавторами доказали, что ядра семян *P. sibirica*, произрастающей в Кемеровской области, по содержанию белка сопоставимы с ядрами хвойных деревьев из Республики Тыва и Дальневосточного региона и превосходят китайскую продукцию, по содержанию жира – сопоставимы с продукцией Дальневосточного региона и Китая и превосходят тувинскую [13].

Из ядер семян *P. sibirica* вырабатывается широкий ассортимент пищевой продукции, поскольку они содержат липиды – фосфолипиды, моно- и диацилглицерины, стеролы, каротиноиды, три-терпеновый спирт, свободные жирные кислоты, триацилглицерины; белки – незаменимые (лизин, лейцин, валин и др.) и заменимые аминокислоты (аргинин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты и др.); углеводный комплекс – гидролизуемые сахара (сахароза, глюкоза, фруктоза), крахмал и пищевые волокна (петозан и клетчатка); биологически активные вещества – витамины (группы В, токоферолы и др.) и минеральные вещества (фосфор, калий и др.) [14–16]. Л. С. Дышлюк с соавторами из семян *P. sibirica*, произрастающей в Кузбассе, получили обезжиренную муку, жмых, масло и пасту, которые затем использовали для выработки функциональных продуктов питания (мороженого,

плавленных сырков, творожных продуктов и майонеза) [17]. Б. А. Идырышев с соавторами установили путем проведения органолептических, физико-химических и микробиологических исследований, что жмых из ядер семян *P. sibirica*, являющегося побочным продуктом при получении масла способом холодного прессования, в количестве 10 % целесообразно использовать при изготовлении мясосодержащих полуфабрикатов [18].

Сибирским федеральным научным центром агробиотехнологий Российской академии наук на протяжении многих лет проводятся исследования по переработке семян *P. sibirica* в пищевые продукты, обладающие оригинальными органолептическими характеристиками и повышенной пищевой ценностью. В результате получены патенты на способ получения пастообразного концентрата из ядра кедрового ореха (патент РФ № 2563697, заяв. 06.11.2013, опубл. 20.09.2015), пищевой продукт из ядер кедровых орехов в виде седиментационно-устойчивой смеси (патент РФ № 2595382, заяв. 22.04.2015, опубл. 27.08.2016), сливочный сыр с кедровым концентратом (патент РФ № 2742472, заяв. 04.06.2019, опубл. 23.06.2020) и композицию йогурта с кедровым наполнителем (патент РФ № 2757735, заяв. 10.12.2020, опубл. 21.10.2021) [19, 20].

Однако в недостаточном объеме проведены работы, направленные на исследование влияния технологии переработки семян *P. sibirica*, в том числе за счет использования современного оборудования, на качественные характеристики продукции. Следовательно, данное теоретическое и практическое направление необходимо развивать.

На основании вышесказанного сформулирована цель настоящего исследования – исследовать характеристики качества полуфабриката из ядер семян *P. sibirica*, полученного с использованием механоакустического гомогенизатора, и обосновать срок его годности.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – полуфабрикат из ядер кедрового ореха (семян сосны кедровой сибирской *Pinus sibirica* Du Tour), полученный методом механоакустической обработки. В рамках данной работы полуфабрикат из ядер кедрового ореха представляет собой продукт, изготовленный из ядер кедрового ореха (массовая доля не менее 35,0 %) и питьевой воды, обладающий пластичной мажущейся консистенцией.

Производство полуфабриката из ядер кедрового ореха осуществляли путем проведения следующих технологических операций: подготовка сырья (инспекция, просеивание); механоакустическая обработка смеси (ядра кедрового ореха: вода – 1,0:1,5) в МАГ-50: одновременно происходили процессы измельчения, гомогенизации, дезодорации

и пастеризации с эффектом стерилизации при температуре 63–67 °С в течение 20 мин при интенсивности воздействия 100–500 Вт/кг; фасование; охлаждение до температуры 16–20 °С; хранение. Фасовка полуфабриката из ядер кедрового ореха осуществлялась в банки (емкостью 0,9 дм³) с крышками из полипропилена, неокрашенные, соответствующие требованиям ГОСТ 33756-2016.

Хранение полуфабриката из ядер кедрового ореха осуществляли при следующих температурах: 2–6 °С в течение 19 суток и –18–22 °С в течение 28 месяцев. Срок хранения выбирался с учетом требований МУК 4.2.1847-04.

В исследуемых образцах полуфабриката из ядер кедрового ореха определяли массовую долю влаги, жира, белка, сахаров, клетчатки и золы (нерастворимой в растворе соляной кислоты с массовой долей 10 %) по методам, регламентируемым ГОСТ 5900-2014, ГОСТ 31902-2012, ГОСТ 34551-2019, ГОСТ 5903-68 и ГОСТ 5901-2014 соответственно; активную кислотность – согласно ГОСТ 5898-87; содержание (или наличие) плесеней и дрожжей, мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, патогенных микроорганизмов (в т. ч. сальмонелл), бактерий группы кишечных палочек – согласно ГОСТ 10444.12-2013, ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 31659-2012 и ГОСТ 31747-2012 соответственно. Описательную характеристику органолептических показателей полуфабриката из ядер кедрового ореха осуществляли по ГОСТ 5897-90 и ГОСТ 34080-2017, оценку – балльным методом [21]. Исследование микроструктуры проводилось с использованием микроскопа Carl Zeiss Stereo Discovery V8 (Германия) с камерой Axio Cam ICc 5 (Германия) и программным обеспечением ZEN2, а также цифрового фотоаппарата Canon Power Shot SX430 IS (Япония). Перед проведением исследований полуфабрикат из ядер кедрового ореха, хранящийся при температуре –10–18 °С, размораживался.

В процессе работы использовано следующее оборудование: паровой стерилизатор ВК-75 (Россия), аппарат Кьельдаля (Россия), весы аналитические ОНАУС (Япония), водяная баня LOIP LB-163 (Россия), гомогенизатор HG-15F-Set (Корея), магнитная мешалка Biosan MSH-300 (Латвия), микроскоп Микромед 2 (Россия), настольный измеритель pH Ohaus Starter 2100 (Китай), плата программируемая ПЛП-03 НПП «Томьаналит» (Россия), стерилизатор паровой ВК-0701 (Россия), термостат MIR-262 Sanyo (Япония), холодильник Medicoool Sanyo (Япония), центрифуга Тегмо SL 40R (Германия), шкаф сушильный ШС-80 (Россия), муфельная печь SNOI (Литва), прилавок морозильный Ауста BD-560 (Китай) и механоакустический гомогенизатор «МАГ-50» (ЗАО «Катализаторная компания», Новосибирск, Россия).

Результаты испытаний статистически обрабатывались с помощью MS Excel.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что по внешнему виду и цвету полуфабрикат из ядер кедрового ореха представлял собой однородную массу светло-кремового цвета (рис. 1). Запах и вкус полуфабриката хорошо выраженные, характерные для ядер кедрового ореха, сладковатые, с приятной маслянистостью и без посторонних оттенков. Оценка за показатели «внешний вид», «цвет», «запах» и «вкус» высокая – 0,48, 0,50, 1,00 и 1,44 баллов соответственно (max 0,50, 0,50, 1,00 и 1,50 баллов соответственно).

Консистенция полуфабриката из ядер кедрового ореха пюреобразная, текучая. Полуфабрикат на момент выработки по данному показателю получил максимальные 1,50 балла. В структуре полуфабриката из ядер кедрового ореха (рис. 2) видны округлые образования жира, диаметр которых находится в пределах 10–15 мкм. Согласно данным таблицы 1 в исследуемом полуфабрикате содержалось не менее 22,0 % жира.

Оригинальные органолептические характеристики полуфабриката из ядер кедрового ореха обусловлены содержащимися в нем пищевыми веществами. Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что основные нутриенты (белки, жиры, сахара, клетчатка, минеральные вещества), обуславливающие химический состав ядер кедрового ореха, практически полностью переходят в полуфабрикат. Незначительные



Рисунок 1. Полуфабрикат из ядра кедрового ореха
Figure 1. Semi-finished product from Pinus sibirica nut kernels

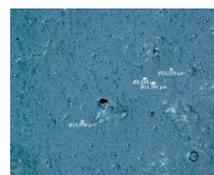


Рисунок 2. Микроструктура полуфабриката из ядра кедрового ореха
Figure 2. Microstructure of the semi-finished product from Pinus sibirica nut kernels

Таблица 1. Химический состав ядра кедрового ореха и полуфабриката из него (n = 3)

Table 1. Chemical composition of the *Pinus sibirica* nut kernels and semi-finished product from it (n = 3)

Показатель	Ядро	Полуфабрикат
Массовая доля влаги, %	6,90 ± 0,40	61,20 ± 0,60
Массовая доля белка, %	18,60 ± 0,30	7,40 ± 0,10
Массовая доля жира, %	56,60 ± 0,70	22,60 ± 0,60
Массовая доля сахаров, %	3,60 ± 0,40	1,40 ± 0,10
Массовая доля клетчатки, %	3,50 ± 0,30	1,40 ± 0,10
Массовая доля золы, нерастворимой в растворе соляной кислоты с массовой долей 10 %, %	2,44 ± 0,24	1,03 ± 0,10
Активная кислотность, ед. рН	6,50 ± 0,10	6,50 ± 0,10

Таблица 2. Микробиологические показатели ядра кедрового ореха и полуфабриката из него

Table 2. Microbiological indicators of the *Pinus sibirica* nut kernels and semi-finished product from it

Показатель	Ядро	Полуфабрикат
Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г	6,04×10 ⁴	6,39×10
Бактерии группы кишечных палочек, ед./0,01 г	Не обнаружены	Не обнаружены
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, ед./25 г	Не обнаружены	Не обнаружены
Плесени, КОЕ/г	9,54×10	Нет роста
Дрожжи, КОЕ/г	5,9×10	0,91×10



Рисунок 3. Органолептическая оценка полуфабриката из ядер кедрового ореха в процессе хранения

Figure 3. Sensory evaluation of the semi-finished product from *Pinus sibirica* nut kernels

отклонения в их содержании находятся в пределах ошибки опыта. Сухие вещества полуфабриката из ядер кедрового ореха содержат не менее 7,2 % белков, 1,3 % сахаров и клетчатки, 0,93 % золы (нерастворимой в растворе соляной кислоты с массовой долей 10 %). Изменений в значениях активной кислотности в результате механоакустической обработки не выявлено.

Семена сосны кедровой сибирской могут быть загрязнены микроорганизмами в процессе заготовки, переработки, транспортировки, хранения и т. д. При тестировании микробиоты ядер кедрового ореха установлено количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, а также обнаружены неспорообразующие бактерии группы кишечных палочек и микроорганизмы порчи (плесневые грибы и дрожжи). Не выявлены патогенные микроорганизмы рода *Salmonella* (табл. 2).

Процесс кавитации, возникающий при механоакустической обработке полуфабриката из ядер кедрового ореха, вызывает снижение на три порядка количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, более чем в 6 раз – присутствие дрожжей. После механоакустической обработки полуфабриката из ядер кедрового ореха не выявлены неспорообразующие бактерии группы кишечных палочек, бактерии рода *Salmonella* и плесневые грибы.

Полуфабрикаты из ядер кедрового ореха могут быть использованы при изготовлении различных продуктов питания предприятиями, обладающими техническими возможностями. Были проведены исследования по установлению сроков годности разработанного полуфабриката из ядер кедрового ореха при различных температурных режимах хранения: 2–6 и –18–22 °С. На рисунках 3–7 и таблицах 3–5 представлены результаты изменений органолептических, химических и микробиологических показателей полуфабриката из ядер кедрового ореха в процессе хранения.



Рисунок 4. Полуфабрикат из ядра кедрового ореха после 14 суток хранения

Figure 4. Semi-finished product from *Pinus sibirica* nut kernels on storage day 14



Рисунок 6. Полуфабрикат из ядра кедрового ореха после 24 месяцев хранения

Figure 6. Semi-finished product from *Pinus sibirica* nut kernels after 24 months of storage



Рисунок 5. Микроструктура полуфабриката из ядра кедрового ореха после 14 суток хранения

Figure 5. Microstructure of the semi-finished product from *Pinus sibirica* nut kernels on storage day 14



Рисунок 7. Микроструктура полуфабриката из ядра кедрового ореха после 24 месяцев хранения

Figure 7. Microstructure of the semi-finished product from *Pinus sibirica* nut kernels after 24 months of storage

Из данных рисунков 1, 3 и 4 видно, что на протяжении первой недели хранения полуфабриката из ядер кедрового ореха органолептические показатели практически не изменились. В течение следующей недели хранения отмечены изменения консистенции (некоторая тягучесть), запаха и вкуса (потеря гармоничности и насыщенности): оценка снизилась с 1,44 до 1,20 баллов, с 0,8 до 0,6 баллов, с 1,14 до 0,84 баллов соответственно. Через 14 суток хранения показатели «внешний вид» и «цвет» потеряли всего по 0,04 балла. По истечении 19 суток хранения внешний вид и цвет полуфабриката потеряли однородность и привлекательность – скидка составила 0,02 и 0,04 баллов соответственно. Консистенция стала излишне тягучей, появилась крупитчатость – скидка составила 0,12 балла. Запах стал пустым с легкими оттенками кислоты – скидка составила 0,20 баллов. Вкус стал несбалансированным, а в послевкусии обнаружены тона прогорклости – скидка составила 0,30 баллов. Категории качества полуфабриката из ядер кедрового ореха в процессе исследуемого периода хранения изменялись следующим образом: «отличная» – на момент изготовления и через 7 суток хранения (4,92 и 4,32 балла соответственно); «хорошая» – через 2 недели хранения (3,50 баллов); «удовлетворительная» – через 19 суток хранения (2,82 балла).

Микроструктура полуфабриката из ядер кедрового ореха после 14 суток хранения характеризовалась наличием частиц размерами 10–25 мкм, а также округлых пространств, достигающих 125 мкм

(рис. 5), которые могут представлять собой объединенные капли жира, чего не было в полуфабрикате после изготовления (рис. 2). В структуре полуфабриката из ядер кедрового ореха по истечении 14 суток хранения заметна тенденция к укрупнению частиц, что может быть обусловлено их агрегацией и/или набуханием.

Данные таблицы 3 и рисунка 6 свидетельствуют о том, что внешний вид и цвет полуфабриката из ядер кедрового ореха в замороженном состоянии теряли свою привлекательность: смерзшаяся однородная светло-кремовая масса с ровной гладкой поверхностью. Скидка к 28 месяцу хранения при температуре –18–22 °С составила 0,04 балла, по сравнению с началом хранения, из-за незначительных повреждений поверхности и изменений однородности окраски. В размороженном состоянии внешний вид полуфабриката через 12 месяцев хранения практически не отличался от первоначального, представляя собой однородную массу – скидка составила 0,02 балла. Отмечены изменения внешнего вида полуфабриката из ядер кедрового ореха в размороженном состоянии: появлялось незначительное отслаивание жидкости через 24 месяца хранения, усиливающееся через 28 месяцев (скидка составила 0,04 и 0,12 баллов соответственно). Цвет размороженного полуфабриката в процессе хранения стал менее привлекательным и однородным – скидка через 12, 24 и 28 месяцев составила 0,02, 0,04 и 0,10 баллов соответственно. Консистенция размороженного полуфабриката из ядер кедрового

Таблица 3. Органолептическая оценка полуфабриката из ядер кедрового ореха в процессе хранения при температуре –18–22 °С, балл (n = 5)

Table 3. Sensory evaluation of the semi-finished product from *Pinus sibirica* nut kernels during storage at of –18–22°C, points (n = 5)

Срок хранения, месяц	Показатели полуфабриката из ядер кедрового ореха						
	Замороженного		Размороженного				
	Внешний вид	Цвет	Внешний вид	Цвет	Консистенция	Запах	Вкус
0	0,46 ± 0,05	0,48 ± 0,04	0,44 ± 0,05	0,46 ± 0,05	1,44 ± 0,12	1,00 ± 0,00	1,44 ± 0,12
12	0,46 ± 0,05	0,48 ± 0,04	0,42 ± 0,04	0,44 ± 0,05	1,32 ± 0,15	0,96 ± 0,08	1,32 ± 0,15
24	0,44 ± 0,05	0,46 ± 0,05	0,40 ± 0,00	0,42 ± 0,04	1,14 ± 0,12	0,84 ± 0,08	1,20 ± 0,00
28	0,42 ± 0,04	0,44 ± 0,05	0,32 ± 0,04	0,36 ± 0,05	0,84 ± 0,12	0,68 ± 0,10	1,02 ± 0,15

Таблица 4. Химический состав полуфабриката из ядер кедрового ореха в процессе хранения

Table 4. Chemical composition of the semi-finished product from *Pinus sibirica* nut kernels during storage

Срок хранения	Массовая доля, %						Активная кислотность, ед. рН
	Влаги	Белка	Жиры	Сахаров	Клетчатки	Зола, нерастворимой в растворе соляной кислоты с массовой долей 10 %	
Хранение при 2–6 °С							
7 суток	60,6 ± 0,4	7,6 ± 0,1	23,0 ± 0,5	1,5 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,03 ± 0,10	6,5 ± 0,1
14 суток	59,8 ± 0,5	7,7 ± 0,1	23,5 ± 0,7	1,6 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,04 ± 0,11	6,3 ± 0,1
19 суток	59,1 ± 0,6	7,8 ± 0,1	24,0 ± 0,5	1,7 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,05 ± 0,11	6,1 ± 0,1
Хранение при –18–22 °С							
12 месяцев	60,4 ± 0,5	7,6 ± 0,1	23,1 ± 0,4	1,6 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,04 ± 0,11	6,4 ± 0,1
24 месяца	59,6 ± 0,5	7,7 ± 0,1	23,6 ± 0,4	1,9 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,04 ± 0,10	6,2 ± 0,1
28 месяцев	58,9 ± 0,4	7,8 ± 0,1	24,2 ± 0,6	2,4 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,06 ± 0,10	6,0 ± 0,1

ореха в процессе хранения также претерпевала изменения. Она стала более густой, но сохранила свою текучесть, а также появлялась крупитчатость – через 12, 4 и 28 месяцев хранения скидка составила 0,12, 0,30 и 0,60 баллов соответственно. В процессе хранения происходили изменения запаха полуфабриката: он терял свою сбалансированность и становился пустым, а в конце хранения появлялись оттенки прогорклости – скидка через 12, 24 и 28 месяцев составила 0,04, 0,16 и 0,32 баллов соответственно. Вкус полуфабриката из ядер кедрового ореха в процессе хранения терял сбалансированность, а также появлялись ощущение излишней сладости и привкус кислоты с тонами «прогорклого жира» в послевкусии – через 12, 24 и 28 месяцев хранения скидка составила 0,12, 0,24 и 0,42 баллов соответственно.

Микроструктура размороженного полуфабриката из ядер кедрового ореха после 24 месяцев хранения в замороженном состоянии (рис. 7) показывает, что в процессе хранения или размораживания происходило объединение капель жира. В результате этого обнаружены растекшиеся округлые образования диаметром до 200 мкм и округлые частицы ядер размерами 10–30 мкм, что продолжило тенденцию, выявленную при анализе рисунков 2 и 5. Кристаллы льда могли оказать повреждающее

действие на оболочки капель жира и способствовать интенсификации их агрегации при размораживании.

В результате проведенных исследований установлено, что в процессе хранения полуфабриката из ядер кедрового ореха при температуре 2–6 °С увеличивалось количество сухих веществ: в первые 7 суток на 1,6 %, в последующую неделю еще на 2,1 %, в следующие 4 суток еще на 1,8 %. Количественное изменение сухих веществ в первую неделю хранения обусловлено увеличением на 1,1 % белков, 0,2 % жиров, 5,5 % сахаров и клетчатки. Однако количество минеральных веществ уменьшилось на 1,6 %. Аналогичную тенденцию отмечали в последующие 12 суток хранения по отношению к жирам, сахарам и минеральным веществам. Количество белка и клетчатки в данный период снизилось через 14 суток хранения на 0,7 и 2,1 % соответственно, еще через 4 суток на 0,4 и 1,8 %. Активная кислотность в процессе хранения при температуре 2–6 °С уменьшалась с 7 по 14 сутки и с 14 по 19 на 0,2 ед. рН соответственно (табл. 4).

Аналогичная тенденция в отношении изменений сухих веществ, в том числе белков, жиров, сахаров, клетчатки и золы, отмечена в отношении полуфабриката из ядер кедрового ореха, хранение которого осуществлялось при температуре –18–22 °С (табл. 4). Количество сухих веществ через 12, 24 и

Таблица 5. Микробиологические показатели полуфабриката из ядер кедрового ореха в процессе хранения

Table 5. Microbiological indicators of the semi-finished product from *Pinus sibirica* nut kernels during storage

Срок хранения	Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г	Бактерии группы кишечных палочек	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы	Плесени, КОЕ/г	Дрожжи, КОЕ/г
Требования ТР ТС 021/2011	Не более 5×10^4	Не допускаются в 0,01 г продукта	Не допускаются в 25 г продукта	Не более 50	Не более 100
Хранение при 2–6 °С					
7 суток	$2,41 \times 10^2$	Не обнаружены	Не обнаружены	Нет роста	$3,18 \times 10$
14 суток	$6,81 \times 10^4$	Не обнаружены	Не обнаружены	$0,91 \times 10$	$1,77 \times 10^2$
19 суток	$1,09 \times 10^5$	Обнаружены	Не обнаружены	$3,18 \times 10$	$3,96 \times 10^2$
Хранение при –18–22 °С					
12 месяцев	$4,09 \times 10$	Не обнаружены	Не обнаружены	Нет роста	Нет роста
24 месяца	$1,27 \times 10$	Не обнаружены	Не обнаружены	Нет роста	Нет роста
28 месяцев	Нет роста	Не обнаружены	Не обнаружены	Нет роста	Нет роста

28 месяцев хранения увеличилось на 2,1, 4,1 и 6,7 % соответственно. В первые 12 месяцев хранения содержание белков и клетчатки увеличилось на 0,6 и 5,0 %, в следующие 12 месяцев оно уменьшилось еще на 0,7 и 2,1 %, а еще через 4 месяца на 1,1 и 2,5 % соответственно. Содержание жиров и сахаров через 12 месяцев хранения увеличилось на 0,2 и 12,0 %, через 24 месяца еще на 0,1 и 18,3 %, еще через 4 месяца на 0,1 и 30,4 % соответственно. Сохранность минеральных веществ в первые 12 месяцев хранения составила 98,9 %, в последующие 12 месяцев – 97,0 %, через 28 месяцев – 96,5 %. При хранении в замороженном состоянии полуфабриката из ядер кедрового ореха активная кислотность снижалась через 12 месяцев хранения на 0,1 ед. рН, еще через 12 месяцев на 0,2 ед. рН. К концу исследуемого срока хранения она составила 6,0 ед. рН.

Остаточная микробиота полученного полуфабриката из ядер кедрового ореха и ее дальнейшее развитие в процессе хранения связана с факторами, оказывающими наиболее заметное влияние. К ним относятся влажность, температура, кислотность среды и др. В охлажденных пищевых продуктах развитие микроорганизмов замедляется, но не прекращается. В этот период большинство микроорганизмов впадает в состояние анабиоза («скрытой жизни»), сохраняя свою жизнеспособность, и при благоприятных условиях продолжает свое развитие. Наличие влаги и относительно приемлемой температуры в продукте, поддерживающей обмен веществ для нормального осмотического давления в микробной клетке, способствует жизнедеятельности некоторых видов мезофильных и психрофильных видов микроорганизмов.

На 7 суток хранения при температуре 2–6 °С в микробиоте полуфабриката из ядер кедрового ореха произошло повышение на порядок содержания ме-

зофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, более чем в 3 раза увеличилось присутствие дрожжей (табл. 5). Не выявлены неспорообразующие бактерии группы кишечных палочек, патогенные бактерии рода *Salmonella* и микроорганизмы порчи – плесневые грибы. На 14 суток хранения полуфабриката из ядер кедрового ореха присутствие мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов увеличилось на 2 порядка и составило $6,81 \times 10^4$ КОЕ/г, на порядок произошло увеличение дрожжей, выявлены плесневые грибы. Развитие дрожжей сопровождалось увеличением кислотности среды, которая, с одной стороны, препятствовала развитию гнилостных бактерий, т. к. для большинства из них наиболее благоприятна нейтральная или слабощелочная среда, а с другой – являлась эссенциальным элементом для развития плесневых грибов. На 19 суток хранения количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов увеличилось на порядок, были обнаружены бактерии группы кишечных палочек, в 2 раза увеличилась численность дрожжей и в 3,5 раза численность плесневых грибов. Это превышало допустимые требования перечисленных микроорганизмов и не отвечало безопасности использования продукта.

При замораживании пищевой продукции большая часть воды переходит в твердое состояние (лед), что повышает концентрацию растворенных веществ в микробной клетке и вызывает повышение осмотического давления. Таким образом, причиной гибели микроорганизмов при замораживании является нарушение обмена веществ в клетке. Замораживание приводит к быстрому отмиранию значительной части микроорганизмов, но не всех, а также сохраняется много микроорганизмов – психрофилов, которые замедляют свое развитие. После 12 месяцев хранения при температуре –18–22 °С

в микробиоте полуфабриката из ядер кедрового ореха наблюдали снижение в 1,5 раза санитарно-значимого показателя безопасности использования (количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов), не выявлены неспорообразующие бактерии группы кишечных палочек и патогенные бактерии рода *Salmonella*, а также микроорганизмы порчи (плесневые грибы и дрожжи). Дальнейшее тестирование микробиоты по установленным срокам хранения показало снижение присутствия микроорганизмов через 24 месяца до полной гибели через 28 месяцев.

Выводы

На основании проведенных исследований характеристик качества (органолептических, физико-химических и микробиологических) полуфабриката из ядер кедрового ореха установлено, что:

– для изготовления целесообразно использовать механоакустический гомогенизатор, который позволяет сократить количество технологических операций (измельчение, гомогенизацию, дезодорацию и пастеризацию с эффектом стерилизации) и получить полуфабрикат, отличающийся оригинальными органолептическими характеристиками и высокой пищевой ценностью и отвечающий микробиологической безопасности использования;

– срок годности в упаковке из полипропилена при температуре 2–6 °С составляет 14 суток, –18–22 °С – 24 месяца.

Полуфабрикат из ядер кедрового ореха, полученный с использованием механоакустического гомогенизатора, может быть использован для изготовления различной пищевой продукции (кондитерских и хлебобулочных изделий, молочных и мясных продуктов и пр.), в том числе для здорового питания.

Критерии авторства

В. Б. Мазалевский руководил работой. Все авторы принимали участие в исследованиях, обработке данных и написании текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

V.B. Mazalevskiy supervised the research. All the authors took equal parts in research, data processing, and writing.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Goroshkevich SN. Weather conditionality of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) seeding. Russian Forestry Journal. 2021;380(2):56–69. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2021-2-56-69>
2. Sedel'nikova TS, Pimenov AV, Wang X. More Siberian stone pine forests: Development of Russian-Chinese cooperation in study *Pinus sibirica* Du Tour. Siberian Journal of Forest Science. 2018;(2):81–86. (In Russ.). [Седельникова Т. С., Пименов А. В., Ван С. Больше кедровых лесов: развитие российско-китайского сотрудничества по исследованию *Pinus sibirica* Du Tour // Сибирский лесной журнал. 2018. № 2. С. 81–86.].
3. Debkov N. Accelerated formation of Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour) stands: A case study from Siberia. Journal of Forest Science. 2019;65(8):291–300. <https://doi.org/10.17221/48/2019-JFS>
4. Egorova EYu, Mitrofanov RYu, Bakhtin GYu. Carbohydrates, minerals, and fats of the amniotic membrane of cedar-pine nuts. Chemistry of Plant Raw Materials. 2006;(3):33–37. (In Russ.). [Егорова Е. Ю., Митрофанов Р. Ю., Бахтин Г. Ю. Состав углеводов, минеральных элементов и жиров околоплодной оболочки кедрового ореха // Химия растительного сырья. 2006. № 3. С. 33–37.].
5. Zabrodina SV, Goncharov DA, Efremov AA. Scientific approaches to the complex processing of non-wood products of Siberian cedar pine. Bulletin of KSAU. 2006;(10):318–327. (In Russ.). [Забродина С. В., Гончаров Д. А., Ефремов А. А. Научные подходы к комплексной переработке недревесной продукции сосны сибирской (кедра) // Вестник КрасГАУ. 2006. № 10. С. 318–327.].
6. Khanturgaev AG, Khamagaeva IS, Kotova TI. Studying quality characteristics of functional food bioproducts using secondary raw materials of pine nut processing. ESSUTM Bulletin. 2019;73(2):20–28. (In Russ.). [Хантургаев А. Г., Хамагаева И. С., Котова Т. И. Изучение качественных характеристик биопродуктов функционального питания с использованием вторичного сырья переработки кедрового ореха // Вестник ВСГУТУ. 2019. Т. 73. № 2. С. 20–28.].
7. Rogachev AD, Salakhutdinov NF. Chemical composition of *Pinus sibirica* (Pinaceae). Chemistry and Biodiversity. 2015;12(1):1–53. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201300195>
8. Zhang H, Zhang Z. Advances in edible pine nut trees (*Pinus* spp.) breeding strategies. In: Al-Khayri JM, Jain SM, Johnson DV, editors. Advances in plant breeding strategies: Nut and beverage crops. Cham: Springer; 2019. pp. 301–351. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23112-5_9

9. Efremov AA, Zykova ID, Senashova VA, Grodnitskaya ID, Pashenova NV. Antimicrobial and antiradical activities of individual fractions of *Pinus sibirica* Du Tour and *Abies sibirica* Ledeb. growing in Siberia. Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2021;47(7):1439–1444. <https://doi.org/10.1134/S1068162021070062>
10. Prosekov AYu, Dyshlyuk LS, Milent'eva IS, Pavsky VA, Ivanova SA, Garmashov SYu. Study of the biofunctional properties of cedar pine oil with the use of in vitro testing cultures. Foods and Raw Materials. 2018;6(1):136–143. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-136-143>
11. Carrión-Prieto P, Martín-Gil J, Fernández-Coppel IA, Ruis-Potosme NM, Martín-Ramos P. Physico-chemical studies of Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour) derived chewing gum. Trends in Phytochemical Research. 2018;2(2):119–124.
12. Nekrasova YuO, Mezenova OYa, Myorzel' Y-T, Kyun S. Biopotential of seeds of Siberian cedar pine and its changes during storage. KSTU News. 2020;(56):119–130. (In Russ.) [Биопотенциал семян кедровой сосны сибирской и его изменения в процессе хранения / Ю. О. Некрасова [и др.] // Известия КГТУ. 2020. № 56. С. 119–130.].
13. Babich OO, Milent'eva IS, Ivanova SA, Pavskaya VA, Kashirskikh EV, Yang Y. The potential of pine nut as a component of sport nutrition. Foods and Raw Materials. 2017;5(2):170–177. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-170-177>
14. Matveeva RN, Bratilova NP, Butorova OF, Karpukhina IV, Shcherba YuE. Variability of Siberian stone pine in terms of yield and amino acid profile. Conifers of the Boreal Area. 2016;34(1–2):69–71. (In Russ.). [Изменчивость сосны кедровой сибирской по урожайности и содержанию в семенах аминокислот / Р. Н. Матвеева [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2016. Т. 34. № 1–2. С. 69–71.].
15. Matveeva RN, Bratilova NP, Kubrina SM, Shcherba YuE. Concentration of trace elements in seeds and needles of Siberian pine of various geographic origin. Russian Journal of Forest Science. 2019;(6):567–572. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0024114819060056>
16. Subbotina MA, Dolgolyuk IV. Study of composition and biological value of pinon kernel of Siberian pine. Foods and Raw Materials. 2015;3(1):56–61. <https://doi.org/10.12737/11238>
17. Dyshluk LS, Sukhikh SA, Ivanova SA, Smirnova IA, Subbotina MA, Pozdnyakova AV, et al. Prospects for using pine nut products in the dairy industry. Foods and Raw Materials. 2018;6(2):264–280. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-2-264-280>
18. Idyryshev BA, Nurgazezova AN, Rebezov MB, Kasymov SK, Miftakhutdinov AV, Atambaeva ZhM. Qualitative indicators of a semi-finished product of chopped meat-containing pine nuts with cake (*Pinus sibirica* seeds). Agro-Industrial Complex of Russia. 2022;29(1):83–89. (In Russ.). [Качественные показатели полуфабриката рубленого мясосодержащего со жмыхом кедрового ореха (семян *Pinus sibirica*) / Б. А. Идырышев [и др.] // АПК России. 2022. Т. 29. № 1. С. 83–89.].
19. Avanesyan EI, Motovilov OK, Nitsievskaya KN. The technology development of paste-like concentrate on the basis of the cedar nut-kernels. Bulletin of KSAU. 2014;95(8):210–213. (In Russ.). [Аванесян Е. И., Мотовилов О. К., Нициевская К. Н. Разработка технологии пастообразного концентрата на основе ядра кедрового ореха // Вестник КрасГАУ. 2014. Т. 95. № 8. С. 210–213.].
20. Mazalevskiy VB, Nitsievskaya KN, Motovilov AK. Developing foodstuffs from pine nut kernels. Siberian Herald of Agricultural Science. 2015;247(6):76–81. (In Russ.). [Мазалевский В. Б., Нициевская К. Н., Мотовилов О. К. Методические подходы к созданию продуктов из ядра кедрового ореха // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015. Т. 247. № 6. С. 76–81.].
21. Glebova SYu, Golub OV, Zavorokhina NV. Development of a scoring scale for the organoleptic evaluation of the quality of vegetable sauces. Food Industry. 2018;(2):20–23. (In Russ.). [Глебова С. Ю., Голуб О. В., Заворохина Н. В. Разработка балльной шкалы органолептической оценки качества овощных соусов // Пищевая промышленность. 2018. № 2. С. 20–23.].

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2397>
<https://elibrary.ru/OPCEBK>

Оригинальная статья
<https://fppt.ru>

Пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры: урожайность и жирнокислотный состав семян



Т. В. Сачивко^{1,*}, Е. В. Феськова²,
Н. А. Коваленко², Г. Н. Супиченко², В. Н. Босак¹

¹ Белорусская государственная сельскохозяйственная академия^{ROR}, Горки, Республика Беларусь

² Белорусский государственный технологический университет^{ROR}, Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию: 22.02.2022
Принята после рецензирования: 11.06.2022
Принята к публикации: 05.07.2022

*Т. В. Сачивко: sachyuka@rambler.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-9707-8215>
Е. В. Феськова: <https://orcid.org/0000-0002-4798-6925>
Н. А. Коваленко: <https://orcid.org/0000-0001-7692-1664>
Г. Н. Супиченко: <https://orcid.org/0000-0003-4798-1267>
В. Н. Босак: <https://orcid.org/0000-0001-7197-2315>

© Т. В. Сачивко, Е. В. Феськова,
Н. А. Коваленко, Г. Н. Супиченко, В. Н. Босак, 2022



Аннотация.

Товарная продукция (зеленая масса, семена, эфирные масла) пряно-ароматических и эфирно-масличных культур находит применение в пищевой промышленности, традиционной и народной медицине, фармацевтике и парфюмерии, а также в декоративном садоводстве. Цель исследования заключалась в изучении урожайности новых сортов пряно-ароматических и эфирно-масличных культур и жирнокислотного состава их семян.

Объектами исследования являлись новые районированные сорта: иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.), душица обыкновенная (*Origanum vulgare* L.), базилик обыкновенный (*Ocimum basilicum* L.), базилик тонкоцветный (*Ocimum tenuiflorum* L.), лук душистый (*Allium odorum* L.), рута душистая (*Ruta graveolens* L.), пажитник голубой (*Trigonella caerulea* (L.) Ser.) и герань крупнокорневищная (*Geranium macrorrhizum* L.). Урожайность зеленой массы и семян изучали в полевых условиях на опытном поле Белорусской государственной сельскохозяйственной академии согласно общепринятым методикам. В лабораторных экспериментах содержание сырого жира в продукции исследовали по стандартной методике, жирнокислотный состав липидов семян в экстрактах метиловых эфиров жирных кислот – методом газовой хроматографии.

В результате проведения полевых и лабораторных исследований установлено, что урожайность зеленой массы изучаемых культур составила 150–280 ц/га, семян – 0,5–4,0 ц/га при содержании сырого жира 1,15–3,37 и 1,62–9,81 % соответственно. Изучение жирнокислотного состава липидов семян показало наличие в них каприловой, пальмитиновой, стеариновой, олеиновой, линолевой и α -линоленовой кислот. Наибольшее содержание полиненасыщенных незаменимых жирных кислот (линолевая и α -линоленовая) отмечено у душицы обыкновенной (86,74–87,27 %), иссопа лекарственного (76,41–85,96 %), базилика тонкоцветного (85,67 %), базилика обыкновенного (72,52–80,72 %), руты душистой (78,04 %) и пажитника голубого (72,96 %).

Полученные результаты по урожайности товарной продукции и жирнокислотному составу семян позволяют более полно оценить пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры с перспективой их использования в различных отраслях экономики, прежде всего при разработке продуктов функционального назначения.

Ключевые слова. Растительное сырье, эфирные масла, липиды, жирнокислотный состав, омега-3, омега-6

Для цитирования: Пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры: урожайность и жирнокислотный состав семян / Т. В. Сачивко [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 675–684. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2397>

Spices, Herbs, and Essential-Oil Plants: Yield and Fatty Acid Composition of Seeds



Tatsiana V. Sachyuka^{1,*}, Alena V. Feskova²,
Natallia A. Kovalenko², Galina N. Supichenko², Viktor N. Bosak¹

¹ Belarusian State Agricultural Academy^{ROR}, Gorki, Republic of Belarus

² Belarusian State Technological University^{ROR}, Minsk, Republic of Belarus

Received: 22.02.2022
Revised: 11.06.2022
Accepted: 05.07.2022

*Tatsiana V. Sachyuka: sachyuka@rambler.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-9707-8215>

Alena V. Feskova: <https://orcid.org/0000-0002-4798-6925>

Natallia A. Kovalenko: <https://orcid.org/0000-0001-7692-1664>

Galina N. Supichenko: <https://orcid.org/0000-0003-4798-1267>

Viktor N. Bosak: <https://orcid.org/0000-0001-7197-2315>

© T.V. Sachyuka, A.V. Feskova, N.A. Kovalenko,
G.N. Supichenko, V.N. Bosak, 2022



Abstract.

Spices, herbs, and essential-oil plants provide a lot of marketable products, e.g., green mash, seeds, essential oils, etc. These raw materials find application in food industry, pharmacy, perfumery, traditional and folk medicine, landscape gardening, etc. The research objective was to test some new varieties of spices, aromatic herbs, and essential oil crops for their yield and fatty acid composition.

The study featured new varieties of medicinal hyssop (*Hyssopus officinalis* L.), oregano (*Origanum vulgare* L.), basil (*Ocimum basilicum* L.), tulsi (*Ocimum tenuiflorum* L.), garlic chives (*Allium odorum* L.), rue (*Ruta graveolens* L.), blue fenugreek (*Trigonella caerulea* (L.) Ser.), and big-root geranium (*Geranium macrorrhizum* L.). The yield of green mass and seeds was studied on the experimental field of the Belarusian State Agricultural Academy according to standard methods. A set of standard laboratory procedures made it possible to define the content of crude fat, while the fatty acid composition of seed lipids was studied by gas chromatography in extracts of methyl esters of fatty acids.

The green mass yield was 150–280 c/ha, whereas the seed yield was 0.5–4.0 c/ha; the crude fat content was 1.15–3.37 and 1.62–9.81%, respectively. The fatty acid composition of seed lipids included caprylic, palmitic, stearic, oleic, linoleic, and α -linolenic acids. The highest content of polyunsaturated essential fatty acids represented by linoleic and α -linolenic acids was observed in oregano (86.74–87.27%), hyssop (76.41–85.96%), tulsi (85.67%), basil (72.52–80.72%), rue (78.04%), and blue fenugreek (72.96%).

The specified yield and fatty acid composition provided a complete assessment of spices, herbs, and essential-oil plants with the prospect of their use as part of new functional products.

Keywords. Plant raw materials, essential oils, lipids, fatty acid composition, omega-3, omega-6

For citation: Sachyuka TV, Feskova AV, Kovalenko NA, Supichenko GN, Bosak VN. Spices, Herbs, and Essential-Oil Plants: Yield and Fatty Acid Composition of Seeds. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):675–684. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2397>

Введение

В биоценозах выявлено более чем 3000 растений, обладающих пряно-ароматическими и эфирно-масличными свойствами, из которых в мировом земледелии используется около 100 [1–3].

Возделывание пряно-ароматических и эфирно-масличных культур имеет определенное значение для различных отраслей экономики Республики Беларусь. Пряности широко применяются в промышленности (пищевая, парфюмерно-косметическая, табачная,

лакокрасочная, текстильная, мыловаренная, фармацевтическая, ликеро-водочная), сельском хозяйстве (медоносы, декоративные и кормовые культуры, репелленты, пряно-вкусовые растения), медицине (фито- и ароматерапия, растительное лекарственное сырье), быту (пищевые добавки, консерванты, красители) и т. д. [1–6].

С развитием органического производства все более широкое применение находит продукция природного происхождения. В связи с этим повышается

потребность в растительном сырье эфирно-масличных, пряно-ароматических и лекарственных растений. Содержащиеся в пряностях макро- и микроэлементы, эфирные масла, гликозиды и биологически активные вещества улучшают органолептические и кулинарные качества продуктов, дают в различных сочетаниях с традиционными продуктами ароматическую и вкусовую гармонию, возбуждают деятельность вкусовых рецепторов и пищеварительных органов, вызывают аппетит, усиливают усвояемость традиционных пищевых продуктов и благоприятно влияют на обмен веществ, деятельность нервной и сердечно-сосудистой систем, а также на общее психофизическое состояние человека. Многие пряно-ароматические и эфирно-масличные растения включены в современную фармакопею. Пряности являются хорошими консервантами, т. к. обладают сильным бактерицидным действием [7–14].

Наряду с традиционными для Республики Беларусь видами пряно-ароматических и эфирно-масличных культур (укроп, петрушка, сельдерей, мята и др.) существует немало перспективных, малораспространенных и нетрадиционных растений, которые могут разнообразить сферу своего применения. В условиях Республики Беларусь к ним можно отнести иссоп лекарственный (*Hyssopus officinalis* L.), душицу обыкновенную (*Origanum vulgare* L.), базилик обыкновенный (*Ocimum basilicum* L.), базилик тонкоцветный (*Ocimum tenuiflorum* L.), лук душистый (*Allium odorum* L.), руту душистую (*Ruta graveolens* L.), пажитник голубой (*Trigonella caerulea* (L.) Ser.), герань крупнокорневищную (*Geranium macrorrhizum* L.) и др. [1, 3].

Иссоп лекарственный (*H. officinalis* L.) применяют в традиционной и народной медицине (противовоспалительное, антимикробное, противоопухолевое, гепатопротекторное и иммуностимулирующее действия), фармацевтической, парфюмерной, косметической, пищевой и ликероводочной промышленности (эфирные масла), кулинарии и декоративном садоводстве. Эфирные масла данного растения используют в качестве фунгицидных и инсектицидных препаратов. Иссоп лекарственный является хорошим нектароносом: отличается обильным и продолжительным цветением и отличным нектаровыделением, активно посещается пчелами, обладает высокой морозоустойчивостью и способностью расти на одном месте до 8–10 лет [1–3, 7, 10].

У душицы обыкновенной (*O. vulgare* L.) в пищу в качестве пряной приправы употребляют как свежие, так и сухие листья и соцветия. Сушеная или свежая трава (пряность орегано) хорошо сочетается с другими пряностями, в частности с черным перцем, базиликом, розмарином и майораном. В парфюмерно-косметической промышленности эфирные масла душицы обыкновенной используют для ароматиза-

ции туалетного мыла, одеколонов, зубных паст и помад. Душица и ее эфирные масла используются в традиционной и народной медицине в составе грудных, потогонных и ветрогонных сборов, при простудных и других заболеваниях органов дыхания, в качестве противовоспалительного, отхаркивающего, стимулирующего и укрепляющего средства. Эфирные масла применяют при изготовлении ликеров и наливок, а также в пивоваренном производстве. Душицу выращивают как декоративное растение и как натуральный природный краситель. Она является хорошим нектароносом. Также ее добавляют в комбикорма для животных [1–3, 10, 11].

Базилик (*Ocimum* L.) относят к одной из наиболее перспективных эфирно-масличных и пряно-ароматических культур. Зеленая масса и эфирные масла базилика широко применяются в различных отраслях экономики: промышленности (пищевой, косметической, фармацевтической и др.), традиционной и народной медицине, декоративном садоводстве и т. д. [1–3, 9, 10, 1].

Лук душистый (*A. odorum* L.) используют в качестве пряной приправы, а также как декоративное растение. В пищу употребляют листья и соцветия, которые остаются сочными и нежными на протяжении всего вегетационного периода и обладают нежным слабощелочным привкусом. В свежем виде листья душистого лука используют в салатах и гарнирах, а также в качестве начинки для пирогов, пельменей, омлетов. Листья можно заготавливать впрок путем сушки, квашения или маринования. Присущий свежим листьям чесночный аромат сохраняется в переработанной продукции. Молодые цветоносные стебли (стрелки) солят и маринуют аналогично медвежьему луку (черемше). Высокие декоративные свойства душистого лука позволяют использовать его в декоративном озеленении [1, 3, 10].

Рута душистая (*R. graveolens* L.) используется в декоративном садоводстве, традиционной и народной медицине, а также в качестве перспективной пряно-ароматической культуры. Эфирное масло руты обладает сильным запахом и горьким вкусом. В кулинарии – это натуральный ароматизатор спиртных напитков, сыров и салатов. Надземную часть и листья растения применяют в качестве антиоксидантного, рассасывающего, антисептического, спазмолитического, мочегонного, заживляющего и тонизирующего средства. Установлен высокий потенциал применения рутового масла в качестве репеллента, контактного токсиканта и мощного фумиганта при борьбе с вредителями [1, 3, 10, 16–18].

Пажитник голубой (*T. caerulea* (L.) Ser.) принадлежит к перспективным лекарственным, эфирно-масличным и пряно-ароматическим растениям, листья и семена которого применяют в традиционной и народной медицине, а также используют в кулинарии и пищевой промышлен-

ности. Возделывание пажитника голубого, относящегося к бобовым культурам, обогащает почву симбиотически фиксированным азотом, который хорошо усваивается последующими культурами севооборота. Пажитник голубой является отличным медоносом. У данного растения в пищу используют семена, листья и нежные стебли, имеющие специфический пряногрибной аромат. Сушеные и измельченные листья и цветы применяют для ароматизации и окрашивания хлеба и сыра, семена – в хлебопечении и сыроделии [1, 3, 10, 19].

Герань крупнокорневищная (*G. macrorrhizum* L.) чаще всего используется в декоративном садоводстве, но ее можно отнести к перспективным пряно-ароматическим и лекарственным культурам. Надземная часть герани крупнокорневищной обладает сильным фруктовым ароматом землянично-ананасовых оттенков, что делает ее прекрасным ароматизатором для выпечки, фруктовых салатов и напитков. Свежие листья и корневища герани улучшают сердечную деятельность и стабилизируют нервную систему, обладают вяжущим и ранозаживляющим действием. Компоненты эфирных масел обладают широким спектром фармакологической активности, оказывают бактериостатическое, антисептическое, дезинфицирующее, противовирусное, антимикробное и фунгистатическое действия и применяются как вспомогательные вещества (корригенты вкуса и запаха фармацевтической продукции). Эфирное масло герани имеет антиаллергенные свойства, снимает напряжение и стресс, часто используется в ароматерапии. В период вспышек острых респираторных заболеваний рекомендуется обработка воздуха эфирным маслом герани, что приводит к снижению общей микробной обсемененности [1, 3, 10, 20, 21].

К основным качественным показателям пряно-ароматических и эфирно-масличных культур относятся содержание эфирных масел, их компонентный и энантиомерный состав, а также различные биохимические показатели [7–25].

Перспективным качественным критерием растительного сырья является его жирнокислотный состав, т. к. содержание и состав жирных кислот могут быть использованы для видовой и сортовой идентификации растений, а также для перспективного природного сырья в пищевой промышленности, медицине, фармакологии и ряде других отраслей экономики [26–35].

Цель исследования – изучение урожайности товарной продукции и жирнокислотного состава липидов семян новых районированных перспективных видов пряно-ароматических и эфирно-масличных растений.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили с новыми районированными сортами перспективных пряно-ароматических и эфирно-масличных культур в совместных полевых и лабораторных опытах в учреждениях образования: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия и Белорусский государственный технологический университет. Изучали новые районированные сорта иссопа лекарственного (*Hyssopus officinalis* L.), душицы обыкновенной (*Origanum vulgare* L.), базилика обыкновенного (*Ocimum basilicum* L.), базилика тонкоцветного (*Ocimum tenuiflorum* L.), лука душистого (*Allium odorum* L.), руты душистой (*Ruta graveolens* L.), пажитника голубого (*Trigonella caerulea* (L.) Ser.) и герани крупнокорневищной (*Geranium macrorrhizum* L.) [1, 3, 10].

Сорта душицы обыкновенной Завіруха и Аксаміт, иссопа лекарственного Завей, базилика обыкновенного Магия, Настена и Володар, базилика тонкоцветного Источник, лука душистого Водар, руты душистой Смаляніца, пажитника голубого Росквіт и герани крупнокорневищной Танюша являются авторскими [1, 3, 36].

Полевые исследования с новыми районированными сортами пряно-ароматических и эфирно-масличных культур проводили на опытном поле УО БГСХА (г. Горки, Республика Беларусь) в условиях дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы, подстилаемой лессовидным суглинком ($\text{pH}_{\text{KCl}} - 6,5-6,8$, содержание P_2O_5 (0,2 М НСl) – 390–410 мг/кг, K_2O (0,2 М НСl) – 370–390 мг/кг почвы, гумуса (0,4 н $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_7$) – 2,9–3,1 % (индекс агрохимической окультуренности 1,0) согласно общепринятым методикам [3, 37, 38].

Массовую долю сырого жира определяли по ГОСТ 13496.15-2016. Количественное определение жирнокислотного состава липидов в семенах проводили по модифицированному методу Welch [39].

Навески изучаемых образцов помещали в стеклянные ампулы, приливали 1 см³ раствора 2 %-ной серной кислоты в метаноле с внутренним стандартом – маргариновой кислотой ($\text{C}_{17:0}$, 1,35 мг/см³). Ампулы запаивали на газовой горелке. Гидролиз триацилглицеридов с одновременным метилированием образующихся жирных кислот проводили при температуре 80 ± 1 °С в течение 4 ч. Затем ампулы охлаждали до комнатной температуры, вскрывали и экстрагировали метиловые эфиры жирных кислот гексаном (0,5 см³). Метиловые эфиры жирных кислот разделяли методом газовой хроматографии на приборе Agilent 7820A (Agilent Technologies, США), оснащенный пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой HP-Innowax 0,25 мм×30 м×0,25 мкм (полиэтиленгликоль). Анализ проводили при скорости потока гелия через колонку 1,36 мл/мин, температуре инжектора –

250 °С, детектора – 275 °С, колонки – 150 °С (1 мин). Затем температура колонки повышалась со скоростью 2,9 °С/мин до 250 °С и выдерживалась 3 мин. Объем анализируемой пробы – 1 мкл. Идентификацию метиловых эфиров жирных кислот проводили по времени удерживания при разделении стандартных смесей этих веществ (AccuStandart, США) и оценивали в процентах от весового суммарного содержания по отношению к внутреннему стандарту [39, 40].

Результаты и их обсуждение

В результате полевых и лабораторных исследований установлено, что урожайность товарной продукции и содержание в ней сырого жира зависели как от вида, так и от сорта изучаемых пряно-ароматических и эфирно-масличных культур (табл. 1).

Урожайность зеленой массы исследуемых пряно-ароматических и эфирно-масличных культур изменялась от 150 ц/га у пажитника голубого сорта Росквіт до 280 ц/га у базилика обыкновенного сорта Настена, семян – от 0,5 ц/га у различных сортов душицы обыкновенной до 4,0 ц/га у пажитника голубого сорта Росквіт.

Наибольшее содержание сырого жира (3,37 %) отмечено в зеленой массе базилика тонкоцветного сорта Источник, наименьшее (1,15 %) – в зеленой

массе иссопа лекарственного сорта Лазурит. В семенах максимальное содержание сырого жира (9,81 %) получено у базилика тонкоцветного сорта Источник при его минимальном содержании (1,62 %) у иссопа лекарственного сорта Лазурит.

Сортовые отличия оказали влияние на содержание сырого жира в зеленой массе и семенах изучаемых пряно-ароматических и эфирно-масличных культур.

У иссопа лекарственного наибольшее содержание сырого жира в зеленой массе и семенах (1,48 и 1,81 % соответственно) отмечено у сорта Завея с белой окраской венчика, у сорта Розоцветковый с розовой окраской венчика содержание сырого жира в зеленой массе оказалось 1,19 %, в семенах – 1,68 %, у сорта Лазурит с синей окраской венчика – 1,15 и 1,62 % соответственно.

У душицы обыкновенной наибольшее содержание сырого жира получено у сорта Аксаміт с пурпурной окраской венчика (зеленая масса – 1,70 %, семена – 3,05 %), у сорта Завіруха с белой окраской венчика содержание сырого жира в зеленой массе составило 1,63 %, в семенах – 3,91 %, у сорта Грета с розовой окраской венчика – 1,37 и 3,74 % соответственно.

У базилика обыкновенного максимальное содержание сырого жира отмечено у сорта Магия с антоциановой окраской растений (зеленая масса – 3,03 %, семена – 9,22 %), у зеленолистных сортов

Таблица 1. Средние показатели продуктивности новых сортов пряно-ароматических и эфирно-масличных культур

Table 1. Productivity indicators of the new varieties of spices, herbs, and essential oil crops

Сорт	Зеленая масса		Семена	
	Урожайность, ц/га	Сырой жир, %	Урожайность, ц/га	Сырой жир, %
Иссоп лекарственный (<i>Hyssopus officinalis</i> L.)				
Розоцветковый	165,0	1,19	1,5	1,68
Лазурит	155,0	1,15	1,5	1,62
Завея	155,0	1,48	1,5	1,81
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)				
Грета	185,0	1,37	0,5	3,74
Аксаміт	190,0	1,70	0,5	3,95
Завіруха	185,0	1,63	0,5	3,91
Базилик обыкновенный (<i>Ocimum basilicum</i> L.)				
Магия	250,0	3,03	2,0	9,22
Настена	280,0	2,84	2,3	9,10
Володар	210,0	2,91	2,2	8,81
Базилик тонкоцветный (<i>Ocimum tenuiflorum</i> L.)				
Источник	230,0	3,37	2,1	9,81
Лук душистый (<i>Allium odorum</i> L.)				
Водар	250,0	2,10	2,5	4,17
Рута душистая (<i>Ruta graveolens</i> L.)				
Смяляница	270,0	1,65	3,0	8,33
Пажитник голубой (<i>Trigonella caerulea</i> (L.) Ser.)				
Росквіт	150,0	2,21	4,0	2,49
Герань крупнокорневищная (<i>Geranium macrorrhizum</i> L.)				
Танюша	175,0	1,84	2,0	4,08
НСР ₀₅	9,40	0,10	0,09	0,24

(Володар – перечно-анисовый аромат, Настена – лимонный аромат) содержание сырого жира в зеленой массе составило 2,84–2,91 %, в семенах – 8,81–9,10 %.

Жирнокислотный состав липидов семян изучаемых сортов пряно-ароматических и эфирно-масличных культур варьировался в зависимости от видовых и сортовых отличий (табл. 2).

В липидах семян всех изучаемых пряно-ароматических и эфирно-масличных культур присутствовало 4 жирные кислоты: пальмитиновая ($C_{15}H_{31}COOH$) и стеариновая ($C_{17}H_{35}COOH$) (насыщенные), олеиновая ($C_{17}H_{33}COOH$) (мононенасыщенные) и линолевая ($C_{17}H_{31}COOH$) (полиненасыщенные). Наиболее ценными являются полиненасыщенные жирные кислоты (линолевая и α -линоленовая), которые в организме человека не синтезируются и относятся к незаменимым [41, 42].

В липидах семян иссопа лекарственного, душицы обыкновенной, руты душистой, пажитника голубого, базилика обыкновенного и базилика тонкоцветного присутствовала α -линоленовая кислота ($C_{17}H_{29}COOH$).

В липидах семян базилика обыкновенного и базилика тонкоцветного обнаружено небольшое количество (0,26–0,60 %) каприловой кислоты ($C_7H_{15}COOH$), которая относится к насыщенным жирным кислотам.

У душицы обыкновенной и пажитника голубого следует отметить наличие *cis* и *trans*-изомеров олеиновой кислоты с преобладанием *cis*-изомеров.

Наибольшее содержание линолевой кислоты обнаружено в липидах семян лука душистого (66,15 %) и герани крупнокорневищной (46,12 %). Однако у них отмечено отсутствие другой незаменимой жирной кислоты – α -линоленовой. Содержание линолевой кислоты в липидах семян пажитника голубого составило 43,99 %, руты душистой – 39,73 %, различных сортов душицы обыкновенной – 22,13–22,62 %, иссопа лекарственного – 18,46–22,18 %, базилика – 19,35–22,60 %.

Максимальное содержание α -линоленовой кислоты обнаружено в липидах семян различных сортов душицы обыкновенной (64,49–64,72 %), иссопа лекарственного (57,59–65,36 %) и базилика

Таблица 2. Жирнокислотный состав липидов семян новых сортов пряно-ароматических и эфирно-масличных культур, масс. %

Table 2. Fatty acid composition of lipids in seeds of the new varieties of spices, herbs, and essential oil crops, wt. %

Сорт	$C_{8:0}$ каприловая	$C_{16:0}$ пальмитиновая	$C_{18:0}$ стеариновая	$C_{18:1}$ олеиновая	$C_{18:2}$ линолевая	α - $C_{18:3}$ линоленовая
Иссоп лекарственный (<i>Hyssopus officinalis</i> L.)						
Розоцветковый	–	4,35	2,62	13,26	22,18	57,59
Лазурит	–	1,37	2,28	10,63	20,36	65,36
Зався	–	8,23	2,65	12,71	18,46	57,95
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)						
Грета	–	4,80	1,81	4,86 <i>cis</i> 1,26 <i>trans</i>	22,62	64,65
Аксаміт	–	4,03	2,01	5,69 <i>cis</i> 1,42 <i>trans</i>	22,13	64,72
Завіруха	–	5,25	2,04	4,64 <i>cis</i> 1,33 <i>trans</i>	22,25	64,49
Базилик обыкновенный (<i>Ocimum basilicum</i> L.)						
Магія	0,43	7,15	5,12	14,78	19,35	53,17
Настена	0,60	3,86	3,79	11,03	21,30	59,42
Володар	0,33	6,65	3,38	9,98	22,02	57,64
Базилик тонкоцветный (<i>Ocimum tenuiflorum</i> L.)						
Источник	0,26	4,84	2,54	6,69	22,60	63,07
Лук душистый (<i>Allium odorum</i> L.)						
Водар	–	7,21	0,78	25,86	66,15	–
Рута душистая (<i>Ruta graveolens</i> L.)						
Смаляніца	–	6,21	2,10	13,65	39,73	38,31
Пажитник голубой (<i>Trigonella caerulea</i> (L.) Ser.)						
Росквіт	–	15,76	2,35	7,04 <i>cis</i> 1,89 <i>trans</i>	43,99	28,97
Герань крупнокорневищная (<i>Geranium macrorrhizum</i> L.)						
Танюша	–	9,09	0,73	44,06	46,12	–
НСП ₀₅	0,02	0,31	0,12	0,68	1,45	2,54

(53,17–63,07 %), которые являются лучшими по сумме полиненасыщенных жирных кислот (линолевой и α -линоленовой – 86,74–87,27, 76,41–79,77 и 72,52–85,67 % соответственно). В липидах семян руты душистой содержание α -линоленовой кислоты составило 38,31 %, сумма полиненасыщенных жирных кислот – 78,04 %, пажитника голубого – 28,97 и 72,96 % соответственно.

Максимальное содержание пальмитиновой кислоты отмечено в липидах семян пажитника голубого (15,76 %), наименьшее – в липидах семян иссопа лекарственного сорта Лазурит (1,37 %); стеариновой кислоты – в липидах семян базилика обыкновенного сорта Магия (5,12 %) и герани корневищной сорта Танюша (0,73 %); олеиновой кислоты – в липидах семян герани крупнокорневищной сорта Танюша (44,06 %) и душицы обыкновенной сорта Завіруха (5,97 % с учетом *cis* и *trans*-изомеров) соответственно.

Наибольшая вариабельность по содержанию жирных кислот, в зависимости от видовых и сортовых отличий, наблюдалась у базилика. Максимальное содержание полиненасыщенных жирных кислот отмечено у базилика тонкоцветного сорта Источник (85,67 %), среди сортов базилика обыкновенного – у сортов с зеленой окраской растений (Володар и Настена – 79,66–80,72 %). У сорта базилика обыкновенного с антоциановой окраской растений сумма полиненасыщенных жирных кислот оказалась наименьшей – 72,52 %.

У иссопа лекарственного наибольшее содержание линолевой и α -линоленовой кислот получено у сорта Лазурит с синей окраской венчика (сумма – 85,96 %). У сорта Розовоцветковый с розовой окраской венчика сумма полиненасыщенных жирных кислот составила 79,77 %, у сорта Завіруха с белой окраской венчика – 76,41 %.

Жирнокислотный состав в сортах душицы обыкновенной с различной окраской венчика (пурпурная – сорт Аксаміт, розовая – сорт Грета, белая – сорт Завіруха) оказался выровненным: сумма полиненасыщенных жирных кислот, в зависимости от сорта, составила 86,74–87,27 %, сумма насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот – 12,73–13,26 %.

Выводы

Исследование жирнокислотного состава липидов семян новых районированных сортов пряно-ароматических и эфирно-масличных культур показало, что наибольшее содержание наиболее ценных полиненасыщенных жирных кислот (линолевая и α -линоленовая) оказалось у душицы обыкновенной (86,74–87,27 %), иссопа лекарственного (76,41–85,96 %), базилика тонкоцветного (85,67 %), базилика обыкновенного (72,52–80,72 %), руты душистой (78,04 %) и пажитника голубого (72,96 %).

Наряду с полиненасыщенными жирными аминокислотами, которые относятся к незаменимым, в липидах семян были обнаружены насыщенные (каприловая, пальмитиновая и стеариновая) и мононенасыщенные жирные кислоты (олеиновая).

Урожайность зеленой массы исследуемых пряно-ароматических и эфирно-масличных культур составила 150–280 ц/га, семян – 0,5–4,0 ц/га при содержании сырого жира 1,15–3,37 и 1,62–9,81 % соответственно.

Критерии авторства

Т. В. Сачивко – разработка концепции и проведение экспериментальных исследований, обобщение и анализ экспериментальных данных. Е. В. Феськова, Н. А. Коваленко и Г. Н. Супиченко – проведение экспериментальных исследований. В. Н. Босак – анализ экспериментальных данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Tatsiana V. Sachyuka developed the research concept, conducted the experimental research, and analyzed the experimental data. Alena V. Feskova, Natallia A. Kovalenko, and Galina N. Supichenko were responsible for the experimental research. Viktor N. Bosak analyzed the experimental data.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

References/Список литературы

1. Sachivko TV, Duktova NA, Porkhuntsova OV, Bosak VN, Tsykunova OA, Naumov MV, *et al.* Plant genetic resources. Spices, herbs, and essential oil crops. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy; 2021. 22 p. (In Russ.). [Генетические ресурсы растений. Пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры / Т. В. Сачивко [и др.]. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2021. 22 с.].

2. Shevchenko YuP, Kharchenko VV, Shevchenko GS, Soldatenko AV. Green crops and spices. Moscow: FNTSO; 2019. 224 p. (In Russ.). [Зеленные и пряно-вкусовые культуры / Ю. П. Шевченко [и др.]. М.: ФНЦО, 2019. 224 с.].

3. Sachivko TV, Bosak VN, Gordeeva AP, Naumov MV. Agricultural technology of new varieties of spices and herbs: guidelines for agricultural organizations and farmers. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy; 2019. 19 p. (In Russ.). [Характеристика и особенности агротехники новых сортов пряно-ароматических культур: рекомендации для специалистов сельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) и личных подсобных хозяйств / Т. В. Сачивко [и др.]. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. 19 с.].
4. Bosak VN, Sachivko TV, Yakovleva EV. Application of mineral fertilizers and growth regulators in the cultivation of spicy-aromatic and essential-oil plants. Bulletin of Agrarian Science. 2021;90(3):37–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2021.3.37>
5. Karachevskaya EV. Organizational and economic mechanism for the strategic development of medicinal plant farming in the Republic of Belarus. Gorki: Belarusian State Agricultural Academy; 2020. 229 p. (In Russ.). [Карачевская Е. В. Совершенствование организационно-экономического механизма стратегического развития лекарственного растениеводства Республики Беларусь. Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. 229 с.].
6. Ajayi FF, Ogori AF, Orede VO, Peter E. Synergistic effect of *Balanites aegyptiaca* essential oil and storage materials on cowpea seeds. Foods and Raw Materials. 2022;10(2):353–364. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-545>
7. Kovalenko NA, Ahramovich TI, Supichenko GN, Sachivko TV, Bosak VN. Antibacterial activity of *Hyssopus officinalis* essential oils. Chemistry of Plant Raw Materials. 2019;(1):191–199. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019014083>
8. Kuramagomedov MK, Aliev AM, Islamova FI, Mamaliev MM, Radjabov GK, Musaev AM. Component composition of essential oils and antioxidant activity of *Hyssopus officinalis* L. Cultivars introduced in the mountainous conditions of Dagestan. Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry. 2020;23(12):24–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.29296/25877313-2020-12-04>
9. Nesterova NV, Kravchuk KI, Ermakova VYu, Biryukova NV, Dobrokhotov DA. Assessment of the content of biologically active substances in fresh and dried raw materials of camphor basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Pharmaceuticals Quality Assurance Issue. 2020;28(2):62–68. (In Russ.). <https://doi.org/10.34907/JPQAI.2020.85.74.009>
10. Sachyuka TV, Bosak VM. Features of collection of spicy-aromatic plants in the botanical garden. Proceedings of BSTU. № 1. Forestry. 2016;183(1):206–210. (In Russ.). [Сачивко Т. В., Босак В. Н. Особенности коллекции пряно-ароматических растений в ботаническом саду // Труды БГТУ. № 1. Лесное хозяйство. 2016. Т. 183. № 1. С. 206–210.].
11. Khazieva FM, Korotkikh IN, Ossipov VI. Composition of essential oils of *Origanum vulgare* L. varieties from VILAR collection. Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry. 2019;22(7):38–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.29296/25877313-2019-07-06>
12. Özel OT, Çakmak E, Gürkan SE, Coskun I, Türe M. Evaluation of oregano (*Origanum vulgare*) essential oil supplementation on growth performance digestive enzymes intestinal histomorphology and gut microbiota of Black Sea salmon, *Salmo labrax*. Annals of Animal Science. 2022;22(2):763–772.
13. Sun J, Cheng Z, Zhao Y, Wang Y, Wang H, Ren Z. Influence of increasing levels of oregano essential oil on intestinal morphology, intestinal flora and performance of Sewa sheep. Italian Journal of Animal Science. 2022;21(1):463–472. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2022.2048208>
14. Nazir S, Wani IA. Physiochemical characterization of basil (*Ocimum basilicum* L.) seeds. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 2021;22. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100295>
15. Blank AF, de Souza EM, de Paula JWA, Alves PB. Phenotypic and genotypic behavior of basil populations. Horticultura Brasileira. 2010;28(3):305–310.
16. Karomatov ID, Mavlonov SS. Rue fragrant perspective herb. Biology and Integrative Medicine. 2018;23(6):136–151. (In Russ.). [Кароматов И. Д., Мавлонов С. С. Рута душистая – перспективное лекарственное растение // Биология и интегративная медицина. 2018. Т. 23. № 6. С. 136–151.].
17. Marko NV. Biological features and accumulation of essential oil in plants *Ruta graveolens* L. in Nikita Botanical Garden. Scientific publications of the State Nikitsky Botanical Garden. 2018;146:81–89. (In Russ.). <https://doi.org/10.25684/NBG.scbook.146.2018.12>
18. Marko NV. The component composition of essential oil *Ruta graveolens* L. and *Ruta corsica* D.C., introduced on the southern coast of the Crimea. Bulletin SNBG. 2017;(125):92–97. (In Russ.). [Марко Н. В. Компонентный состав эфирного масла *Ruta graveolens* L. и *Ruta corsica* D.C. при интродукции на южном берегу Крыма // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2017. № 125. С. 92–97.].
19. Sachivko TV, Bosak VN. Evaluation of new varieties *Trigonella* L. on the main economically valuable sings. Michurinsk Agronomy Bulletin. 2017;(2):144–148. (In Russ.). [Сачивко Т. В., Босак В. Н. Оценка новых сортов *Trigonella* L. по основным хозяйственно ценным признакам // Мичуринский агрономический вестник. 2017. № 2. С. 144–148.].

20. Drykova SA. The use of plants in the genus geranium and essential oils in a variety of industries. Education and Science in Russia and Abroad. 2019;56(8):114–119. (In Russ.). [Дрыкова С. А. Применение растений рода герань и их эфирных масел в различных отраслях // Образование и наука в России и за рубежом. 2019. Т. 56. № 8. С. 114–119.]
21. Navarro-Rocha J, Barrero AF, Burillo J, Olmeda AS, González-Coloma A. Valorization of essential oils from two populations of essential (wild and commercial) of *Geranium macrorrhizum* L. Industrial Crops and Products. 2018;116:41–45. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.046>
22. Isakova AL, Isakov AV, Kovalenko NA, Feskova AV, Supichenko GN, Sachivko TV. Biochemical composition of seeds *Nigella sativa* L., grown in the conditions of Belarus. Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series. 2019;64(4):440–447. (In Russ.). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-4-440-447>
23. Sacyuka TV, Kovalenko NA, Supichenko GN, Bosak VN. Using indicators of the essential oils composition to identify the variety. Vegetable Crops of Russia. 2019;47(3):68–73. (In Russ.). <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-68-73>
24. Bosak VN, Sachivko TV, Maksimenko NV, Naumov MV. Biochemical composition of spices, herbs, and ornamental crops. Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2018;(3):93–96. (In Russ.). [Особенности биохимического состава пряно-ароматических, зеленных и декоративных культур / В. Н. Босак [и др.] // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3. С. 93–96.]
25. Sacyuka TV, Kovalenko NA, Supichenko GN, Bosak VN. Enantiomeric composition of essential oils *Ocimum* L. components. Food Processing: Techniques and Technology. 2018;48(1):164–171. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-1-164-171>
26. Asilbekova DT, Bobakulov KhM. Study of lipids, fatty acids and lipophilic substances of *Consolida ambigua* (L.) P.W. Ball & Heywood and *Nigella sativa* L. seeds. Chemistry of Plant Raw Materials. 2021;(1):105–112. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021018384>
27. Bubenchicov RA, Moiseev DV, Bogacheva EA. Study of cowwheat fatty-acid composition (*Melampyrum argyrocomum* Fisch. ex Lebed). Pharmacy Bulletin. 2018;82(4):23–27. (In Russ.). [Бубенчиков Р. А., Моисеев Д. В., Богачева Е. А. Изучение жирнокислотного состава травы марьянника серебристопритцветникового (*Melampyrum argyrocomum* Fisch. ex Lebed) // Вестник фармации. 2018. Т. 82. № 4. С. 23–27.]
28. Velikorodov AV, Kovalev VB, Nosachev SB, Tyrkov AG, Morozova LV. Fatty-oxygen composition of seeds oils of some wild-growing and cultivated plants of the Astrakhan region obtained by the supercritical fluid extraction method. Chemistry of Plant Raw Materials. 2018;(2):153–158. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018022005>
29. Morozova IV, Chernobrovkina NP, Il'ina MK, Robonen EV, Tsydendambaev VD, Pchelkin VP. Fatty acid composition in fractions of total lipids from the buds of plants of the *Betula* L. genus by the opening phases. Russian Journal of Plant Physiology. 2021;68(1):85–92. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0015330321010139>
30. Nguyen AV, Deineka VI, Pham LQ, Doan PL, Deineka LA, Vu ATN, et al. Determination of triacylglycerols and fatty acid composition of *Momordica cochinchinensis* seed oil and some other plants of this genus. Chemistry of Plant Raw Materials. 2019;(3):53–60. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019034801>
31. Tsydendambaev PB, Baldanova IR, Erentueva AYU, Abidueva LR. Features of fatty acid composition of extracts from some medicinal plants of the Baikal region. Bulletin of the Buryat State University. Medicine and Pharmacy. 2018;(3–4):103–107. (In Russ.). [Особенности жирнокислотного состава экстрактов некоторых лекарственных растений Байкальского региона / П. Б. Цыдендамбаев [и др.] // Вестник Бурятского государственного университета. Медицина и фармация. 2018. № 3–4. С. 103–107.]
32. Ksouda G, Hajji M, Sellimi S, Merlier F, Falcimaigne-Cordin A, Nasri M, et al. A systematic comparison of 25 Tunisian plant species based on oil and phenolic contents, fatty acid composition and antioxidant activity. Industrial Crops and Products. 2018;123:768–778. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.008>
33. Rahman MM, Ullah O, Huq E, Khan W. Analysis of fatty acid composition and physicochemical characteristic of *Trigonella foenum-graecum* Linn ripe seed by gas liquid chromatography. Malaysian Journal of Chemistry. 2019;21(1):24–28.
34. Quilez M, Ferreres F, Lopez-Miranda S, Salazar E, Jordan MJ. Seed oil from Mediterranean aromatic and medicinal plants of the Lamiaceae family as a source of bioactive components with nutritional by. Antioxidants. 2020;9(6). <https://doi.org/10.3390/antiox9060510>
35. Yasothai R. Fatty acid composition of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seed and Galactomannan depleted fenugreek residue. The Pharma Innovation Journal. 2021;10(7):1509–1511. <https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i7t.7105>
36. State register of plant varieties. Minsk: Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus; 2021. 279 p. (In Russ.). [Государственный реестр сортов. Минск: Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, 2021. 279 с.]

37. Dospekhov BA. Field experiment methodology. Moscow: Al'yans; 2011. 351 p. (In Russ.). [Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2011. 351 с.].
38. Litvinov SS. Methods of field experience in vegetable gardening. Moscow: All-Russian Research Institute of Vegetable Crops; 2011. 650 p. (In Russ.). [Литвинов С. С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства; 2011. 650 с.].
39. Welch RW. A micro-method for the estimation of oil content and composition in seed crops. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1977;28(7):635–638. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740280710>
40. Feskova AV, Ignatovets OS, Tychina IN, Savich IM, Svitsiashchuk DS. Determination of the component composition of *Nigella sativa* seeds. *Proceedings of BSTU. Issue 2, Chemical Engineering, Biotechnology, Geoecology*. 2018;211(2):167–170. (In Russ.). [Определение компонентного состава семян чернушки посевной (*Nigella sativa*) / Е. В. Феськова [и др.] // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2018. Т. 211. № 2. С. 167–170.].
41. Lakiza NV, Neudachina LK. Food chemistry. Moscow: Yurayt; 2019. 185 p. (In Russ.). [Лакиза Н. В., Неудачина Л. К. Пищевая химия. М.: Юрайт, 2019. 185 с.].
42. Tereshchuk LV, Starovoytova KV. Food chemistry. Kemerovo: Kemerovo State University; 2020. 125 p. (In Russ.). [Терещук Л. В., Старовойтова К. В. Пищевая химия. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2020. 125 с.].

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2398>
<https://elibrary.ru/AHNQVD>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

К вопросу идентификации состава жировой фазы масложировой продукции



М. С. Сериков^{1,*}, М. Т. Нургалиева², К. А. Мырзабек¹,
М. Р. Тойшиманов¹, Ф. К. Бактыбаева¹

¹ Казахский национальный аграрный исследовательский университет^{ROR}, Алматы, Республика Казахстан

² Казахский научно-исследовательский ветеринарный институт^{ROR}, Алматы, Республика Казахстан

Поступила в редакцию: 18.03.2022

Принята после рецензирования: 25.05.2022

Принята к публикации: 07.06.2022

*М. С. Сериков: maksat.serikov@kaznaru.edu.kz,
<https://orcid.org/0000-0003-4145-1775>

М. Т. Нургалиева: <https://orcid.org/0000-0002-2392-640X>

К. А. Мырзабек: <https://orcid.org/0000-0003-0588-6659>

М. Р. Тойшиманов: <https://orcid.org/0000-0002-6070-4574>

Ф. К. Бактыбаева: <https://orcid.org/0000-0002-6279-2731>

© М. С. Сериков, М. Т. Нургалиева, К. А. Мырзабек,
М. Р. Тойшиманов, Ф. К. Бактыбаева, 2022



Аннотация.

Основное поступление транс-изомеров жирных кислот в организм человека происходит из-за потребления гидрогенизированных жиров. Для информирования потребителей масложировая отрасль взяла на себя обязательства по маркировке сведений о жирнокислотном составе своей продукции, в том числе о содержании насыщенных жирных кислот и транс-изомеров. Цель данного исследования заключалась в определении жирнокислотного профиля и содержания транс-изомеров жирных кислот в масложировой продукции с использованием инструментального метода анализа на примере маргарина.

Объектами исследования являлись 10 коммерческих образцов маргариновой продукции. Жирнокислотный состав изучали методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Для построения градуировочного графика применяли стандартные смеси метиловых эфиров индивидуальных жирных кислот. Идентификацию результатов проводили в соответствии со стандартными методами.

Анализ полученных спектров жирных кислот и их соотношений показал присутствие масел с массовой долей пальмитиновой кислоты более 17 %. Содержание насыщенных жирных кислот по сумме составило от 20,04 до 38,84 %, мононенасыщенных – от 27,92 до 36,81 %, полиненасыщенных – от 14,51 до 28,99 %. В исследованных образцах маргарина установлено отсутствие сливочного (молочного) жира. Во всех образцах отмечено присутствие транс-изомеров жирных кислот (от 0,01 до 23,06 %). Содержание трансжиров в количестве более 2 %, превышающем допустимые требования технического регламента, может свидетельствовать о введении в рецептуры данных образцов маргарина гидрированных масел.

Применение высокоспецифичных масс-спектрометрических подходов позволяет детектировать следовые количества транс-изомеров жирных кислот и исключает получение недостоверных или ложноположительных результатов. Данные методы анализа являются информативными и эффективными при проведении идентификации соответствия масложировой продукции нормативным требованиям регламентирующих документов и выявления фальсификации.

Ключевые слова. Жирные кислоты, гидрогенизация, трансжирная кислота, безопасность, фальсификация, газохроматография, масс-спектрометрия, маргарин

Для цитирования: К вопросу идентификации состава жировой фазы масложировой продукции / М. С. Сериков [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 685–693. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2398>

Defining the Composition of Fat Phase in Foods



Maksat S. Serikov^{1,*}, **Meruyet T. Nurgaliyeva²**,
Karima A. Myrzabek¹, **Maxat R. Toishimanov¹**,
Farida K. Baktybayeva¹

¹ Kazakh National Agrarian University^{ROR}, Almaty, Republic of Kazakhstan

² Kazakh Scientific Research Veterinary Institute^{ROR}, Almaty, Republic of Kazakhstan

Received: 18.03.2022

Revised: 25.05.2022

Accepted: 07.06.2022

*Maksat S. Serikov: maksat.serikov@kaznaru.edu.kz,

<https://orcid.org/0000-0003-4145-1775>

Meruyet T. Nurgaliyeva: <https://orcid.org/0000-0002-2392-640X>

Karima A. Myrzabek: <https://orcid.org/0000-0003-0588-6659>

Maxat R. Toishimanov: <https://orcid.org/0000-0002-6070-4574>

Farida K. Baktybayeva: <https://orcid.org/0000-0002-6279-2731>

© M.S. Serikov, M.T. Nurgaliyeva, K.A. Myrzabek,
M.R. Toishimanov, F.K. Baktybayeva, 2022



Abstract.

Trans-fatty acids enter the human body with hydrogenated fats. The oil and fat industry must inform consumers about the fatty acid composition of food products, including the content of saturated fatty acids and trans-isomers. This study used the method of instrumental analysis to determine the fatty-acid profile and the content of trans-fatty acids in margarine.

The research involved ten commercial samples of margarine. The fatty acid composition was studied by gas chromatography and mass spectrometry. The calibration graphs were based on standard mixes of methyl esters of individual fatty acids.

Some oils appeared to contain $\geq 17\%$ of palmitic acid. The total content of saturated fatty acids was 20.04–38.84%; the content of monounsaturated acids ranged from 27.92 to 36.81%, while that of polyunsaturated acids was between 14.51 and 28.99%. The margarine samples contained no butter (dairy) fat. All the samples contained 0.01–23.06% of trans-fatty acids. If the share of trans-fats exceeded 2%, it meant that the technical regulations had been violated, and hydrogenated oils had been introduced into the formulations.

The highly specific mass spectrometric approach made it possible to detect trace trans-fatty acids, thus eliminating the chance of unreliable or false positive results. These methods proved to be an effective means of regulatory compliance and counterfeit prevention.

Keywords. Fatty acids, hydrogenation, trans-fatty acid, safety, falsification, gas chromatography, mass spectrometry, margarine

For citation: Serikov MS, Nurgaliyeva MT, Myrzabek KA, Toishimanov MR, Baktybayeva FK. Defining the Composition of Fat Phase in Foods. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):685–693. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2398>

Введение

Поиск биологически полноценного жира привел к созданию комбинированной масложировой продукции (маргаринов, спредов, жировых смесей для кулинарных целей и т. д.). Маргарин – это эмульсионный продукт, приготовленный на основе растительных масел и животных жиров в натуральном и гидрогенизированном виде с добавлением сливочного масла, молока, соли, сахара и других компонентов. Жировые продукты с комбинированной жировой основой могут объединять в своем составе натуральные и модифицированные растительные масла (частично гидрогенизированные и фракционированные) [1, 2].

Всемирная организация здравоохранения призывает все страны полностью отказаться от транс-жиров промышленного производства к 2023 г. По данным организации, ежегодно от них погибает 500 000 человек в мире [3]. Для Казахстана это особенно актуально. Если США и ряд стран Европы отказались от этих опасных жиров, то в Казахстане их продолжают использовать. С 1 января 2018 г. в Казахстане были приняты первые меры по снижению трансжиров в масложировой продукции: присутствие не более 2 % этих жиров. Такие меры соответствовали рекомендациям ВОЗ и применялись во многих странах мира [3].

За последние несколько лет на казахстанском рынке маргариновой продукции увеличился объем фальсифицированного сырья и несоответствующей готовой продукции. Любая фальсификация преследует следующие цели: выдать дешевый товар за дорогой либо скрыть его низкое качество [4, 5].

Трансжирные кислоты представляют собой ненасыщенные жирные кислоты с одной метиленовой группой и двойной углерод-углеродной связью в транс-конфигурации, а не в типичной цис-конфигурации. Трансжиры образуются в природе. Бактерии, способные превращать цис-двойные связи в транс-двойные, обитают в пищеварительной системе жвачных животных. В результате этого мясной и молочный жир может содержать трансжиры. Также трансжирные кислоты образуются искусственно (промышленные трансжирные кислоты) в растительных маслах путем частичного гидрирования [6]. Частично гидрогенизированные растительные масла являются основным источником трансжирных кислот промышленного производства, которые считаются серьезной проблемой для здоровья [7]. Трансжиры называли более здоровой заменой насыщенных жирных кислот, пока не стали известны побочные эффекты насыщенных жирных кислот, включая повышение уровня холестерина в крови и риск сердечно-сосудистых заболеваний [8].

Трансжиры используются в пищевой промышленности с 1960-х гг. благодаря таким своим функциональным свойствам, как пластичность, стабильность эмульсии и низкая стоимость. Это делает их ключевым компонентом коммерчески производимых продуктов питания, таких как маргарин, овощные полуфабрикаты, хлебобулочные изделия, другие закуски и фаст-фуд [9].

Наиболее распространенными транс-изомерами С18:1 (октадеценовая кислота) при промышленном гидрировании являются транс-изомеры с ненасыщенностью в положениях 9, 10 и 11. Так как трансжиры образуются в жире, мясе и молоке жвачных животных в результате бактериального гидрогениза пищевых ненасыщенных жирных кислот в кишечнике, то преобладает изомер С18:1 с транс-связью в положении 11 [10–12]. Гидрогенизированные жиры либо трансжиры отрицательно влияют на работу любых клеток, нарушая нормальные процессы поглощения ими полезных веществ и вывода токсинов. При употреблении трансжиров даже в небольших количествах человек начинает набирать лишний вес, у него ухудшается самочувствие и начинают развиваться различные заболевания (вплоть до возникновения злокачественных опухолей) [13–15]. Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что содержание трансжирных кислот во многих промышленно выпускаемых жирах может достигать 40 % [16–18].

Маргарин является одними из основных источников трансжиров в рационе питания ряда государств-членов Евразийского экономического союза [19]. Исследованиями доказано, что потребление лишь трансжиров приводит к дефициту незаменимых жирных кислот. Это говорит о неполноценности транс-изомеров жирных кислот. Различия в потреблении трансжиров в государствах-членах Евразийского экономического союза обусловлены различиями в составе маргаринов и других промышленных гидрогенизированных жиров, а также в структуре потребления жира.

Основное поступление в организм человека пространственных изомеров происходит из-за потребления гидрогенизированных жиров, получаемых промышленной переработкой растительных масел. Результатом гидрогенизации являются подтвержденные растительные жиры – саломасы, содержащие, в зависимости от условий гидрогенизации, тот или иной уровень транс-изомеров. Поэтому исключение трансжирных кислот из продуктов питания в Евразийском экономическом союзе является одной из наиболее эффективных медико-санитарных мер по снижению риска неинфекционных заболеваний. Государства-члены ЕАЭС предприняли важные шаги по снижению содержания трансжиров в масложировой продукции до < 2 % от общего содержания жира. В Казахстане политики выявляют трудности в реализации рекомендаций ВОЗ и предлагают меры по усилению регулирования для их достижения. Государствам-членам ЕАЭС следует реализовать меры по замене трансжиров более полезными жирами, разработать стандартизированные методы надзора и расширить стратегические коммуникации для обеспечения соблюдения пищевой промышленностью и населением рекомендаций общественного здравоохранения для защиты здоровья жителей [19, 20].

Наиболее эффективный и последовательный путь исключения промышленно производимых трансжиров из пищевой продукции в общемировом масштабе – это принятие законодательных или нормативных мер, запрещающих или строго ограничивающих их использование в любых продуктах питания. В законодательстве и нормативных актах по трансжирам не указано, какими видами масел или жиров следует замещать промышленно производимые трансжиры.

Целью настоящего исследования является установление методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектором подлинности жировых продуктов, наличия и содержания транс-изомеров жирных кислот и насыщенных жирных кислот, а также соответствия вида жирового продукта нормативным требованиям.

Объекты и методы исследования.

Образцы и реагенты. Для анализа и сравнения в супермаркетах г. Алматы были приобретены 10 образцов маргариновой продукции, включая национальные и импортные бренды.

Стандарты метиловых эфиров транс- и цис-жирных кислот 37-компонентной смеси метиловых эфиров жирных кислот Supelco (Supelco, США) (чистота $\geq 99\%$ (GC); Sigma-Aldrich, Германия) были приобретены у ЛаборФарма (г. Алматы, Казахстан). Все химические вещества (метанол, толуол, ледяная уксусная кислота, соляная кислота гидроксид калия и гидроксид натрия, н-гексан) отвечали высоким требованиям для аналитических анализов широкого спектра с высокой степенью чистоты (производитель – System, Малайзия (GC $\geq 99\%$), поставщик – ЛаборФарма, Казахстан).

Для установления подлинности жировых продуктов, наличия и содержания транс-изомеров жирных кислот, а также соответствия вида жирового продукта нормативным требованиям методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектором изучен состав жирных кислот. Анализ состава жирных кислот, включая транс-изомеры, проведен в соответствии со стандартными методами по ГОСТ 32188-2013, ГОСТ 31754-2012 и ГОСТ 30623-2018.

Получение метиловых эфиров жирных кислот.

Примерно 1 г образцов маргариновой продукции плавил в печи (термостат Binder BD115, Германия) при 40–50 °C для получения жировой фазы. Верхнюю жировую фазу удаляли после центрифугирования при 500 г в течение 4 мин (Sigma 2-16P, Германия) и затем сушили, добавляя безводный сульфат натрия для удаления влаги из маргаринов [21]. Жир, полученный

из образцов масложировой продукции, переносили в стеклянные флаконы на 5 мл.

Два миллилитра гексана добавляли к 20 мкл жира, полученного из образцов масложировой продукции. После этого добавляли 100 мкл раствора метилат натрия (2,7 г натрия металлического Na в 25 мл метанола CH_3OH) и встряхивали смесь в течение 30 с (Ika, Vortex Genius 3, Германия). Инкубировали при комнатной температуре в течение 10 мин для отделения раствора прозрачного слоя, содержащего метиловые эфиры жирных кислот, от непрозрачного водного слоя. Затем раствор центрифугировали при 3000 об/мин в течение 5 мин [22].

Газовая хроматография с масс-спектрометрическим детектированием (ГХ-МС). Все измерения были выполнены с использованием тройной квадрупольной системы ГХ-МС/МС Thermo Scientific™ TSQ 8000™, оснащенной газовым хроматографом Thermo Scientific™ TRACE™ 1310 с модулем SSL Instant Connect™ SSL и автосамплером Thermo Scientific™ TriPlus™ RSH. Подробности метода приведены в таблице 1.

Результаты и их обсуждение

Маргарин представляет собой высокодисперсную эмульсию жира и воды. Биологическая ценность маргарина обуславливается содержанием полиненасыщенных жирных кислот, фосфолипидов и витаминов.

Маргарины, приготовленные из натуральных растительных масел, в целях повышения биологической активности содержат ненасыщенные жирные кислоты. В качестве жидкой жировой фазы маргарина используют различные рафинированные растительные масла, обезличенные по вкусу и запаху. Сбалансированность жирных кислот с использова-

Таблица 1. Условия метода газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием

Table 1. Gas chromatography with mass spectrometry: test conditions

Параметры	Условия
Газовый хроматограф TRACE 1310 GC	
Литье под давлением	split, split ratio 1:40
Разделенное Время	1,0 мин
Колонка GC	Thermo Scientific TR-FAME, 60 м×0,25 мм×0,25 мк
Газ-носитель	He (99,999 %)
Поток	1,5 мл/мин, постоянный поток
Температурная программа	50 °C 5 мин, 5 °C/мин до 220 °C, 20 мин
Температура линии передачи	230 °C
Общее время анализа	60 мин
Автосамплер Thermo Scientific AI/AS 1310	
Объем впрыска	2 мкл
Масс-спектрометрический детектор TSQ 8000 MS/MS	
Режим ионизации	EI, 70 eV
Температура источника ионов	285 °C
Режим сканирования	SRM 41-550 m/z

Таблица 2. Жирнокислотный состав образцов маргарина (ненасыщенные жирные кислоты)

Table 2. Fatty-acid profile of margarine samples: unsaturated fatty acids

Компонент	Rt	M-A	M-B	M-C	M-D	M-E	M-F	M-G	M-H	M-J	M-K
Пальмитиновая кислота C16:0	31,82	32,55	15,94	6,90	28,52	30,20	32,05	30,30	19,85	28,55	33,52
Стеариновая кислота C18:0	34,72	5,41	12,19	6,40	4,92	6,15	4,72	6,70	13,19	7,89	4,54
Элаидиновая кислота C18:1_n9t	34,99	0	12,19	0,27	0,19	0,23	0,07	0,38	8,89	0	0,19
Олеиновая кислота C18:1_n9c	35,20	23,45	24,62	15,32	25,65	28,02	28,65	27,98	22,62	25,45	23,65
Линолеидиновая кислота C18:2_n6t	35,57	0,01	10,87	8,65	0,47	0,06	0,56	0,11	8,87	0,01	0,47
Линолевая кислота C18:2_n6c	36,06	19,12	9,58	6,35	26,04	24,77	25,54	27,03	10,58	21,12	23,04
Гондоиновая кислота C20:1_n9c	37,34	1,23	1,33	3,26	1,07	0,79	0,78	0,82	1,33	3,33	1,07
Эйкозатриеновая кислота C20:3_n3	39,57	2,32	2,29	0,16	0	1,20	0,76	0,94	3,58	3,32	0
Эруковая кислота C22:1_n9	39,64	2,32	2,29	12,64	3,90	1,22	0,77	0,95	3,60	3,32	2,53
Эйкозатриеновая кислота C20:3_n3	39,77	2,32	2,29	12,64	3,90	1,22	0,77	0,95	3,99	2,32	2,53
Трикозиловая кислота C23:0	40,27	0,88	0,13	6,74	0,77	0,09	0,01	0,03	0,13	0,88	0,77
Докозодиеновая кислота C22:2	41,03	1,89	0,35	5,94	1,64	0,36	0,08	0,06	0,35	1,89	1,94
Селахолевая кислота C24:1_n9c	43,22	2,06	0,37	5,59	1,78	0,39	0,06	0,04	0,37	2,06	1,78
Докозагексаеновая кислота C22:6	44,49	0,18	0	2,15	0,18	0,02	0,01	0,01	0	0,18	0,18

Rt – время выхода хроматографического пика.

Rt – migration time.

нием растительного и животного жиров, которые взаимно дополняют друг друга недостающими компонентами, создает благоприятное воздействие на организм человека.

В таблице 2 представлен жирнокислотный состав образцов маргариновой продукции – М-А, М-В, М-С, М-Д, М-Е, М-Ф, М-Г, М-Н, М-Ж и М-К.

Особенностью жирнокислотного состава молочного жира является наличие низкомолекулярных короткоцепочечных жирных кислот. Анализ жирнокислотного состава показал отсутствие низкомолекулярных жирных кислот (масляная С4:0, капроновая С6:0, каприловая С8:0, каприновая С10:0, лауриновая С12:0 и миристиновая С14:0). Пентадекановая С15:1, пальмитолеиновая С16:1 и маргариновая С17:1 жирные кислоты также отсутствуют в исследуемых образцах. Это позволяет говорить об полном отсутствии сливочного (молочного) жира в продукте.

Исходя из приведенных данных анализа жирнокислотного состава, наблюдается отсутствие низкомолекулярных жирных кислот С6–С14.

Содержание эруковой кислоты С22:1 в образце М-С составляет 12,64 %, в остальных образцах – до 4 %.

Масла с высоким содержанием линоленовой кислоты С18:3 не идентифицированы в образцах.

Низкое содержание пальмитиновой кислоты С16:0 обнаружено в следующих образцах: М-В (15,94 %), М-С (6,90 %) и М-Н (19,85 %). В остальных образцах содержание жирной кислоты С16:0 составляет от 28,52 до 33,52 %.

Полученные данные по олеиновой жирной кислоте С18:1 позволяют говорить об отсутствии в образцах маргарина масел с максимальной долей данной кислоты. Содержание олеиновой кислоты в образцах присутствует в количестве от 15,30 до 28,65 %.

Низкое содержание линолевой кислоты C18:2 в исследуемых образцах находится в пределах от 6,35 до 27,03 %. Это позволяет говорить об отсутствии масел с максимальной массовой долей данной кислоты. Присутствие линоленовой кислоты C18:3 в образцах маргарина не идентифицировано.

В исследуемых образцах маргарина идентифицированы следующие жирные кислоты: стеариновая C18:0 – от 4,54 до 13,19 %, гондоиновая C20:1 – от 0,78 до 3,33 %, эйкозатриеновая C20:3 – до 3,32 %, докозодиеновая C22:2 – от 0,06 до 5,94 %, селажолевая C24:1 – от 0,04 до 5,59 %.

В испытуемых пробах маргарина обнаружены изомеры жирных кислот C18:1_n9t в малом количестве (до 0,40 %): M-C – 0,27 %, M-D – 0,19 %, M-E – 0,23 %, M-F – 0,07 %, M-G – 0,38 % и M-K – 0,19 %. В образцах M-A и M-J данные изомеры отсутствуют. В образце маргарина M-B содержание изомеров жирных кислот C18:1_n9t оказалось в количестве 12,19 %, а в образце M-H – 8,89 %. Это значительно превышает нормированный предел, свидетельствующий о наличии гидрогенизированных жиров в составе продукта.

В образцах маргарина обнаружены изомеры жирных кислот C18:2_n6t в незначительном количестве (до 0,60 %): M-A – 0,01 %, M-D – 0,47 %, M-E – 0,06 %, M-F – 0,56 %, M-G – 0,11 %, M-J – 0,01 % и M-K – 0,47 %. В образце маргарина M-B содержание изомеров оказалось в количестве 10,87 %, а в образце M-H – 8,87 %. Это значительно превышает допустимый предел.

На хроматограмме образца M-B, представленного на рисунке 1, определены 6 пиков, которые соответствуют (в порядке выхода) метиловым эфирам C16:0 (15,94 %), C18:0 (12,19 %), C18:1_n9t (12,19 %), C18:1_n9c (24,62 %), C18:2_n6t (10,87 %) и C18:2_n6c (9,58 %).

Выводы

Главной составной частью пищевых жиров являются жирные кислоты, которые подразделяются на насыщенные (предельные) и ненасыщенные (непредельные). По своим биологическим свойствам наиболее ценны ненасыщенные жирные кислоты, представленные в растительных маслах. Они полезны для организма, т. к. оказывают противотеросклеротическое действие, нормализуя жировой и холестериновый обмен.

Необходимая для организма сбалансированность жирных кислот может быть в одном виде жира при его соответствующей рецептуре. Таким пищевым жиром, в котором сконцентрированы лучшие свойства животных жиров и растительных масел, является маргарин.

Наиболее благоприятна сбалансированность жирных кислот в жировых продуктах – соотношение 20–30 % насыщенных и 60–70% ненасыщенных жирных кислот [17].

Полученные при определении жирнокислотного состава данные позволяют сделать вывод о соотношении масел, использованных при производстве маргарина. Согласно данным таблицы 2 спектр жирных кислот и соотношение их содержания показывают присутствие масел с массовой долей пальмитиновой кислоты более 17 % (ГОСТ 30623-2018).

Наблюдается динамика расширения использования в казахстанской пищевой промышленности пальмового масла из-за его низкой стоимости по сравнению с жидкими растительными маслами. Это делает пальмовое масло привлекательным для производителя, но оно имеет низкое содержание полиненасыщенных жирных кислот – незаменимых факторов питания для человека. Стало поступать

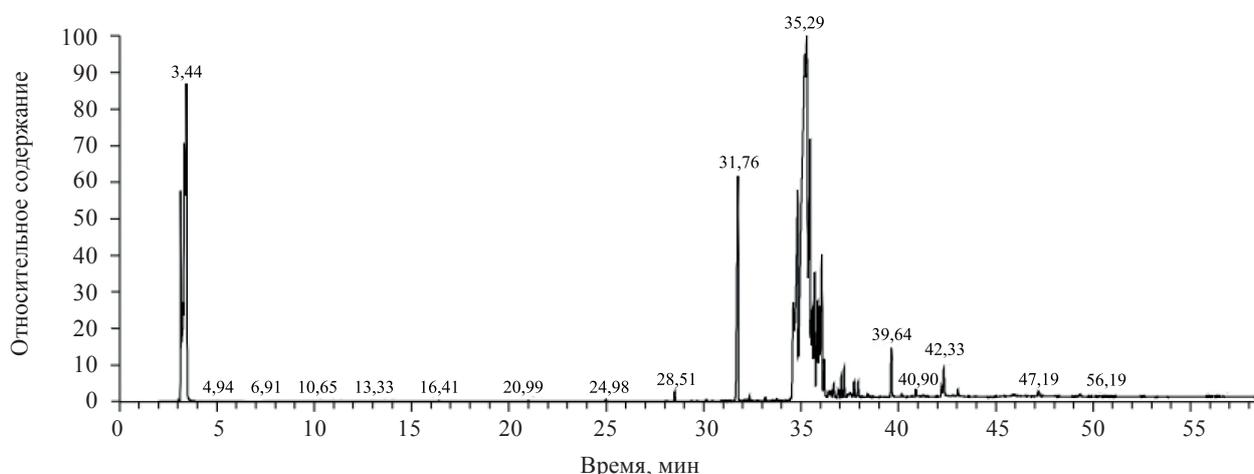


Рисунок 1. Хроматограмма образца маргарина

Figure 1. Chromatography of margarine samples

Таблица 3. Содержание жирных кислот в образцах маргарина

Table 3. Fatty-acid profile of margarine samples

№	Наименование образца	Содержание жирных кислот, % от суммы жирных кислот			
		Насыщенные жирные кислоты	Мононенасыщенные жирные кислоты (включая изомеры)	Полиненасыщенные жирные кислоты (включая изомеры)	Сумма транс-изомеров жирных кислот
1	М-А	38,84	29,06	25,83	0,01
2	М-В	28,26	28,61	14,51	23,06
3	М-С	20,04	36,81	27,24	8,92
4	М-Д	34,21	32,40	31,76	0,66
5	М-Е	36,44	30,42	27,57	0,29
6	М-Ф	36,78	30,26	27,16	0,63
7	М-Г	37,03	29,79	28,99	0,49
8	М-Н	33,17	27,92	18,50	17,76
9	М-Ж	37,32	34,16	28,83	0,01
10	М-К	38,83	29,03	27,69	0,66

все больше информации о возрастании доли насыщенных кислот в питании, что связывают с увеличением потребления жиров пальмового ряда. Вытеснение из пищевой промышленности традиционных для Казахстана растительных масел (настоящих молочных продуктов), помимо снижения полезности, приводит к угнетению сельхозтоваропроизводителей молока и растительных масел на внутреннем рынке.

В таблице 3 приведены данные о содержании жирных кислот в исследуемых образцах маргарина. Количество насыщенных жирных кислот в образцах маргарина составляет от 20,04 до 38,84 %, мононенасыщенных – от 27,92 до 36,81 %, полиненасыщенных – от 14,51 до 28,99 %.

Основой нормативно-законодательного обеспечения обращения жировых продуктов на территории Евразийского экономического союза является технический регламент Таможенного союза ТР ТС 024/2011. В техническом регламенте приведены идентификационные признаки масложировой продукции, правила идентификации, содержание вредных для здоровья транс-изомеров жирных кислот в продуктах переработки растительных масел и животных жиров (маргаринах, заменителях молочного жира, жирах специального назначения, растительно-сливочных и растительно-жировых спредах, топленых растительно-сливочных и растительно-жировых смесях) [18].

В межгосударственном стандарте ГОСТ 30623-2018 приведены диапазоны содержания жирных кислот в конкретных растительных маслах и маргаринах. Данный ГОСТ устанавливает метод обнаружения фальсификации растительных масел и продуктов со смешанным составом жировой фазы, содержащей масла и жиры немолочного происхождения и молочный жир. ГОСТ 31754-2012

устанавливает требования на методы определения массовой доли транс-изомеров жирных кислот в растительных маслах, животных жирах и жировых продуктах.

Содержание транс-изомеров в продуктах переработки растительных масел и животных жиров должно быть не более 2 % от содержания жира. Наблюдается незначительное содержание транс-изомеров жирных кислот во всех образцах (не более 1 %). Исключение составляют образцы М-В, М-С и М-Н, которые содержат трансжиры в количестве, выше допустимого требованиями технического регламента. Это позволяет сделать предположение о добавлении в рецептуру маргаринов гидрированных масел.

Полученные данные о негативном влиянии транс-изомеров на здоровье человека обуславливают необходимость контроля содержания транс-изомеров жирных кислот и обязательного указания его содержания на упаковке для всей масложировой продукции. Это соответствует рекомендациям Всемирной организации здравоохранения.

Государствами-членами ЕАЭС обсуждается вопрос о дополнительной маркировке пищевой продукции по принципу «светофора», где цвета указывают насколько компоненты, входящие в состав продукта, соответствуют принципам здорового питания и помогают потребителям сделать правильный выбор, принимая во внимание уровень содержания вредных для здоровья веществ (растительные жиры, в том числе пальмовое масло и углеводы). Правительством Республики Казахстан принимаются меры по обеспечению надежного контроля за качеством ввозимого пальмового масла из-за рубежа, не допущению ввоза его фальсификатов и ужесточению требований к маркировке пищевых товаров, включающих в своем составе пальмовое масло.

Таким образом, определение жирнокислотного состава позволяет не только проводить идентификацию масложировой продукции высокоспецифичным и информативным методом газохроматографической масс-спектрометрии, но и выявлять фальсификацию жиросодержащей продукции.

Критерии авторства

М. С. Сериков – анализ литературы по проблеме, проведение экспериментальной части и статистической обработки результатов, написание статьи. М. Т. Нургалиева – анализ полученных результатов, формулирование выводов и написание статьи. К. А. Мырзабек – редактирование рукописи. М. Р. Тойшиманов и Ф. К. Бактыбаева – проведение экспериментальной части.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

M.S. Serikov reviewed scientific publications, participated in the experimental part, processed the statistics, and wrote the article. M.T. Nurgaliyeva analyzed the results, formulated the conclusions, and wrote the article. K.A. Myrzabek edited the manuscript. M.R. Toishimanov and F.K. Baktybayeva performed the experiments.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Patel AR, Nicholson RA, Marangoni AG. Applications of fat mimetics for the replacement of saturated and hydrogenated fat in food products. *Current Opinion in Food Science*. 2020;33:61–68. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.12.008>
2. Rafiev AAO, Shalamov VYu, Zubareva EA. Examination of margarine, product identification and falsification. *Generation of the Future: Collection of Selected Papers of the International Student Scientific Conference*; 2019; St. Petersburg. St. Petersburg: NATSRAZVITIE; 2019. p. 19–21. (In Russ.). [Рафиев А. А. О., Шаламов В. Ю., Зубарева Е. А. Экспертиза маргарина, идентификация и фальсификация продукта // Поколение будущего: Сборник избранных статей Международной студенческой научной конференции. СПб, 2019. P. 19–21.].
3. WHO plans to eliminate industrially produced trans-fatty acids from food [Internet]. [cited 2022 Feb 15]. Available from: <https://www.who.int/ru/news/item/14-05-2018-who-plan-to-eliminate-industrially-produced-trans-fatty-acids-from-global-food-supply> [План ВОЗ по исключению промышленно производимых трансжирных кислот из пищи. URL: <https://www.who.int/ru/news/item/14-05-2018-who-plan-to-eliminate-industrially-produced-trans-fatty-acids-from-global-food-supply> (дата обращения: 15.02.2022).].
4. The margarine market in Kazakhstan in 2021. Indicators and forecasts [Internet]. [cited 2022 Feb 15]. Available from: <https://tebiz.ru/mi/analiz-rynka-margarina-v-kazakhstane> [Анализ рынка маргарина в Казахстане – 2021. Показатели и прогнозы. URL: <https://www.who.int/ru/news/item/14-05-2018-who-plan-to-eliminate-industrially-produced-trans-fatty-acids-from-global-food-supply> (дата обращения: 15.02.2022).].
5. Stender S. Trans fat in foods in Iran, South-Eastern Europe, Caucasia and Central Asia: A market basket investigation. *Food Policy*. 2020;96. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101877>
6. Delmonte P, Milani A, Bhangle S. Structural determination and occurrence in ahiflower oil of stearidonic acid *trans* fatty acids. *Lipids*. 2018;53(2):255–266. <https://doi.org/10.1002/lipd.12009>
7. Madhujith T, Sivakanthan S. Taking *trans* fats out of the food supply. In: De Silva RP, Pushpakumara G, Prasada P, Weerahewa J, editors. *Agricultural research for sustainable food systems in Sri Lanka*. Singapore: Springer; 2020. pp. 277–299. https://doi.org/10.1007/978-981-15-3673-1_13
8. Misteneva SYu, Savenkova TV, Demchenko EA, Shcherbakova NA, Gerasimov TV. Rationale for targeted confectionery products for children over three years old. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(2):282–295. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-282-295>
9. Chopra S, Arora C, Malhotra A, Khurana SC. Industrially produced trans fat: Usage, health implications, global and indian regulations. *Indian Journal of Public Health*. 2021;65(1):71–75.
10. Yoshinaga-Kiriake A, Yoshinaga K, Gotoh N. Effect of *trans*-octadecenoic acid positional isomers on tumor necrosis factor- α secretion in RAW264.7 cells. *Journal of Oleo Science*. 2020;69(9):1139–1143. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20141>
11. Negoita M, Mihai AL, Adascalului AC, Iorga E. Development of a performance method for determination of *cis/trans* isomers of oleic, linoleic and linolenic acids from potato chips by GC-MS. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*. 2019;76(2):114–124. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:2019.0021>
12. Indu B, Jayaprakasha HM. Conjugated linoleic acid – the natural trans fat: A review. *Asian Journal of Dairy and Food Research*. 2021;40(4):351–357. <https://doi.org/10.18805/ajdfr.DR-1634>

13. Abramovič H, Vidrih R, Zlatič E, Kokalj D, Schreiner M, Žmitek K, *et al.* *Trans* fatty acids in margarines and shortenings in the food supply in Slovenia. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2018;74:53–61. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.08.007>
14. Chen Z, Herting MM, Chatzi L, Belcher BR, Alderete TL, McConnell R, *et al.* Regional and traffic-related air pollutants are associated with higher consumption of fast food and *trans* fat among adolescents. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2019;109(1):99–108. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy232>
15. Mahjoob R, Mohammadi Nafchi A, Omidbakhsh Amiri E, Farmani J. An investigation on the physicochemical characterization of interesterified blends of fully hydrogenated palm olein and soybean oil. *Food Science and Biotechnology*. 2018;27(2):343–352. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0262-4>
16. López-Pedrouso M, Lorenzo JM, Gullón B, Campagnol PCB, Franco D. Novel strategy for developing healthy meat products replacing saturated fat with oleogels. *Current Opinion in Food Science* 2021;40:40–45. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.06.003>
17. Stahl MA, Buscato MHM, Grimaldi R, Cardoso LP, Ribeiro APB. Structuration of lipid bases with fully hydrogenated crambe oil and sorbitan monostearate for obtaining zero-trans/low sat fats. *Food Research International*. 2018;107:61–72. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.012>
18. de Lima EE, Castro LSEPW, de S. Grinevicius VMA, Hilbig J, Mota NSRS, Zeferino RC, *et al.* Effect of a diet rich in interesterified, non-interesterified and trans fats on biochemical parameters and oxidative status of Balb-c mice. *Food and Nutrition Sciences*. 2020;11(11):1032–1052. <https://doi.org/10.4236/fns.2020.1111073>
19. Demin A, Løge B, Zhiteneva O, Nishida C, Whiting S, Rippin H, *et al.* Trans fatty acid elimination policy in member states of the Eurasian Economic Union: Implementation challenges and capacity for enforcement. *Journal of Clinical Hypertension*. 2020;22(8):1328–1337. <https://doi.org/10.1111/jch.13945>
20. Kiselev SV, Romashkin RA. The state and prospects of russia’s agri-food export to the countries of the Eurasian Economic Union. *Studies on Russian Economic Development*. 2021;32(2):221–228. <https://doi.org/10.1134/S1075700721020064>
21. Çetin M, Yıldırım A, Şahin AM. Determination of fatty acids and some undesirable fatty acid isomers in selected Turkish margarines. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2003;105(11):683–687. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200300837>
22. Nurgaliyeva MT, Toishimanov MR, Serikov MS, Myrzabayeva NE, Hastayeva AZh. Calibration of gas chromatographic device for determination of fatty acid composition of food products. *Research, Results*. 2019;81(1):79–85. (In Russ.). [Калибровка газохроматографического прибора для определения жирнокислотного состава пищевых продуктов / М. Т. Нурғалиева [и др.] // Издәністер, нәтижелер – Исследования, результаты. 2019. Т. 81. № 1. С. 79–85.]

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2399>
<https://elibrary.ru/ASHVOO>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние активной кислотности на качественные характеристики дистиллятов



Л. Н. Крикунова^{ORCID}, Е. В. Дубинина*^{ORCID},
В. А. Песчанская^{ORCID}, О. Н. Ободеева^{ORCID}

Всероссийский научно-исследовательский институт
пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности^{ROR},
Москва, Россия

Поступила в редакцию: 21.03.2022
Принята после рецензирования: 21.04.2022
Принята к публикации: 03.05.2022

*Е. В. Дубинина: elena-vd@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-8364-9539>
Л. Н. Крикунова: <https://orcid.org/0000-0002-7335-0453>
В. А. Песчанская: <https://orcid.org/0000-0002-3056-8620>
О. Н. Ободеева: <https://orcid.org/0000-0002-1068-4245>

© Л. Н. Крикунова, Е. В. Дубинина, В. А.
Песчанская, О. Н. Ободеева, 2022



Аннотация.

На качество дистиллятов оказывают влияние биохимический состав исходного сырья, параметры получения и сбраживания сусла, способы и режимы дистилляции. Цель работы заключалась в исследовании влияния активной кислотности сусла из возвратных отходов хлебопекарного производства на процессы сбраживания и дистилляции.

Объектами исследования являлись образцы сброженного сусла из пшеничного хлеба, смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба и фракции дистиллятов, полученные при однократной фракционированной дистилляции сброженного сусла. Эффективность сбраживания определяли по крепости сброженного сусла. Состав летучих компонентов исследовали методом газовой хроматографии на приборе Thermo Trace GC Ultra (Thermo, США).

Установлено, что снижение pH осахаренного сусла с 5,5 до 4,5–3,5 приводит к уменьшению синтеза высших спиртов и эфиров высших жирных кислот в процессе его сбраживания. Подкисление сброженного сусла до величины pH 3,5–3,0 на стадии дистилляции повышало выход средней фракции за счет снижения потерь безводного спирта с головной и хвостовой фракциями. Одновременно было отмечено снижение концентрации ацетальдегида и этилацетата в средней фракции в 1,5 раза и повышение содержания компонентов энантиомерного эфира более чем на 75 %. В результате дегустационная оценка повысилась на 0,4–0,5 балла. На основании статистического анализа определили критерии оценки качества дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства: массовая концентрация ацетальдегида и величина отношения спиртов C_3 к сумме спиртов C_3 и C_4 .

При использовании в качестве сырья возвратных отходов хлебопекарного производства нецелесообразно проводить подкисление осахаренного сусла перед сбраживанием. Подкисление сброженного сусла перед дистилляцией способствует повышению выхода дистиллята и улучшению его органолептических характеристик.

Ключевые слова. Возвратные отходы хлебопекарного производства, осахаренное сусло, активная кислотность, брожение, дистилляция, качество

Финансирование. Статья профинансирована Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)^{ROR} и подготовлена в рамках выполнения государственного задания Всероссийским научно-исследовательским институтом пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности (ВНИИПБиВП)^{ROR} по теме FNEN-2019-00024.

Для цитирования: Влияние активной кислотности на качественные характеристики дистиллятов / Л. Н. Крикунова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 694–705. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2399>

Acidification in Distillation Technology



Ludmila N. Krikunova^{ORCID}, Elena V. Dubinina*^{ORCID},
Violetta A. Peschanskaya^{ORCID}, Olga N. Obodeeva^{ORCID}

All-Russian Scientific Research Institute of the Brewing, Beverage and Wine Industry^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 21.03.2022
Revised: 21.04.2022
Accepted: 03.05.2022

*Elena V. Dubinina: elena-vd@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-8364-9539>
Ludmila N. Krikunova: <https://orcid.org/0000-0002-7335-0453>
Violetta A. Peschanskaya: <https://orcid.org/0000-0002-3056-8620>
Olga N. Obodeeva: <https://orcid.org/0000-0002-1068-4245>

© L.N. Krikunova, E.V. Dubinina, V.A. Peschanskaya, O.N. Obodeeva, 2022



Abstract.

The quality of distillates depends on the biochemical composition of the raw material, the operating parameters of the wort production and fermentation, and the methods and modes of distillation. The active acidity of the medium (pH) can affect wort fermentation and distillation processes. The research objective was to study the effect of the active acidity of bakery waste wort on fermentation and distillation processes.

The study featured fermented wort samples from wheat bread, a mix of wheat and rye-wheat bread, and distillate fractions obtained by a single fractionated distillation of fermented wort. The distillation occurred in laboratory conditions in a direct distillation unit (Kothe Destillationstechnik, Germany) with a 10 dm³ cube. The effect of the acidification degree of saccharified wort on the fermentation efficiency was determined by the strength of the fermented wort. The composition of volatile components in the distillates was defined by gas chromatography in a Thermo Trace GC Ultra chromatograph (Thermo, USA). When the pH of saccharified wort fell from 5.5 to 4.5–3.5, the synthesis of higher alcohols and ethers of higher fatty acids decreased during fermentation, while the acetone mass concentration increased. The acidification of fermented wort to pH = 3.5–3.0 at the distillation stage had a positive effect on the distillates from recyclable baking waste. This technique increased the yield of the middle fraction (distillate) by reducing the loss of absolute alcohol with the head and tail fractions. The concentration of acetaldehyde and ethyl acetate in the middle fraction decreased by 1.5 times while the content of enanthic ether components increased by more than 75%. As a result, the sensory profile increased by 0.4–0.5 points. The distillates from the mix of wheat and rye-wheat bread were superior to distillates from wheat bread. The statistical analysis provided the following criteria for a qualitative assessment of the distillates from recyclable baking waste: the mass concentration of acetaldehyde and the ratio of alcohols C₅ to the sum of alcohols C₃ and C₄.

Pre-fermentation oxidation of saccharified wort proved impractical for bakery waste recycling, whereas acidification of fermented wort before distillation increased the distillate yield and improved its sensory profile.

Keywords. Recyclable baking waste, sugared wort, active acidity, fermentation, distillation, quality

Funding. The research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)^{ROR} as part of state assignment for the All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry (VNIIPBiVP)^{ROR}, topic no. FNEN-2019-00024.

For citation: Krikunova LN, Dubinina EV, Peschanskaya VA, Obodeeva ON. Acidification in Distillation Technology. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):694–705. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2399>

Введение

Возвратные отходы хлебопекарного производства представляют собой не только брак, образующийся при изготовлении хлеба, но и непроданную продукцию, которую возвращают производителю. В Российской Федерации доля возвращаемой на хлебопекарные предприятия продукции составляет около 10 %, а в отдельные периоды может достигать

20–25 % [1]. Такая же проблема существует во многих европейских странах: доля непроданного хлеба в Великобритании доходит почти до 30 % [2]. Неиспользованные возвратные отходы хлебопекарного производства ухудшают экологическую ситуацию. В Российской Федерации эти отходы относятся к 5 классу опасности для окружающей среды [3]. Один из путей использования непроданного черствого

хлеба в Бельгии – производство пива, что снижает наносимый вред окружающей среде [4].

Возвратные отходы хлебопекарного производства относятся к крахмалсодержащему сырью. Одним из направлений использования возвратных отходов хлебопекарного производства может стать их применение в качестве сырья для крепких спиртных напитков. Технология таких напитков включает стадии подготовки сырья к дистилляции и сам процесс дистилляции. В технологии дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства предусматриваются следующие этапы:

- получение осахаренного суслу путем водно-тепловой и ферментативной обработки;
- сбраживание осахаренного суслу с использованием спиртовых дрожжей;
- дистилляция (двукратная или однократная) с выделением головной, средней (дистиллят) и хвостовой фракций.

На стадии осахаривания важными факторами являются исходный биохимический состав сырья, характеристика используемых энзимов для осахаривания крахмала и деструкции других биополимеров сырья, а также технологические способы и режимы получения суслу [5–7]. В работах [8, 9] показано, что исходный биохимический состав традиционных видов крахмалсодержащего сырья (пшеница, рожь, ячмень, кукуруза) влияет на концентрацию и состав компонентов осахаренного суслу, а также на его реологические характеристики (вязкость). Анализ биохимического состава возвратных отходов хлебопекарного производства, представленный в публикациях [10, 11], выявил некоторые особенности, отличающие это сырье от традиционного.

Кроме того, каждый вид крахмалсодержащего сырья требует применения определенного комплекса энзимов. Энзимы могут входить в состав комплексных ферментных препаратов или содержаться в составе солодов [12–14].

Процесс подготовки крахмалсодержащего сырья к действию энзимов может осуществляться с помощью высокотемпературной обработки под давлением (давление от 0,5 до 0,8 МПа, температура – от 130 до 180 °С) или низкотемпературными способами без использования повышенного давления. Низкотемпературные способы (конечная температура не выше 100 °С) делятся на механико-ферментативный способ и на способ «холодного затирания» (PLS).

На стадии сбраживания наиболее значимыми технологическими факторами являются раса дрожжей, норма их внесения, температура и условия брожения, применение и природа активаторов брожения [15, 16]. Эти факторы могут оказывать влияние на эффективность процесса (длительность и выход этанола), качественные показатели сброженного суслу и органолептические характеристики получаемого

дистиллята. В зависимости от используемой расы дрожжей изменяется крепость сброженного суслу и концентрация отдельных летучих компонентов, представляющих собой вторичные продукты спиртового брожения [17–20]. Выбор температуры брожения определяется используемой расой дрожжей. Для большинства спиртовых дрожжей оптимальная температура составляет 28–30 °С. При использовании термоустойчивых рас температура брожения может достигать 35–37 °С [21].

Фактором, который может оказывать влияние на процесс сбраживания суслу, является активная кислотность среды (рН). При сбраживании осахаренного крахмалсодержащего сырья обычно подкисляют суслу до значения рН 4,8–4,5, которое является оптимальным для роста дрожжей [22]. В то же время существуют расы, которые активно развиваются при значениях рН 3,2–4,2 [23]. Изменение активной кислотности среды, связанное с повышением или понижением концентрации ионов H^+ , приводит к сдвигу электрического заряда коллоидов плазменной оболочки клеток. В результате этого меняется их проницаемость для отдельных веществ и ионов. Таким образом, изменение рН влечет за собой изменение скорости поступления питательных веществ в клетку и может влиять на ее метаболизм. Смещение рН среды в щелочную сторону способствует образованию повышенных концентраций глицерина. Свойство дрожжей сохранять свою жизнедеятельность при активной кислотности среды в пределах от 2,0 до 8,0 используется для подавления развития посторонней микрофлоры, в частности молочнокислых бактерий. Кроме того, подкисление используется в практике получения фруктовых дистиллятов из низкокислотного сырья (груш, шелковицы) [24–26]. Установлено, что такой технологический прием позволяет не только предотвратить контаминацию mezги посторонней микрофлорой, но и снизить интенсивность действия окислительных ферментов, что положительно сказывается на качестве дистиллята. Повышение активной кислотности при брожении фруктового суслу оказывает влияние на образование вторичных продуктов брожения [27]. Снижение рН среды способствует уменьшению синтеза уксусной кислоты дрожжами.

При переработке возвратных отходов хлебопекарного производства влияние подкисления на процесс сбраживания не изучено.

На стадии дистилляции факторами, влияющими на выход конечного продукта и его качественные характеристики, считаются следующие: физико-химический состав сброженного суслу, способ дистилляции (однократная, двукратная), скорость дистилляции, предварительная тепловая обработка и объем отбираемых фракций. В ряде работ показано

влияние вида сырья, способов его подготовки и способов дистилляции на динамику распределения основных летучих компонентов по фракциям [27–31].

Целесообразность подкисления сброженного сусла перед дистилляцией при использовании возвратных отходов хлебопекарного производства в качестве сырья требует проведения отдельных исследований.

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния степени подкисления на процессы сбраживания и дистилляции в технологии дистиллята из возвратных отходов хлебопекарного производства.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали: – образцы сброженного сусла из разных видов отходов хлебопекарного производства;

– фракции дистиллята, полученные путем однократной фракционированной дистилляции сброженного сусла.

Образцы сброженного сусла Контроль 1 (К1), Опыт 1.1 (О1.1), Опыт 1.2 (О1.2), Опыт 1.3 (О1.3) и Опыт 1.4 (О1.4) получали из пшеничного хлеба, образцы Контроль 2 (К2), Опыт 2.1 (О2.1), Опыт 2.2 (О2.2), Опыт 2.3 (О2.3) и Опыт 2.4 (О2.4) получали из смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба, взятых в соотношении 1:1.

При приготовлении контрольных образцов К1 и К2 использовали осахаренное сусло без подкисления. В случае использования пшеничного хлеба измельченное сырье (хлебную крошку) смешивали с водой ($t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$) при гидромодуле 1:3,5, и вносили ферментный препарат разжижающего действия с мезофильной альфа-амилазой в дозировке 0,5 ед. АС/г условного крахмала сырья. Смесь выдерживали при данной температуре в течение 90 мин, затем повышали температуру до 95–98 $^{\circ}\text{C}$ и выдерживали 30 мин. Полученную разваренную массу охлаждали до температуры 56–58 $^{\circ}\text{C}$, и вносили ферментные препараты осахаривающего и протеолитического действия в дозировке 6,0 ед. ГЛС/г условного крахмала сырья и 0,02 ед. ПС/г белка сырья соответственно. Осахаривание проводили в течение 30 мин. Значение активной кислотности осахаренного сусла из пшеничного хлеба составило 6,0.

Получение осахаренного сусла из смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба проводили по ранее разработанным режимам [32]. Значение активной кислотности данного осахаренного сусла составило 5,5.

Перед сбраживанием опытных образцов осахаренное сусло подкисляли до значений pH 5,0 (О1.1 и О2.1), 4,5 (О1.2 и О2.2), 4,0 (О1.3 и О2.3) и 3,5 (О1.4 и О2.4). Подкисление осуществляли внесением определенного количества раствора серной кислоты в концентрации 2 М/дм³.

Сбраживание контрольных и опытных образцов проводили при температуре 28–30 $^{\circ}\text{C}$ в течение 72 ч

с использованием спиртовых дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. Норма внесения дрожжей – 0,1 г/100 г сусла.

При изучении влияния степени подкисления на процесс дистилляции в контрольные образцы сброженного сусла вносили раствор серной кислоты в концентрации 2 М/дм³ перед загрузкой в куб дистилляционной установки до значений pH: 4,0 – образцы К1.1 и К2.1, 3,5 – образцы К1.2 и К2.2, 3,0 – образцы К1.3 и К2.3, 2,5 – образцы К1.4 и К2.4. Использовали установку прямой сгонки Kothe Destillationstechnik (Германия). При дистилляции выделяли головную, среднюю (дистиллят) и хвостовую фракции на основе результатов органолептической оценки и определения крепости.

Влияние степени подкисления осахаренного сусла на эффективность сбраживания устанавливали по крепости сброженного сусла. Определяли объемную долю этилового спирта (об.%) в соответствии с ГОСТ 32095-2013, органолептические характеристики – в соответствии с требованиями ГОСТ 32051-2013 по 10-балльной системе. Величину pH определяли с помощью лабораторного иономера pH 211 («HANNA Instruments», Германия).

Состав летучих компонентов устанавливали методом газовой хроматографии с использованием газового хроматографа Thermo Trace GC Ultra (Thermo, США) с пламенно-ионизационным детектором. Хроматографическая колонка HP FFAP: длина 50 м, внутренний диаметр 0,32 мм с толщиной пленки неподвижной фазы 0,5 мкм. Объем пробы – 1 мм³. Образцы дистиллятов анализировали после разбавления до крепости 40 об.% деионизированной дистиллированной водой. При анализе образцов сброженного сусла их предварительно освобождали от экстрактивных компонентов методом перегонки и определяли состав летучих компонентов в дистилляте. С целью проведения сравнительного анализа исследованных образцов концентрацию летучих компонентов выражали в мг/дм³ безводного спирта (мг/дм³ б.с.).

Для расчета влияния степени подкисления на распределение безводного спирта по фракциям проводили замер объема каждой фракций.

При обработке результатов исследования использовали статистические методы. Определяли средние значения из 3–5 измерений. Данные анализировали с использованием программного продукта Statistica 12 (Stat. Soft. Inc., Tulsa, OK 74104, USA).

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследования было изучено влияние подкисления на эффективность сбраживания осахаренного сусла. Установлено, что подкисление до pH 5,0–4,5 практически не оказывает влияния на крепость сброженного сусла. Более существенное

подкисление (до pH 4,0–3,5) приводит к снижению эффективности сбраживания: объемная доля этилового спирта в образцах O1.3 и O2.3, O1.4 и O2.4 оказалась ниже на 0,40–0,55 и 0,35–0,42 об.% при использовании пшеничного хлеба и смеси пшеничного и ржанопшеничного хлеба соответственно (табл. 1).

Во всех образцах сброженного суслу снижалась величина pH в среднем на 0,4–0,8 единиц.

Установлено, что подкисление осахаренного суслу влияет на общее содержание и концентрацию отдельных летучих компонентов в сброженном сусле из возвратных отходов хлебопекарного производства (табл. 2).

Выявлена четкая зависимость снижения суммарного содержания летучих компонентов в пересчете на безводный спирт от степени подкисления осахаренного суслу. Установлено, что в наибольшей степени снижается суммарная концентрация основных высших спиртов при подкислении до pH 4,5–3,5. В образцах O1.2, O1.3, O1.4, O2.2, O2.3 и O2.4 содержание высших спиртов уменьшилось на 12,0–16,5 % по сравнению с контрольными образцами. Также отмечено изменение соотношения основных высших спиртов. Подкисление суслу привело к снижению массовой концентрации 1-пропанола и изоамилола при одновременном увеличении

содержания изобутанола в образцах сброженного суслу. Одновременно в опытных образцах повышалась в 1,5–2,0 раза концентрация ацетона. Данный факт может быть связан с протеканием ацетонобутилового брожения одновременно со спиртовым.

В образцах сброженного суслу с высокой степенью подкисления, имеющих значение pH 3,5–2,9, наблюдалось снижение концентрации этиловых эфиров капроновой, каприловой и каприновой кислот (компонентов энантового эфира). Это может быть обусловлено снижением активности эстераз дрожжевой клетки в высококислотной среде.

В результате сенсорного анализа было установлено, что опытные образцы уступали по своим органолептическим характеристикам контрольным. В аромате опытных образцов обнаружены неприятные посторонние тона, во вкусе ощущалась грубость.

Полученные экспериментальные данные показали нецелесообразность применения подкисления осахаренного суслу перед сбраживанием.

На втором этапе исследования было изучено влияние подкисления сброженного суслу на процесс дистилляции. Процесс оценивали по распределению этанола и основных летучих компонентов по фракциям. Установлено, что подкисление сброженного

Таблица 1. Влияние степени подкисления осахаренного суслу на эффективность процесса сбраживания

Table 1. Effect of saccharified wort acidification on fermentation

Показатели	K1	O1.1	O1.2	O1.3	O1.4	K2	O2.1	O2.2	O2.3	O2.4
pH сброженного суслу	5,2	4,3	4,0	3,5	3,1	4,8	4,2	3,9	3,5	2,9
Объемная доля этилового спирта, %	9,3	9,4	9,3	8,9	8,5	8,1	8,2	8,1	7,7	7,4

Таблица 2. Влияние степени подкисления осахаренного суслу из возвратных отходов хлебопекарного производства на состав летучих компонентов сброженного суслу

Table 2. Effect of acidification degree on volatile profile of saccharified bakery waste wort

Наименование компонента	Массовая концентрация, мг/дм ³ б.с.									
	K1	O1.1	O1.2	O1.3	O1.4	K2	O2.1	O2.2	O2.3	O2.4
Ацетальдегид	306	290	305	277	289	275	267	280	272	285
Ацетон	10	12	14	16	19	6	9	11	13	14
Этилацетат	128	110	121	105	108	112	108	105	109	102
Метанол	7	9	8	9	7	8	12	11	10	9
1-пропанол	408	375	368	310	268	446	377	380	384	335
Изобутанол	873	990	1027	1123	1220	1039	1103	1159	1244	1320
Изоамилол	2557	2330	1953	1830	1718	3134	2799	2526	2342	2210
Энантовый эфир	23	27	25	17	13	19	27	21	20	17
Фенилэтиловый спирт	286	320	315	332	307	334	347	352	313	318
Сумма летучих компонентов*	4614	4505	4188	4072	3981	5417	5087	4895	4767	4658

*В сумме летучих компонентов учитывались все идентифицированные вещества, часть из них в данной таблице и далее по тексту не представлена.

*The sum of volatile components involved all identified substances, not all of which are represented in this table.

сусла до pH 3,5–3,0 приводит к повышению выхода средней фракции (дистиллята) за счет снижения потерь безводного спирта с головной и хвостовой фракций (табл. 3).

Не выявлено различий в распределении этанола по фракциям в зависимости от вида используемого сырья (хлеб пшеничный или смесь пшеничного и ржано-пшеничного хлеба).

Таким образом, подкисление сброженного сусла перед дистилляцией до pH 3,5–3,0 позволяет повысить экономическую эффективность процесса, независимо от состава исходного сырья.

Установлено, что подкисление влияет на распределение основных летучих компонентов по фракциям (табл. 4 и 5). Снижение pH сброженного сусла до значений 3,5–3,0 сопровождалось уменьшением более чем в 1,5 раза общего содержания ацетальдегида и этилацетата в средней фракции. Снижение содержания изобутанола и изоамилола при подкислении связано с интенсификацией реакции этерификации между высшими спиртами и высшими жирными кислотами в условиях повышенных температур в кубе дистилляционной установки. Возвратные отходы хлебопекарного производства, в отличие от традиционных видов крахмалсодержащего сырья (зерна), содержат деструктурированные остатки дрожжевой биомассы, в состав которых входят высшие жирные кислоты. В результате реакции этерификации образуются высококипящие сложные эфиры, которые концентрируются в барде.

Интенсификация эфиروобразования при подкислении сброженного сусла до pH 3,5–3,0 привела к повышению содержания компонентов энантового эфира (этилкапрата, этилкаприлата, этилкапроата) более чем на 75,0 %. Основными источниками образования этих эфиров являются высококипящие жирные кислоты (капроновая, каприловая, каприновая), вступающие во взаимодействие с этанолом. Отмечено максимальное концентрирование этиловых эфиров этих кислот в средней фракции дистиллята.

Особенностью данного вида крахмалсодержащего сырья является повышенное содержание фе-

нилэтилового спирта, который образуется при кислотном гидролизе аминокислоты фенилаланин. При дистилляции зернового и фруктового сырья фенилэтиловый спирт переходит в хвостовую фракцию и остается в барде. При дистилляции сброженного сусла из возвратных отходов хлебопекарного производства выявлено относительно высокое содержание данного компонента в средней фракции. Установлено, что повышение активной кислотности сброженного сусла до pH 3,0–2,5 способствовало росту содержания фенилэтилового спирта в средней фракции дистиллята на 25–60 %.

При подкислении сусла из смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба до pH 2,5 содержание высших спиртов в средней фракции снижалось в среднем на 13,5 %. При дистилляции сусла из пшеничного хлеба такие изменения в содержании высших спиртов не отмечены. Изменение распределения летучих компонентов по фракциям повлияло на их концентрацию в дистилляте и его дегустационную оценку. В дистиллятах из смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба сумма основных летучих компонентов была на 20–26 % выше, чем в дистиллятах из пшеничного хлеба, за счет высших спиртов. Не установлено строгой корреляции между величиной pH, суммой летучих компонентов и дегустационной оценкой дистиллятов. В опытных дистиллятах концентрация высших спиртов, в том числе изобутилового и изоамилового, составляла 992–2059 и 3394–5503 мг/дм³ б.с. соответственно, что значительно выше, чем в дистиллятах из фруктового сырья. Это связано с высокой концентрацией азотистых соединений в хлебе.

Не выявлено существенной корреляционной зависимости между концентрацией этих соединений и дегустационной оценкой дистиллятов (табл. 6).

В отличие от других видов дистиллятов в опытных образцах определили высокую концентрацию фенилэтилового спирта: в дистиллятах из пшеничного хлеба она составила от 30 до 68 мг/дм³ б.с., а в дистиллятах из смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба – от 42 до 96 мг/дм³ б.с. В дистиллятах, получивших наиболее высокий дегустационный балл (O1.2 и O2.2),

Таблица 3. Влияние степени подкисления на распределение этанола по фракциям

Table 3. Effect of acidification degree on the fractional distribution of ethanol

Фракции	Содержание безводного спирта во фракциях, % от общего									
	Без подкисления	Подкисление (pH)								
		4,0			3,5			3,0		
	K1	K2	K1.1	K2.1	K1.2	K2.2	K1.3	K2.3	K1.4	K2.4
Головная	8,7	7,5	8,2	7,0	6,9	6,0	7,0	6,3	7,7	6,7
Средняя	88,1	89,3	88,5	90,2	90,3	91,5	89,5	91,0	88,0	88,9
Хвостовая	0,9	1,1	1,0	0,7	0,6	0,3	1,5	0,4	2,1	1,3

Таблица 4. Влияние подкисления сброженного суслу из пшеничного хлеба на распределение летучих компонентов по фракциям

Table 4. Effect of acidification of fermented wheat bread wort on the fractional distribution of volatile components

Наименование компонента	Образец	Содержание компонента, мг из 10 кг сброженного суслу			
		Головная фракция	Средняя фракция	Хвостовая фракция	Общее содержание во фракциях
Ацетальдегид	K1	277	81	4	362
	K1.1	259	73	3	335
	K1.2	233	54	–	287
	K1.3	197	47	–	244
	K1.4	212	71	3	286
Этилацетат	K1	172	149	–	321
	K1.1	174	137	–	311
	K1.2	153	84	–	237
	K1.3	132	47	–	179
	K1.4	167	88	–	255
1-пропанол	K1	12	440	2	454
	K1.1	14	442	2	458
	K1.2	10	509	3	522
	K1.3	9	520	2	531
	K1.4	7	528	4	539
Изобутанол	K1	28	1251	3	1282
	K1.1	25	1018	6	1049
	K1.2	16	833	3	852
	K1.3	18	976	4	998
	K1.4	24	1078	10	1112
Изоамилол	K1	29	3251	27	3307
	K1.1	24	3069	20	3113
	K1.2	14	2830	20	2864
	K1.3	21	3100	–	3121
	K1.4	26	3192	22	3240
Сумма энантовых эфиров	K1	2	66	3	71
	K1.1	3	80	5	88
	K1.2	2	124	–	126
	K1.3	8	118	–	126
	K1.4	9	123	3	135
Фенилэтиловый спирт	K1	–	31	35	66
	K1.1	–	29	36	65
	K1.2	–	25	43	68
	K1.3	4	42	56	102
	K1.4	3	52	80	135

концентрация фенилэтилового спирта была минимальной. Установлено, что дистилляты из пшеничного хлеба уступали по органолептическим характеристикам дистиллятам из смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба. Наиболее высокими органолептическими характеристиками (чистота и насыщенность аромата и вкуса) обладали образцы дистиллятов из смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба O2.2 и O2.3. В этих образцах проводили подкисление суслу до pH 3,5–3,0. Среди дистиллятов из пшеничного хлеба лучшими по органолептическим характеристикам оказались образцы O1.2 и O1.3.

По результатам корреляционного анализа установлено, что негативное влияние на органолептические показатели дистиллятов оказывает повышенная концентрация ацетальдегида ($r_{xy} = -0,724$) и гексанола ($r_{xy} = -0,716$).

Наиболее высокий положительный коэффициент парной корреляции с дегустационной оценкой рассчитан для величины отношения концентрации изоамилола к сумме пропиловых и бутиловых спиртов ($r_{xy} = 0,894$).

Метанол является высокотоксичным компонентом и его концентрация строго регламентируется в дистиллятах. В исследованных образцах дистиллятов

Таблица 5. Влияние подкисления сброженного суслу из ржано-пшеничного хлеба на распределение летучих компонентов по фракциям

Table 5. Effect of acidification of fermented rye-wheat bread wort on the fractional distribution of volatile components

Наименование компонента	Образец	Содержание компонента, мг из 10 кг сброженного суслу			
		Головная фракция	Средняя фракция	Хвостовая фракция	Общее содержание во фракциях
Ацетальдегид	K2	249	73	3	325
	K2.1	239	66	3	308
	K2.2	226	43	–	269
	K2.3	178	43	2	223
	K2.4	202	52	–	254
Этилацетат	K2	151	131	–	282
	K2.1	153	130	–	283
	K2.2	142	79	–	221
	K2.3	115	39	–	154
	K2.4	143	61	–	204
1-пропанол	K2	13	479	3	495
	K2.1	15	482	2	499
	K2.2	12	554	–	566
	K2.3	10	580	2	592
	K2.4	8	621	–	629
Изобутанол	K2	33	1489	5	1527
	K2.1	30	1223	4	1257
	K2.2	19	991	5	1015
	K2.3	21	1035	2	1057
	K2.4	28	1218	13	1259
Изоамилол	K2	35	3979	33	4047
	K2.1	29	3756	25	3810
	K2.2	17	3426	24	3467
	K2.3	25	3480	–	3505
	K2.4	32	2565	27	3624
Сумма энантовых эфиров	K2	3	81	3	87
	K2.1	4	97	6	107
	K2.2	2	151	–	153
	K2.3	10	144	–	154
	K2.4	11	150	3	164
Фенилэтиловый спирт	K2	–	38	43	81
	K2.1	–	35	44	79
	K2.2	–	31	53	84
	K2.3	5	51	68	124
	K2.4	4	64	98	166

из возвратных отходов хлебопекарного производства обнаружены крайне низкие концентрации метанола. Не выявлено корреляции между уровнем активной кислотности дистиллируемого суслу и концентрацией метанола в дистилляте.

Математическая интерпретация взаимосвязи между величиной активной кислотности (рН), концентрацией ацетальдегида и дегустационной оценкой дистиллята, а также между значением рН, величиной отношения концентрации изоамилола к сумме пропиловых и бутиловых спиртов и дегустационной оценкой представлена на рисунке 1.

Результаты математической обработки позволили определить условия получения дистиллятов высокого качества из возвратных отходов хлебопекарного производства: использование в составе сырья смеси пшеничного и ржано-пшеничного хлеба в соотношении 1:1 и применение на стадии дистилляции подкисления сброженного суслу до рН 3,5–3,0. Объективными критериями оценки качества таких дистиллятов могут стать массовая концентрация ацетальдегида в пределах 50–70 мг/дм³ б.с. и величина отношения спиртов С₅ к сумме спиртов С₃ и С₄ в диапазоне от 2,10 до 2,25.

Таблица 6. Влияние качественного и количественного состава летучих компонентов на дегустационную оценку дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства

Table 6. Effect of the qualitative and quantitative composition of volatile components on the sensory profile of bakery waste distillates

Наименование показателя	Массовая концентрация, мг/дм ³ б.с.										r_{xy}
	K1	O1.1	O1.2	O1.3	O1.4	K2	O2.1	O2.2	O2.3	O2.4	
Метанол	20	18	15	15	17	25	23	20	21	24	0,062
Ацетальдегид	99	88	64	58	93	101	79	58	62	78	-0,724
Изобутир-альдегид	8	10	10	11	10	12	15	17	15	19	0,446
Ацетон	5	3	3	2	2	2	7	5	4	5	0,277
2-пропанол	3	1	–	–	3	4	2	–	1	2	-0,335
1-пропанол	537	531	606	626	693	663	651	748	788	867	0,219
Изобутанол	1527	1236	992	1208	1331	2059	1783	1337	1438	1691	-0,094
1-бутанол	7	4	3	3	5	9	7	5	6	7	-0,130
Изоамилол	3969	3689	3394	3766	3910	5503	5076	4623	4732	4956	0,242
Гексанол	24	20	12	12	17	19	15	8	7	13	-0,716
Фенилэтиловый спирт	38	35	30	52	68	53	47	42	73	96	-0,272
Изоамилацетат	22	17	12	10	10	17	9	7	6	13	-0,538
Этилацетат	182	165	100	58	60	160	156	107	56	72	-0,073
Этилкапроат	27	33	57	49	52	35	40	58	63	60	0,409
Этиллактат	5	10	15	20	22	7	11	17	15	19	-0,012
Этилкаприлат	22	27	42	47	52	31	53	66	72	75	0,355
Этилкапрат	32	35	52	50	53	46	38	80	71	80	0,403
Сумма альдегидов и кетонов	112	101	77	71	105	115	101	80	81	102	-0,642
Высшие спирты	6067	5481	5007	5615	5959	8257	7534	6721	6972	7536	0,151
Эфиры	290	287	278	234	249	296	307	335	283	319	0,416
Сумма энантовых эфиров	81	95	151	146	155	112	131	204	206	210	0,425
Сумма летучих компонентов	6527	5922	5407	5987	6398	8746	8012	7198	7430	8077	0,143
Соотношение спиртов C ₃ /сумма спиртов C ₃ и C ₄	1,91	2,08	2,12	2,05	1,92	2,01	2,08	2,21	2,12	1,93	0,894
Соотношение спиртов C ₃ /C ₄	0,35	0,43	0,61	0,52	0,52	0,32	0,36	0,56	0,55	0,51	0,325
Соотношение сумма энантовых эфиров/этилацетат	0,45	0,58	1,51	2,52	2,58	0,70	0,84	1,91	3,68	2,92	0,106
Дегустационная оценка, балл	8,2	8,3	8,7	8,5	8,0	8,5	8,6	8,9	8,7	8,3	

Выводы

Снижение pH осахаренного сусла с 5,5 до 4,5–3,5 приводит к уменьшению синтеза высших спиртов и эфиров высших жирных кислот в процессе его сбраживания. В этих условиях также было отмечено повышение массовой концентрации ацетона. Результаты исследования показали нецелесообразность подкисления сусла из возвратных отходов хлебопекарного производства на стадии сбраживания.

Установлено, что оптимальная степень подкисления сброженного сусла на стадии дистилляции – pH 3,5–3,0. При этих условиях выход средней фрак-

ции в пересчете на абсолютный алкоголь повышается на 2,0–2,2 %. При повышении активной кислотности сброженного сусла до pH 3,5–3,0 отмечалось снижение концентрации ацетальдегида и этилацетата в средней фракции дистиллята в среднем в 1,5 раза, а также повышение содержания компонентов энантового эфира и фенилэтилового спирта.

Повышение активной кислотности осахаренного сусла перед сбраживанием до значения pH ниже 3,0 нецелесообразно, т. к. это приводит к повышению объема головной и хвостовой фракций и снижению качества дистиллята.

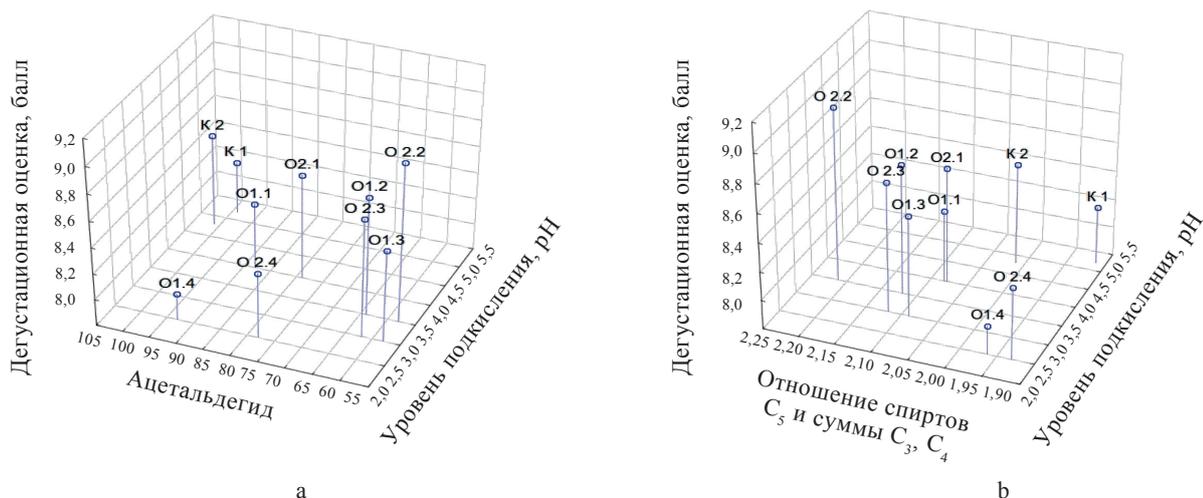


Рисунок 1. Изменение дегустационной оценки дистиллята в зависимости от pH сусле и концентрации ацетальдегида в дистилляте (а) и pH сусле и величины отношения высших спиртов C_5 к сумме спиртов C_3 и C_4 (б)

Figure 1. Effect of (a) wort pH and acetaldehyde concentration in the distillate and (b) wort pH and the ratio of higher C_5 alcohols to the sum of C_3 and C_4 alcohols on the sensory profile of the distillate

На основании математической обработки экспериментальных данных рекомендованы объективные критерии оценки качества дистиллятов из возвратных отходов хлебопекарного производства: массовая концентрация ацетальдегида и величина отношения спиртов C_5 к сумме спиртов C_3 и C_4 .

Критерии авторства

Все авторы внесли равный вклад в исследование и несут равную ответственность за информацию, опубликованную в данной статье.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and are equally responsible for the information published in this article.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. The hard bread [Internet]. [cited 2022 Feb 20]. Available from: <https://plus.rbc.ru/news/5b0309107a8aa9185dd2e978> [Трудный хлеб. URL: <https://plus.rbc.ru/news/5b0309107a8aa9185dd2e978> (дата обращения: 20.02.2022).].
2. Making a crust: Tesco to use unsold bread in new products [Internet]. [cited 2022 Feb 20]. Available from: <https://www.theguardian.com/environment/2019/jul/06/making-a-crust-tesco-to-use-unsold-bread-in-new-products>
3. Tonini D, Albizzati PF, Astrup TF. Environmental impacts of food waste: Learnings and challenges from a case study on UK. Waste Management. 2018;76:744–766. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.032>
4. Beer made from unsold bread is helping combat food waste [Internet]. [cited 2022 Feb 23]. Available from: <https://www.foodandwine.com/drinks/beer-made-unsold-bread-helping-combat-food-waste>
5. Velasco D, Senit JJ, De La Torre I, Santos TM, Yustos P, Santos VE. Optimization of the enzymatic saccharification process of milled orange wastes. Fermentation. 2017;3(3). <https://doi.org/10.3390/fermentation3030037>
6. Bilal M, Iqbal HMN. State-of-the-art strategies and applied perspectives of enzyme biocatalysis in food sector – current status and future trends. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020;60(12):2052–2066. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1627284>
7. Verni M, Rizzello CG, Coda R. Fermentation biotechnology applied to cereal industry by-products: Nutritional and functional insights. Frontiers in Nutrition. 2019;6. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00042>
8. Rimareva LV, Serba EM, Overchenko MB, Ignatova NI, Pogorzhelskaya NS, Krivova AYU. Role of enzymatic catalysis in the production of alcohol. Food Industry. 2021;(9):50–52. (In Russ.). <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.9.9.021>

9. Jatuwong K, Suwannarach N, Kumla J, Penkhrue W, Kakumyan P, Lumyong S. Bioprocess for production, characteristics, and biotechnological applications of fungal phytases. *Frontiers in Microbiology*. 2020;11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00188>
10. Krikunova LN, Dubinina EV. Study of protein complex of return waste of the bread-baking production. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*. 2018;53(6):63–66. (In Russ.). [Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В. Исследование белкового комплекса возвратных отходов хлебопекарного производства // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2018. Т. 53. № 6. С. 63–66.].
11. Krikunova LN, Dubinina EV, Obodeeva ON. Question of using the returnable waste of bakery production for distillates producing. *Beer and Beverages*. 2019;(1):64–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2019-00007>
12. Serba EM, Rimareva LV, Overchenko MB, Ignatova NI, Medrish ME, Pavlova AA, et al. Selecting multi-enzyme composition and preparation conditions for strong wort. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(3):384–392. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-384-392>
13. Balcerek M, Pielech-Przybylska K, Dziekońska-Kubczak U, Patelski P, Strak E. Fermentation results and chemical composition of agricultural distillates obtained from rye and barley grains and the corresponding malts as a source of amylolytic enzymes and starch. *Molecules*. 2016;21(10). <https://doi.org/10.3390/molecules21101320>
14. Zueva NV, Agafonov GV, Korchagina MV, Dolgov AN, Chusova AE. Selection of enzyme preparations and temperature-time regimes of water-heat and enzymatic treatment in the development of complex technology of processing of grain raw materials. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2019;81(1):112–119. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-112-119>
15. Kłosowski G, Mikulski D, Macko D, Miklaszewska B, Kotarska K, Czupryński B. Influence of various yeast strains and selected starchy raw materials on production of higher alcohols during the alcoholic fermentation process. *European Food Research and Technology*. 2014;240(1):233–242. <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2323-8>
16. Rimareva LV, Overchenko MB, Ignatova NI, Serba EM, Krivova AYu. Biotechnological aspects of the production of alcohol from secondary raw materials of food production. *Food Industry*. 2020;(5):55–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10056>
17. Kłosowski G, Czupryński B, Wolska M. Characteristics of alcoholic fermentation with the application of *Saccharomyces cerevisiae* yeasts: As-4 strain and I-7-43 fusant with amylolytic properties. *Journal of Food Engineering*. 2006;76(4):500–505. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.048>
18. Kłosowski G, Mikulski D, Czupryński B, Kotarska K. Characterisation of fermentation of high-gravity maize mashes with the application of pullulanase, proteolytic enzymes and enzymes degrading non-starch polysaccharides. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2010;109(5):466–471. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2009.10.024>
19. Polyakov VA, Serba EM, Overchenko MB, Ignatova NI, Rimareva LV. The effect of a complex phytase-containing enzyme preparation on the process of rye wort fermentation. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(2):221–228. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-221-228>
20. Rimareva LV, Serba EM, Overchenko MB, Shelekhova NV, Ignatova NI, Pavlova AA. Enzyme complexes for activating yeast generation and ethanol fermentation. *Foods and Raw Materials*. 2022;10(1):127–136. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-127-136>
21. Serna-Saldivar SO. Production of malts, beer, alcohol spirit and fuel ethanol. In: Serna-Saldivar SO, editor. *Cereal grains. Properties, processing and nutritional attributes*. Boca Raton: CRC Press; 2010. pp. 417–463. <https://doi.org/10.1201/9781439882092>
22. Ponomareva OI, Borisova EV, Prokhorchik IP. Acid-resistant strains of *Saccharomyces cerevisiae* yeast in the production of acid ales. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2018;(1):41–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2018-17-1-41-47>
23. Baltaci SF, Hamamci H. The simultaneous saccharification and fermentation of malt dust and use in the acidification of mash. *Journal of the Institute of Brewing*. 2019;125(2):230–234. <https://doi.org/10.1002/jib.554>
24. Adedeji OA, Audu TM. Natural fermentation of *Pyrus communis* (Pear) mesocarp by associated consortium fungal specie. *Journal of Microbiology and Pathology*. 2018;2(1).
25. Tsegay ZT, Sathyanarayana CB, Lemma SM. Optimization of cactus pear fruit fermentation process for wine production. *Foods*. 2018;7(8). <https://doi.org/10.3390/foods7080121>
26. Li B, Gao X, Li N, Mei J. Fermentation process of mulberry juice-whey based Tibetan kefir beverage production. *Czech Journal of Food Sciences*. 2018;36(6):494–501. <https://doi.org/10.17221/468/2017-CJFS>

27. Chidi BS, Bauer FF, Rossouw D. Organic acid metabolism and the impact of fermentation practices on wine acidity – A review. *South African Journal for Enology and Viticulture*. 2018;39(2):315–329. <https://doi.org/10.21548/39-2-3172>

28. Stewart GG. The production of secondary metabolites with flavour potential during brewing and distilling wort fermentations. *Fermentation*. 2017;3(4). <https://doi.org/10.3390/fermentation3040063>

29. Balcerek M, Pielech-Przybylska K, Strak E, Patelski P, Dziekońska U. Comparison of fermentation results and quality of the agricultural distillates obtained by application of commercial amylolytic preparations and cereal malts. *European Food Research and Technology*. 2016;242(3):321–335. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2542-7>

30. Krikunova LN, Dubinina EV. Effect of distillation methods on qualitative characteristics of distillates obtained from dried Jerusalem artichoke. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2018;48(1):48–56. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-1-48-56>

31. Dubinina EV, Krikunova LN, Peschanskaya VA, Trishkaneva MV. Scientific aspects of identification criteria for fruit distillates. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(3):480–491. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-480-491>

32. Balcerek M, Pielech-Przybylska K, Patelski P, Dziekońska-Kubczak U, Strak E. 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*. 2017;123(3):452–463. <https://doi.org/10.1002/jib.441>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2400>
<https://elibrary.ru/AWDXKN>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Устойчивая сырьевая база как фактор конкурентоспособности предприятий сыроделия



С. В. Панасенко¹, Н. М. Сурай^{1,*}, А. Л. Таточенко²,
Н. П. Родинова³, В. М. Остроухов³

¹ Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова^{ROR}, Москва, Россия

² Институт государственного администрирования^{ROR}, Москва, Россия

³ Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)^{ROR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 28.03.2022

Принята после рецензирования: 18.04.2022

Принята к публикации: 03.05.2022

*Н. М. Сурай: natalya.mixajlovna.1979@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0001-6219-4363>

С. В. Панасенко: <https://orcid.org/0000-0002-7884-6124>

А. Л. Таточенко: <https://orcid.org/0000-0001-8745-3181>

Н. П. Родинова: <https://orcid.org/0000-0002-6118-4662>

В. М. Остроухов: <https://orcid.org/0000-0002-7949-8758>

© С. В. Панасенко, Н. М. Сурай, А. Л. Таточенко,

Н. П. Родинова, В. М. Остроухов, 2022



Аннотация.

Для российских производителей увеличение объемов выпуска сыра остается актуальной проблемой. Путем ее решения может стать обеспечение устойчивой сырьевой базы производства на основе передового мирового опыта. Цель данной работы заключалась в анализе показателей сырьевого обеспечения в странах, являющихся мировыми лидерами по производству сыра, для формирования системы целевых ориентиров российского сыроделия.

Объектами исследования являлись показатели производственной деятельности ведущих мировых сыропроизводителей в аспекте сырьевого обеспечения. Информационной базой стали научные работы по проблематике исследования, нормативные и законодательные документы, а также базы данных Росстата и организаций мирового молочного рынка – CLAL и Atlas Big – на временном интервале 2017–2022 гг. Данные обрабатывались методами статистики (обобщение, систематизация, расчет характеристик распределения) и эконометрики (корреляционный и регрессионный анализ). Это позволило рассчитать статистические характеристики показателей сырьевого обеспечения, оценить тесноту межфакторных связей, а также получить регрессионные уравнения, описывающие данные связи в количественном отношении.

В работе исследовали объемы общего и среднелитрового производства сыра в различных регионах мира. Определили группу лидеров (20 стран со среднелитровым объемом производства 26,5 кг) и рассчитали ключевые показатели сырьевого обеспечения (душевое производство молока, поголовье, структура и производительность молочного стада). Анализ данных показал проблемы с сырьевой базой в отечественной сыродельческой отрасли. Душевое производство молока в РФ (206,3 кг) ниже среднего по группе лидеров (489,4 кг), что связано с отставанием по молочной продуктивности коров (4492 кг – РФ, 7061 кг – среднее по группе). Авторами были получены уравнения регрессии (при коэффициентах детерминации 0,8 и выше) для расчетов основных параметров сырьевой базы отечественного сыроделия, обеспечивающих выполнение критериев продовольственной безопасности по молочной продукции. Расчеты показали, что выполнение критериев достигается при душевом производстве молока 388 кг. С учетом имеющегося поголовья коров (7,9 млн голов) их молочная производительность должна быть увеличена до 7146 кг. Достижение требуемого значения возможно за счет совершенствования рационов питания и селекционной работы.

Результаты исследования имеют практическую значимость при решении задач обеспечения устойчивой сырьевой базы российского сыроделия. Также их можно применить при разработке целевых ориентиров для предприятий агропромышленного комплекса в сегменте молочного животноводства. Используемые при выполнении работы аналитические методы обеспечивают высокую достоверность результатов.

Ключевые слова. Сыроделие, производство, потребление, сырье, молоко, поголовье, молочная производительность, корреляция, регрессия

Финансирование. Исследование выполнено в соответствии с Государственным заданием Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)^{ROR} FSSW-2020-0009 «Разработка методологии управления конкурентоспособностью предприятий в сфере товарного обращения в условиях цифровой экономики».

Для цитирования: Устойчивая сырьевая база как фактор конкурентоспособности предприятий сыроделия / С. В. Панасенко [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 706–717. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2400>

Sustainable Raw Material Base as a Factor of Competitiveness of Cheese-Making Enterprises

Svetlana V. Panasenko¹, Natalya M. Suray^{1,*},
Alexander L. Tatochenko², Nadezhda P. Rodinova³,
Vladimir M. Ostroukhov³



¹ Plekhanov Russian University of Economics^{ROR}, Moscow, Russia

² Institute of State Administration^{ROR}, Moscow, Russia

³ K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University)^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 28.03.2022
Revised: 18.04.2022
Accepted: 03.05.2022

*Natalya M. Suray: natalya.mixajlovna.1979@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6219-4363>
Svetlana V. Panasenko: <https://orcid.org/0000-0002-7884-6124>
Alexander L. Tatochenko: <https://orcid.org/0000-0001-8745-3181>
Nadezhda P. Rodinova: <https://orcid.org/0000-0002-6118-4662>
Vladimir M. Ostroukhov: <https://orcid.org/0000-0002-7949-8758>

© S.V. Panasenko, N.M. Suray, A.L. Tatochenko,
N.P. Rodinova, V.M. Ostroukhov, 2022



Abstract.

Russian cheese producers strive to increase their production. A sustainable best-experience raw material base can solve this problem. The authors analyzed the raw material supply in the leading cheese-producing countries in order to develop a system of new targets for Russian cheesemakers.

The study featured the performance indicators of the world's leading cheese producers in terms of raw material supply. It relied on scientific, regulatory, and legislative documents. The study also included databases (2017–2022) published by the Federal State Statistics Service, the dairy economic consulting firm CLAL, and the Atlas Big site of international and regional data statistics. The data were processed by statistical methods, e.g., generalization, systematization, distribution, etc., and econometrics, e.g., correlation, regression analysis, etc. The authors calculated the statistical characteristics of raw material supply indicators, assessed the interfactorial relationships, and obtained regression equations to describe these relationships in quantitative terms.

The calculations involved the volumes of total and per capita cheese production in various regions of the world. The group of leaders included twenty countries with an average production per capita of 26.5 kg. The key indicators of raw material supply included milk production per capita, livestock, structure, and milk cattle productivity. The research revealed some raw material problems in the domestic cheese industry. For instance, domestic milk production per capita (206.3 kg) is below the average for the leading countries (489.4 kg). This issue is associated with the low milk cattle productivity, which is 4492 kg in the Russian Federation and 7061 kg in the leading cheese-producing countries. The regression equations used determination coefficients of ≥ 0.8 to calculate the main parameters of the domestic cheese-making base that would meet dairy food security criteria. A milk production of 388 kg per capita proved to be the minimal amount that would guarantee food security in the domestic cheese sector. However, the existing number of cows (7.9 million) means that the milk productivity cannot fall below 7146 kg. The required value can be obtained by improving diets and selection.

The analytical methods developed in this research provided highly reliable results. These results can solve the problems of providing Russian cheesemakers with a sustainable raw material base, as well as set new targets for agro-industrial dairy enterprises.

Keywords. Cheese-making, production, consumption, raw materials, milk, livestock, dairy productivity, correlation, regression

Funding. The study was part of State Task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)^{ROR} No. FSSW-2020-0009 “New methods for sustainable competitiveness of commodity circulation enterprises in the digital economy”.

For citation: Panasenko SV, Suray NM, Tatochenko AL, Rodinova NP, Ostroukhov VM. Sustainable Raw Material Base as a Factor of Competitiveness of Cheese-Making Enterprises. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):706–717. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2400>

Введение

Молоко является неотъемлемой частью рациона питания человека. Это связано с тем, что молоко и молочные продукты действуют как резервуары энергии и макроэлементов в виде целого ряда белков, углеводов, липидов, минералов и витаминов. Одним из таких молочных продуктов является сыр [1]. Сыр – ценный пищевой продукт, занимающий важное место в здоровом повседневном рационе человека. Он содержит до 25 % легкоусвояемого белка, аминокислоты (метионин и триптофан), витамины В, С, D, Е и F, а также минеральные вещества Ca, Mg, Fe, Zn и пр. Сыр рекомендован как продукт функционального питания для людей пожилого возраста [2]. Разработанная Минздравом РФ рациональная норма потребления по сыру составляет 7 кг/чел/год. Согласно данным официальной статистики рациональная норма потребления выполняется, но около 30 % продукции поступает в РФ по импорту, по твердым сырам показатель достигает 40 %. Исследования подтверждают высокую востребованность сыра российскими потребителями в условиях проводимой политики импортозамещения [3]. Сложнее ситуация с творогом. Согласно оценкам экспертов молочного рынка его душевое потребление в 2019 г. составило 5,3 кг или 29 % от рациональной нормы потребления (18 кг). Согласно данным Росстата в 2020 г. РФ импортировала 316 тыс. т сыров, т. е. примерно 2,2 кг/чел или 31 % от рациональной нормы потребления. За 8 месяцев 2021 г. импорт сыров вырос на 14 % в сравнении с аналогичным периодом предыдущего года, достигнув величины 222 тыс. т. Такие высокие объемы являются серьезной проблемой, поскольку в условиях неблагоприятной внешнеполитической обстановки компенсация дефицита продукта за счет импорта маловероятна. Доктриной продовольственной безопасности РФ установлен критерий по молоку и молокопродуктам на уровне 90 %. Это означает, что доля импорта в запасах ресурса на внутреннем рынке не должна превышать 10 %. Лимит по импорту превышен втрое, поэтому особую актуальность приобретает задача увеличения объемов выпуска сыра отечественными производителями. При решении данной задачи целесообразно использовать передовой мировой опыт.

В Российской Федерации молоко и молочные продукты включены в перечень Доктрины продовольственной безопасности и имеют первостепенное значение для продовольственного рациона населения [4].

Цель работы – анализ ключевых показателей профильных отраслей в странах-лидерах на мировом рынке сыра как в укрупненном масштабе (континенты), так и по отдельным странам. Необходимо рассмотреть показатели сырьевого обеспечения отрасли, т. к. с производством молока в необходимых количествах

РФ также испытывает проблемы [5]. Результаты анализа будут использованы отечественными производителями для формирования системы целевых ориентиров.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись количественные показатели производственной деятельности мировых стран-лидеров по производству сыра. В соответствии с заявленной целью работы особое внимание уделено аспектам сырьевого обеспечения. Информационной базой послужили научные работы по проблематике исследования, нормативные и законодательные документы, базы данных Росстата и участников мирового молочного рынка.

На начальном этапе выявлялись ведущие производители на региональном уровне (континенты). Вопросы региональной сегментации рынка сыра подробно освещаются в ряде исследований, но приводимых в них данных недостаточно для полноценного анализа [6–8]. Полные и конкретные сведения о количественных характеристиках сыропроизводства в регионах мира публикует портал Atlas Big [9].

Информация о производстве в 2018 г. сыра (общем и душевом) во всех 108 странах-производителях представлена как в табличном, так и в графическом (интерактивные карты) виде. Полных данных за более поздние годы к моменту написания статьи авторам найти не удалось, поэтому в дальнейшем все показатели будут приводиться по 2018 г.

Сгруппированные по регионам данные представлены в таблице 1 (строки 2, 9 и 12). Производственные показатели дополнены демографическими (строки 1 и 5) согласно данным статистического сборника «Россия и страны мира» [10]. На основании их совокупности рассчитан ряд дополнительных показателей, отражающих основные соотношения в региональном аспекте (строки 3, 4, 6, 7, 8, 10 и 11).

На основании данных таблицы 1 можно сделать следующие выводы:

1. Регионом-лидером сыроделия является Европа, обеспечивающая 52,2 % общемирового производства. Более 90 % стран региона производят сыр. Исключение составляют «карликовые государства» Андорра, Лихтенштейн, Монако и Сан-Марино с общим населением менее 200 тыс. человек (строки 1 и 2). Практически все население континента (99,7 %) проживает в странах-производителях, поэтому душевое производство в них равно обще-европейскому (строки 11 и 12) и составляет 15,8 кг.

Ирландия имеет давнюю традицию молочного животноводства и производства молочных продуктов для международных рынков, прежде всего масла и сыра. Сегодня Ирландия является одним из крупнейших производителей коровьего молока в

Таблица 1. Показатели производства сыра в регионах мира

Table 1. Indicators of cheese production in various regions of the world

№ п/п	Показатель	Регион	Европа	Америка*	Азия**	Африка	Австралия и Океания	Итого
1	Число стран в регионе		44	35	50	54	14	197
2	в т. ч. стран, производящих сыр		40	20	27	19	2	108
3	Доля производителей сыра среди стран региона, %		90,9	57,1	54,0	35,2	14,3	54,8
4	Доля региональных производителей в общемировом числе производителей, %		37,0	18,5	25,0	17,6	1,9	100
5	Население региона, млн человек		751,0	874,7	4560,7	1216	41,6	7444,0
6	в т. ч. в странах-производителях сыра, млн человек		748,9	975,7	3373,9	804,6	30,0	5933,1
7	Доля стран-производителей в населении региона, %		99,7	97,9	74,0	66,2	72,0	79,7
8	Доля населения региональных производителей в общей численности населения стран, производящих сыр, %		12,6	16,4	56,9	13,6	0,5	100,0
9	Объем производства сыра в регионе, тыс. т		11 830 903	7 413 701	1 640 620	1 129 925	636 460	22 651 609
10	Доля региона в общемировом производстве, %		52,2	32,7	7,2	5,0	2,8	100,0
11	Душевое производство сыра в регионе, кг		15,8	7,4	0,4	0,9	15,3	3,0
12	В странах-производителях региона, кг		15,8	7,6	0,5	1,4	21,2	3,8

*Северная и Южная Америка и страны Карибского бассейна;

**Включая страны, политически относимые к Европе, но географически расположенные в Азии;

Составлено авторами на основе данных источников [9, 10].

*North America, South America, and the countries of the Caribbean;

**This group includes countries that are politically related to Europe, but geographically located in Asia;

The table was compiled by the authors based on [9, 10].

Европе и признанным производителем молочных продуктов и ингредиентов. Примерно 7 % всего молока Ирландии используется для потребления жидкого молока, а остальная часть (93 %) перерабатывается в различные продукты, включая масло, сыр, сухое молоко, сыворотку и белки [11].

2. Второе место занимает Америка с долей производства сыра в мире 32,7 %, но в данном регионе картина не столь однородна, как в Европе. Крупнейшим производителем сыра являются США, заметна роль Канады и ряда южноамериканских стран, а в странах Карибского бассейна производство сыра не достигает существенных объемов. Данная ситуация отражается следующей статистикой: лишь 57,1 % стран региона практикуют сыроделие, но в них проживает 97,9 % населения региона – сказывается эффект масштаба, создаваемый США, Канадой, Бразилией и Аргентиной. Душевое производство в странах-производителях и по региону в целом различаются незначительно – 7,6 и 7,4 кг соответственно. Однако внутренняя вариация показателя сильна: в Уругвае и США значения показателя кратно выше среднерегиональных (22,9 и 17,0 кг соответственно).

Молочная промышленность в Китае и Соединенных Штатах отличается во многих аспектах, но обе сильно пострадали от пандемии COVID-19 [12].

Американские предприятия по производству молочной продукции расположены вблизи молочных ферм для легкого доступа к поставкам сырого молока. Это делает их предприятиями, ориентированными на поставки [13].

3. Далее следуют регионы-аутсайдеры: Азия, Африка и Австралия-Океания с долями в мировом производстве 7,2, 5,0 и 2,8 % соответственно. Для них характерна низкая вовлеченность в процессы сыроделия – 54,0, 35,2 и 14,3 % соответственно. Однако доли населения стран-производителей в региональной популяции более существенны – 74,0, 66,2 и 72,0 % соответственно. Это свидетельствует о концентрации производства в крупных странах. В особенности ярко это проявляется в Океании, где производством сыра заняты лишь Австралия и Новая Зеландия, совместно обеспечивающие самое высокое душевое производство (21,2 кг) и «подтягивающие» региональный показатель (15,3 кг) практически до европейского. Очевиден вывод о наличии высокого экспортного потенциала региона. Низкие показатели

производства сыра в Азии и Африке обусловлены низкой популярностью продукта в национальной кухне. Китай с его огромным населением активно потребляет растительный аналог сыра – соевый творог тофу, в Индии с ее очень большим стадом крупного рогатого скота молоко перерабатывается в масло и йогурт, в Африке сыроделие в заметных объемах избирательно представлено на севере континента (Египет, страны Магриба).

Итак, около 88 % мирового производства сыра сосредоточено в Европе и Америке, а также в Новой Зеландии и Австралии при безоговорочном лидерстве Европы.

На втором этапе исследования выделялась группа стран-производителей с наилучшими показателями общего и душевого производства сыра на основании данных источника [8]. Сыр в 2018 г. производился в 108 странах мира. С точки зрения статистики это большая совокупность, которая может подчиняться нормальному закону распределения. Если данное предположение подтвердится, то описание ее количественных характеристик

упростится. Критерием отнесения совокупности к нормально распределенной является ее однородность, оцениваемая по коэффициенту вариации, который не должен превышать 30 %. Неоднородность показателей оказывается очень высокой: максимальное значение общего производства составляет 5 584 857 млн т (США), а минимальное – 0,011 млн т (Грузия), для душевого производства соответствующие значения – 66,311 (Новая Зеландия) и 0,002 кг (Индия). Коэффициенты вариации равны: для общего производства – 303 %, для душевого производства – 149 %. Совокупность не является однородной, поэтому нормальный закон распределения к ней неприменим. Общемировой объем производства сыра в 2018 г. составил 22 651 609 млн т. Из 108 стран-производителей 77 обеспечивают 99,5 % общемирового производства (в т. ч. США – 24,7 %). Оставшиеся страны (31) имеют индивидуальные доли в общем производстве менее 0,5 %, в т. ч. 12 стран – менее 0,01 %. Выявили страны, лидирующие по объемам производства сыра. Критерий включения в список – доля в мировом производстве 1 % и более (табл. 2).

Таблица 2. Страны-лидеры по общему объему производства сыра

Table 2. Leaders in total cheese production

№ п/п	Страна	Производство, млн т	Душевое производство, кг	Доля в мировом производстве, %	Накопленная доля, %
1	Соединенные Штаты Америки	5 584 857	17,0	24,7	24,7
2	Германия	2 740 582	33,1	12,1	36,8
3	Франция	1 886 044	28,0	8,3	45,1
4	Италия	1 253 842	20,7	5,5	50,6
5	Нидерланды	771 941	44,7	3,4	54,0
6	Польша	744 044	19,4	3,3	57,3
7	Российская Федерация	664 000	4,5	2,9	60,2
8	Египет	628 750	6,4	2,8	63,0
9	Чехия	568 577	53,6	2,5	65,5
10	Аргентина	558 907	12,6	2,5	68,0
11	Великобритания	410 000	6,2	1,8	69,8
12	Канада	407 260	10,9	1,8	71,6
13	Дания	369 100	63,7	1,6	73,2
14	Новая Зеландия	325 000	66,3	1,4	74,7
15	Австралия	311 460	12,4	1,4	76,0
16	Китайская народная республика	252 550	0,2	1,1	77,2
17	Иран	241 125	2,9	1,1	78,2
18	Испания	227 769	4,9	1,0	79,2
19	Греция	220 100	20,4	1,0	80,2
20	Австрия	219 096	24,8	1,0	81,2
21	Швейцария	206 336	24,3	0,9	82,1
22	Турция	203 933	2,5	0,9	83,0

Жирным шрифтом выделены страны, вошедшие в состав лидеров как по общему, так и по душевому производству;

Составлено авторами на основании данных источника [9].

Countries in bold are leaders both in terms of total and per capita production;

The table was compiled by the authors based on [9].

Также выявили лидеров в душевом производстве. Критерий включения в список – уровень, соответствующий среднеевропейскому показателю (15,8 кг) или выше (табл. 3).

Данные таблиц 2 и 3 подтверждают закон Парето: «20–25 % усилий дают 75–80 % результата». Из таблицы 2 видно, что 20 стран-производителей (18,5 % от общего числа) обеспечивают 81,2 % мирового выпуска. Классические «сырные» страны Швейцария и Турция в список не вошли, т. к. их доли в мировом производстве не достигают 1 % (строки 21 и 22). Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что 26 стран (24 % участников) вырабатывают 74,7 % продукции. Израиль и следующие за ним страны в лидеры не попадают, поскольку душевое производство в них ниже среднеевропейского (строки 21–26).

В региональном разрезе можно сделать вывод о том, что 12 из 20 крупнейших стран-производителей (60 %) располагаются в Европе, 3 – в Америке

(15 %), по 2 – в Океании и Азии (5 %) и 1 – в Африке (5 %). Среди лидеров по душевому производству к Европе относятся 17 стран (85 %), к Америке – 2 (10 %), к Океании – 1 (5 %).

Для выбора «лучших из лучших» выделили страны, вошедшие в оба списка. Всего их 11 и в таблицах 2 и 3 они выделены жирным шрифтом, 9 из них или 82 % относятся к Европе, только по 1 к Америке и Океании (9 %). Таким образом, лидерство стран Европы в сыроделии на укрупненном (регионы) уровне подтверждается на индивидуальном (страны). На дальнейших этапах исследования данные для группы стран-лидеров дополнялись показателями сырьевого обеспечения (душевое производство молока, поголовье крупного рогатого скота и коров, молочная продуктивность коров) на основании материалов Росстата [10]. Хотя в мировой практике для изготовления сыра используется молоко самых различных сельскохозяйственных животных,

Таблица 3. Страны-лидеры по душевому объему производства сыра

Table 3. Leaders in cheese production per capita

№ п/п	Страна	Производство, млн т	Душевое производство, кг	Доля в мировом производстве, %	Накопленная доля, %
1	Новая Зеландия	325 000	66,3	1,4	1,4
2	Дания	369 100	63,7	1,6	3,1
3	Чехия	568 577	53,6	2,5	5,6
4	Нидерланды	771 941	44,7	3,4	9,0
5	Ирландия	191 400	39,4	0,8	9,8
6	Исландия	12 060	34,2	0,1	9,9
7	Германия	2 740 582	33,1	12,1	22,0
8	Эстония	40 500	30,7	0,2	22,2
9	Литва	82 891	29,6	0,4	22,5
10	Франция	1 886 044	28,0	8,3	30,9
11	Австрия	219 096	24,8	1,0	31,8
12	Швейцария	206 336	24,3	0,9	32,7
13	Уругвай	80 200	22,9	0,4	33,1
14	Италия	1 253 842	20,7	5,5	38,6
15	Греция	220 100	20,4	1,0	39,6
16	Польша	744 044	19,4	3,3	42,9
17	Беларусь	175 679	18,5	0,8	43,6
18	Латвия	35 160	18,3	0,2	43,8
19	Финляндия	99 126	18,0	0,4	44,2
20	Соединенные Штаты Америки	5 584 857	17,0	24,7	68,9
21	Израиль	132 420	14,9	0,6	69,5
22	Норвегия	76 200	14,3	0,3	69,8
23	Южный Судан	156 565	12,7	0,7	70,5
24	Аргентина	558 907	12,6	2,5	73,0
25	Австралия	311 460	12,4	1,4	74,4
26	Болгария	83 853	11,9	0,4	74,7

Жирным шрифтом выделены страны, вошедшие в состав лидеров как по общему, так и по душевому производству;

Составлено авторами на основании данных источника [9].

Countries in bold are leaders both in terms of total and per capita production;

The table was compiled by the authors based on [9].

в т. ч. верблюдов и ослов, для Европы наиболее традиционным сырьем является коровье молоко [14, 15]. Полученный массив данных обрабатывался методами статистики (обобщение, систематизация, расчет характеристик распределения) и эконометрики (корреляционный и регрессионный анализ). Данные действия позволили рассчитать статистические характеристики показателей сырьевого обеспечения, оценить тесноту межфакторных связей, а также получить регрессионные уравнения, описывающие данные связи. Таким образом, примененный методический подход к сбору и обработке данных обеспечивает достоверность результатов исследования.

Результаты и их обсуждение

Исходя из предшествующего анализа, отобрали страны Европы, вошедшие в первый или во второй список лидеров (табл. 2 и 3). В 19 отобранных стран вошла РФ как крупный производитель, вырабатывающий 664 тыс. т продукции и занимающий по данному показателю 6-е место.

Любое производство начинается с обеспечения необходимой сырьевой базы. Сырьем для сыроделия служит молоко, которое дают коровы, относящиеся в категории сельскохозяйственных животных к группе крупного рогатого скота и характеризующиеся показателем молочной продуктивности. Выясним, каковы в выделенной группе стран основные количественные соотношения между названными показателями, а также их возможные связи с объемами общего и душевого производства сыра. Соответствующие сведения по состоянию на 2018 г. публикует Росстат (табл. 4) [10].

В столбцах таблицы 4 представлены следующие показатели по 19 странам в виде следующих переменных: X_1 – производство молока, млн т; X_2 – душевое производство молока, кг; X_3 – численность населения, млн человек, рассчитывается по соотношению переменных X_1 и X_2 ; X_4 – поголовье крупного рогатого скота, млн голов; X_5 – соотношение поголовья крупного рогатого скота и населения (число голов крупного рогатого скота на 1 жителя), отн.ед., рассчитывается по соотношению переменных X_3 и X_4 ; X_6 – объем производства молока, млн т; X_7 – душевое производство молока, кг, рассчитывается по соотношению переменных X_3 и X_6 ; X_8 – молочная продуктивность коров (надой на 1 корову), кг; X_9 – поголовье коров, млн голов, рассчитывается по соотношению показателей X_6 и X_9 ; X_{10} – соотношение поголовья коров и крупного рогатого скота (число коров на 1 голову КРС), отн.ед., рассчитывается по соотношению показателей X_4 и X_{10}

Показатели X_1 и X_2 приводятся по источнику [8], X_4 , X_6 , X_8 – по [9], X_3 , X_5 , X_7 , X_9 и X_{10} рассчитаны авторами. Для каждой переменной вычислялись математическое ожидание, среднее квадратическое

отклонение и коэффициент вариации – строки 20–22. Из расчетов видно, что выборка характеризуется высокими значениями неоднородности. Коэффициент вариации меньше 30 % наблюдается только у молочной продуктивности коров (X_8) и соотношения поголовья коров и крупного рогатого скота (X_{10}), т. е. только эти показатели можно считать нормально распределенными. Рассчитали для них доверительные интервалы по Стьюденту (доверительная вероятность 95 %, число степеней свободы – 18) – они служат маркером центра распределения. Границы интервалов лежат в пределах 6236–7887 кг и 0,26–0,34 отн.ед. соответственно. Россия со значениями показателей 4492 кг и 0,37 отн.ед. (строка 6) в границы доверительных интервалов не входит. Беларусь имеет близкое к РФ значение надоев – 4894 кг (разница 9 %). По соотношению коров и крупного рогатого скота РФ входит в ядро распределения (70 % значений с отклонениями от математического ожидания не более 1,07 среднее квадратическое отклонения) с границами 0,22–0,39 отн.ед. Однако по молочной продуктивности отставание более выражено. Для вхождения в ядро распределения (нижняя граница 5228 кг) необходим рост на 20 %, а в центр распределения (нижняя граница 6236 кг) – на 40 %. По другим переменным, не подчиняющихся нормальному закону распределения, интервальные оценки теряют смысл. Однако следует обратить внимание на критическое отставание России по душевому производству сыра (X_2): значение показателя (4,5 кг) в 5,9 раза ниже, чем его математическое отклонение (26,5 кг). Наилучшие результаты показывают страны с небольшой численностью населения. Дания, Чехия и Нидерланды производят 63,7, 53,6 и 44,7 кг сыра на душу при численности населения 5,8, 10,6 и 17,3 млн человек соответственно (строки 9, 7 и 4) при математическом отклонении показателя 30,4 млн человек (строка 20).

Проанализировали возможные взаимосвязи между переменными, построив корреляционную матрицу (табл. 5). Ее элементы, соответствующие тесным связям (коэффициент корреляции выше 0,70), отмечены сиреневой заливкой, а заметным связям (0,50–0,69) – жирным шрифтом.

Объемы общего производства сыра тесно связаны с объемами производства молока (X_1X_6 – 0,82), а заметно – с численностью населения и поголовьем коров (X_1X_3 – 0,58, X_1X_9 – 0,62). Также отмечается теснота связи душевого производства сыра и молока (X_2X_7 – 0,53). Данные связи свидетельствуют о том, что в Европе производство сыра является приоритетным направлением переработки молока, поскольку сыр играет важную роль в питании населения. Численность населения оказывается тесно связанной с объемами производства молока (X_3X_6 – 0,89), поголовьем крупного рогатого скота (X_3X_4 – 0,88) и коров (X_3X_9 – 0,93). Производство

Таблица 4. Показатели сырьевой обеспеченности сыра ведущих стран-производителей сыра

Table 4. Indicators of cheese raw material supply in the leading cheese-producing countries

№ п/п	Показатель Страна	Производство сыра, т	Производство сыра на душу, кг	Население, млн человек	Крупный рогатый скот, млн голов	Крупный рогатый скот/ население, отн.ед.	Производство молока, млн т	Производство молока на душу, кг	Надой, кг	Коров, млн голов	Коров/крупный рогатый скот, отн.ед.
		X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
1	Германия	2 740 582	33,1	82,7	12,0	0,15	33,1	400,0	8063	4,1	0,34
2	Франция	1 886 044	28,0	67,3	18,5	0,27	25,5	378,9	7190	3,5	0,19
3	Италия	1 253 842	20,7	60,4	6,3	0,10	11,9	196,9	7054	1,7	0,27
4	Нидерланды	771 941	44,7	17,3	3,9	0,23	10,6	614,4	7057	1,5	0,39
5	Польша	744 044	19,4	38,4	6,2	0,16	14,2	369,5	6346	2,2	0,36
6	Россия	664 000	4,5	146,9	18,2	0,12	30,3	206,3	4492	6,7	0,37
7	Чехия	568 577	53,6	10,6	1,4	0,13	3,2	301,5	8756	0,4	0,26
8	Великобритания	410 000	6,2	66,0	9,9	0,15	15,3	231,7	8140	1,9	0,19
9	Дания	369 100	63,7	5,8	1,5	0,26	5,7	984,5	9895	0,6	0,38
10	Испания	227 769	4,9	46,7	6,5	0,14	7,1	152,2	8714	0,8	0,13
11	Греция	220 100	20,4	10,8	0,6	0,06	0,7	65,0	3664	0,2	0,32
12	Австрия	219 096	24,8	8,8	1,9	0,21	3,8	430,0	7104	0,5	0,28
13	Швейцария	206 336	24,3	8,5	1,5	0,18	3,9	459,2	7059	0,6	0,37
14	Ирландия	191 400	39,4	4,9	7,3	1,50	7,8	1605,9	5274	1,5	0,20
15	Беларусь	175 679	18,5	9,5	4,3	0,45	7,3	770,2	4894	1,5	0,35
16	Финляндия	99 126	18,0	5,5	0,9	0,16	2,4	434,9	8834	0,3	0,30
17	Литва	82 891	29,6	2,8	0,7	0,25	1,6	571,3	5748	0,3	0,40
18	Эстония	40 500	30,7	1,3	0,3	0,23	0,8	606,5	9362	0,1	0,28
19	Латвия	35 160	18,3	1,9	0,4	0,21	1,0	519,3	6519	0,2	0,38
20	Математическое ожидание	574 010	26,5	31,4	5,4	0,261464	9,8	489,4	7061	1,5	0,30
21	Средне-квадратическое отклонение	702 210	15,6	38,6	5,7	0,312399	9,9	350,5	1713	1,7	0,08
22	Коэффициент вариации	122	59	123	106	119	101	72	24	114	26

Составлено авторами на основании данных источников [9, 10].
The table was compiled by the authors based on [9, 10].

Таблица 5. Корреляционная матрица к переменным таблицы 4

Table 5. Correlation matrix to the variables in Table 4

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
	Столбец 1	Столбец 2	Столбец 3	Столбец 4	Столбец 5	Столбец 6	Столбец 7	Столбец 8	Столбец 9	Столбец 10
Столбец 1	1,00									
Столбец 2	0,11	1,00								
Столбец 3	0,58	-0,45	1,00							
Столбец 4	0,65	-0,31	0,88	1,00						
Столбец 5	-0,16	0,25	-0,25	0,06	1,00					
Столбец 6	0,82	-0,19	0,89	0,92	-0,08	1,00				
Столбец 7	-0,21	0,53	-0,43	-0,16	0,88	-0,19	1,00			
Столбец 8	0,10	0,36	-0,16	-0,18	-0,25	-0,10	-0,01	1,00		
Столбец 9	0,62	-0,28	0,93	0,91	-0,03	0,94	-0,17	-0,29	1,00	
Столбец 10	-0,07	0,25	-0,14	-0,31	-0,24	-0,07	0,08	-0,25	0,02	1,00

молока тесно коррелирует с поголовьем как крупного рогатого скота, так и коров (X4X6 – 0,92, X6X9 – 0,94), а душевое производство молока – с соотношением численности населения и поголовья крупного рогатого скота (X5X7 – 0,88). Выявленные связи подтверждают, что молоко является значимым продуктом в повседневной диете европейцев, а его производство в необходимых объемах обеспечивается соблюдением пропорций между численностью населения и поголовьем крупного рогатого скота, в особенности молочного стада. Последнее утверждение подтверждается тесной связью между поголовьем крупного рогатого скота и коров (X4X9 – 0,92). Аналогичные коэффициенты корреляции, рассчитанные для показателей производства сыра по всем 108 странам-производителям, лежат в диапазоне значений 0,3–0,4, т. е. описанные связи характерны для Европы, а по миру в целом не достигают даже заметной тесноты. Это указывает на разнообразие использования стада крупного рогатого скота в мировом масштабе. В одних регионах преобладает мясное направление с высокой долей бычков на откорме, в других, несмотря на значительный процент дойных коров, молоко не перерабатывается в сыр и пр.

Для тесно коррелирующих показателей получили аналитические выражения, описывающие их взаимосвязь в количественном отношении. Для поголовья крупного рогатого скота и коров (X4 и X9) графический вид зависимости представлен на рисунке 1. В первом приближении зависимость описывается уравнением парной линейной регрессии с приемлемой для расчетов точностью, поскольку коэффициент детерминации больше 0,8. Прочие связи между переменными также описываются уравнениями парной линейной регрессии (табл. 6). Для переменных, связанных лишь с умеренной теснотой, построение уравнений парной линейной регрессии нецелесообразно ввиду их заведомо низкой точности.

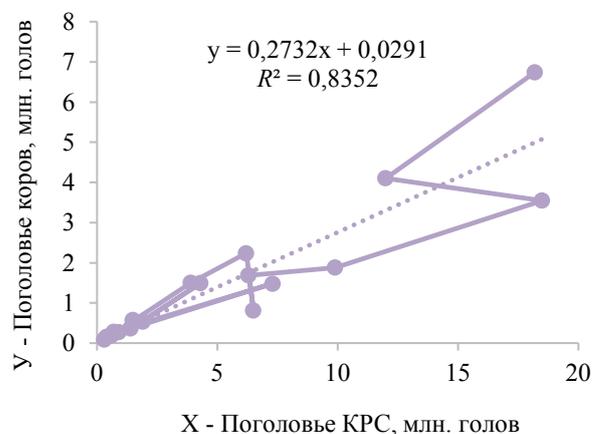


Рисунок 1. Диаграмма соотношения поголовья коров и крупного рогатого скота и соответствующее уравнение парной линейной регрессии с коэффициентом детерминации

Figure 1. The number of cows vs. total cattle: a paired linear regression equation with the determination coefficient

Для большинства уравнений парной линейной регрессии коэффициенты детерминации превышают 0,8 или очень близки к данному значению (строки 3, 4 и 7). Лишь для зависимости X1X6 (строка 1) показатель оказывается ниже 0,8, поэтому целесообразно использовать ее не для расчетов, а лишь для получения оценок общего характера. Поскольку размерности переменных в данной парной линейной регрессии идентичны (млн т), то можно утверждать, что увеличение производства молока на 1 условную единицу приведет к увеличению производства сыра на 0,0577 единиц. В среднем для производства 1 кг сыра используется 10 кг молока. Соответственно, единичному приращению по переменной X6 соответствует приращение 0,1 по переменной X1. Исходя из этого, можно сделать

Таблица 6. Аналитические выражения для основных показателей сырьевой обеспеченности ведущих производителей сыра

Table 6. The main indicators of raw material supply in the leading cheese-producing countries: analytical expressions

№ п/п	Переменная X	Переменная У	Уравнение парной линейной регрессии	Коэффициент детерминации
1	Производство молока, млн т	Производство сыра, млн т	$Y(X) = 0,0577 \times X + 0,0083$	0,67
2	Поголовье коров, млн голов	Производство молока, млн т	$Y(X) = 5,4859 \times X + 1,5719$	0,88
3	Численность населения, млн человек	Производство молока, млн т	$Y(X) = 0,2286 \times X + 2,6275$	0,79
4	Численность населения, млн человек	Поголовье крупного рогатого скота, млн голов	$Y(X) = 0,1303 \times X + 1,2967$	0,78
5	Численность населения, млн человек	Поголовье коров, млн голов	$Y(X) = 0,0408 \times X + 0,2185$	0,86
6	Поголовье крупного рогатого скота, млн голов	Поголовье коров, млн голов	$Y(X) = 0,2732 \times X + 0,0291$	0,83
7	Соотношение поголовья крупного рогатого скота, млн голов/ численность населения, млн человек	Душевое производство молока, кг	$Y(X) = 985,3 \times X + 0,0291$	0,77
8	Поголовье крупного рогатого скота, млн голов	Производство молока, млн т	$Y(X) = 1,5689 \times X + 1,6413$	0,81

вывод о том, что в среднем 57,7 % производимого молока перерабатывается в сыр, т. е. данное направление переработки является приоритетным в странах Европы. По прочим уравнениям парной линейной регрессии возможны расчеты основных показателей сырьевого обеспечения отрасли. Численность дойных коров в РФ, согласно статистической отчетности о производстве молока и молочной продуктивности, составляет 6,7 млн голов (табл. 4, строка 6). Такому поголовью соответствует расчетный объем производства молока (табл. 6, строка 2): $Y(6,7) = 5,4859 \times 6,7 + 1,5719 = 38,3$ млн т

Молочная продуктивность коров при этом должна иметь значение $38,3 \text{ млн т} / 6,7 \text{ млн голов} = 5,72$ т или 5720 кг. Фактические значения показателей – 30,3 млн т и 4491 кг соответственно (табл. 4, строка 6). Если при расчете принимать за основу значение среднего надоя по группе стран-лидеров – 7061 кг (табл. 4 строка 21), то получим объем общего производства молока: $6,7 \text{ млн голов} \times 7061 \text{ кг} = 47,3$ млн т или в пересчете на душевой показатель 322 кг. Данное значение очень близко к рекомендованной Минздравом РФ рациональной норме потребления молокопродуктов в пересчете на молоко – 325 кг.

На основании полученных уравнений возможен расчет целевых ориентиров сырьевого обеспечения сыродельческой отрасли в аспекте продовольственной безопасности. Так как творог, согласно европейской классификации, относится к категории мягких молодых сыров, то имеем с учетом рациональной нормы потребления (7 кг сыра и 18 кг творога) необходимый объем ресурса 25 кг. Критерий Доктрины продовольственной безопасности по молокопродуктам установлен на уровне 90 % – столько ресурса должно обеспечиваться отечественными производителями. Соответствен-

но, потребный объем производства 22,5 кг. С учетом средней нормы расхода 10 кг молока на производство 1 кг сыра потребный душевой объем производства молока составит 225 кг. В среднем на сыр перерабатывается 57,7 % производимого молока (табл. 6, строка 1). С учетом этого полное душевое производство может быть оценено в 388 кг.

Численность населения РФ на первое января 2022 г. составила 145,5 млн человек, соответствующий общий объем производства молока – 56,4 млн т. Согласно данным Росстата в 2021 г. производство молока составило 32,3 млн т или 57 % от расчетного значения. Число коров, потребное для производства, может быть определено из уравнения парной линейной регрессии $X \times Y$ (табл. 6, строка 2): $X = (56,4 - 1,5719) / 5,4859 = 9,99 = 10$ млн голов. Согласно данным Росстата молочное стадо в РФ в 2021 г. составляло 7,9 млн голов или 79 % от расчетного показателя.

Молочная продуктивность при этих условиях составит $56,4 \text{ млн т} / 10 \text{ млн голов} = 5640$ кг. Если добиться увеличения продуктивности до среднего уровня по группе стран-лидеров (7061 кг), то поголовье коров может быть уменьшено: $56,4 \text{ млн т} / 7061 \text{ кг} = 7,99$ млн голов, что соответствует современным реалиям. Согласно данным Росстата в 2021 г. молочная продуктивность по всем видам хозяйств составляла 4994 кг, в т. ч. 6915 кг в сельскохозяйственных организациях, 4088 кг в фермерских хозяйствах и 3433 кг в личных подсобных хозяйствах. Низкое значение общего показателя обусловлено малой численностью дающих высокоудойных коров в сельскохозяйственных организациях – 2823 тыс. голов, что составляет менее 35 % поголовья молочного стада. Большая и менее продуктивная часть стада находится в

сельскохозяйственных организациях и фермерских хозяйствах – 3228 и 1399 тыс. голов соответственно [16]. Таким образом, необходимо обеспечить рост надоев как минимум на 13 % для достижения ближайшего целевого ориентира – 5640 кг. Для выхода на последующий целевой ориентир (7061 кг) необходим рост на 41 %.

Важным направлением развития молочной промышленности является развитие сбалансированных продаж по всей территории Российской Федерации. Как показано в статье Е. А. Красильниковой, российские регионы обладают высоким уровнем инвестиционной активности [17]. Повышению конкурентоспособности молочной продукции регионального производства может способствовать использование механизма собственных торговых марок [18].

Целевые ориентиры по молочной продуктивности представляются вполне реальными. В 2020–2021 гг. в ряде регионов (Урал, Подмосковье и др.) сельскохозяйственными организациями достигнуты значения показателя 7127–7800 кг. Существенное повышение молочной продуктивности обеспечивает совершенствование рациона питания коров, в т. ч. за счет применения кормовых добавок. Биологически активные добавки «Стимул» и «Биосульфур» способны увеличить валовый удой в среднем на 206 кг, адаптогенная добавка «Флавобетин» – на 905 кг [19]. Еще более впечатляющие результаты дает селекционная работа – эффект селекции за поколение по валовому удою может достигать 995 кг [20]. Как итог, в ряде сельскохозяйственных организациях Курганской области за счет успешной селекционной работы достигнуто значение показателя 8939 кг, что в группе стран-лидеров уступает только Дании и превосходит Германию, Финляндию и Чехию (таблица 4, строки 9, 1, 7 и 16). Это говорит о реальности перспектив создания устойчивой отечественной сырьевой базы молокопереработки и сыроделия.

Выводы

Лидерами в мировом производстве сыра являются страны Европы. Россия входит в топ-19 благодаря высоким общим объемам производства, но по душевому показателю отстает от среднего значения. Сложившееся положение объясняется слабостью сырьевого обеспечения: при достаточном поголовье дойных коров их молочная продуктивность ниже среднегрупповой. Для производства сыра в объемах, отвечающих критериям рациональных норм потребления и Доктрины продовольственной безопасности, необходимо уделить внимание повышению молочной продуктивности коров, в т. ч. за счет селекционной работы и совершенствования рационов питания. Также целесообразно скорректировать структуру молочного стада, увеличив долю коров в сельскохозяйственных организациях.

Результаты исследования имеют практическую значимость при решении задач обеспечения устойчивой сырьевой базы отечественного сыроделия. Также они могут быть применимы при разработке целевых ориентиров для предприятий агропромышленного комплекса в сегменте молочного животноводства.

Критерии авторства

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

References/Список литературы

1. Kamath R, Basak S, Gokhale J. Recent trends in the development of healthy and functional cheese analogues – A review. LWT. 2022;155. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112991>
2. Plante AM, McCarthy AL, O'Halloran F. Cheese as a functional food for older adults: comparing the bioactive properties of different cheese matrices following simulated gastrointestinal *in vitro* digestion. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2020;72(4):456–469. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1825644>
3. Yormirzoev M, Teuber R, Li T. Food quality vs food patriotism: Russian consumers' preferences for cheese after the food import ban. British Food Journal. 2019;121(2):371–385. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2018-0088>
4. Nosov VV, Suray NM, Mamaev OA, Chemisenko OV, Panov PA, Pokidov MG. Milk production dynamics in the Russian Federation: causes and consequences. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020;548(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/2/022091>

5. Zhukova NV, Suray NM, Mayorov AA, Kudinov BD, Aydinov HT, Kudinova MG. Domestic and world experience in the development of the market for cheese and cheese products. *Economic Sciences*. 2019;(180):39–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.14451/1.180.39>
6. Kozlova LV. Present day situation on the cheese market in the EC. *Cheesemaking and Buttermaking*. 2015;(3):8–10. (In Russ.). [Козлова Л. В. Современное состояние рынка сыра в ЕС // Сыроделие и маслоделие. 2015. № 3. С. 8–10.]
7. Kozlova LV. Cheese market in Argentina. *Cheesemaking and Buttermaking*. 2017;(3):10–11. (In Russ.). [Козлова Л. В. Рынок сыра в Аргентине // Сыроделие и маслоделие. 2017. № 3. С. 10–11.]
8. Chebotarev SN, Dibrova ZhN, Suray NM. Cheese market in Moscow and the Moscow region: A regional analysis. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(2):413–422. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-413-422>
9. Global cheese production by country [Internet]. [cited 2022 Feb 20]. Available from: <https://www.atlasbig.com/ru> [Мировое производство сыра по странам. URL: <https://www.atlasbig.com/ru> (дата обращения: 20.02.2022)].
10. Russia vs. other countries, 2020. Moscow: Rosstat; 2020. 385 p. (In Russ.). [Россия и страны мира. 2020. М: Росстат, 2020. 385 с.]
11. Finnegan W, Clifford E, Goggins J, O’Leary N, Dobson A, Rowan N, *et al.* DairyWater: Striving for sustainability within the dairy processing industry in the Republic of Ireland. *Journal of Dairy Research*. 2018;85(3):366–374. <https://doi.org/10.1017/S0022029918000614>
12. Qingbin WANG, Liu C, Zhao Y, Kitsos A, Cannella M, Wang S, *et al.* Impacts of the COVID-19 pandemic on the dairy industry: Lessons from China and the United States and policy implications. *Journal of Integrative Agriculture*. 2020;19(12):2903–2915. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63443-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63443-8)
13. Asiseh F, Devadoss S, Bolotova Y, Foltz J, Haggerty RJ. Factors influencing growth of dairy product manufacturing in the United States. *International Food and Agribusiness Management Review*. 2010;13(2):101–116. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.93347>
14. Bittante G, Amalfitano N, Bergamaschi M, Patel N, Haddi M-L, Benabid H, *et al.* Composition and aptitude for cheese-making of milk from cows, buffaloes, goats, sheep, dromedary camels, and donkeys. *Journal of Dairy Science*. 2022;105(3):2132–2152. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20961>
15. Bekele B, Hansen EB, Eshetu M, Ipsen R, Hailu Y. Effect of starter cultures on properties of soft white cheese made from camel (*Camelus dromedarius*) milk. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(2):1108–1115. <https://doi.org/10.3168/JDS.2018-15084>
16. Bulletins of the Russian Federal Statistics Service on the state of agriculture (electronic versions) [Internet]. [cited 2022 Feb 20]. Available from: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> [Бюллетени Росстата о состоянии сельского хозяйства (электронные версии). URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения: 20.02.2022)].
17. Komissarova IP, Mayorova EA, Nikishin AF, Rozhnova OV, Mayorova AN. Private labels and product categories. *Espacios*. 2017;38(62).
18. Krasil’nikova EA, Mayorova EA, Nikishin AF, Pankina TV. Investment activity in Russia’s regions. *European Research Studies Journal*. 2017;20(4):509–521.
19. Gorlov IF, Mokhov AS, Vorontsova ES, Slozhenkina MI, Karetnikova AR. Improvement of dairy productivity and milk qualitative indices for the account of application of new feed additives. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2017;47(3):160–168. (In Russ.). [Повышение молочной продуктивности и качественных показателей молока за счет применения новых кормовых добавок / И. Ф. Горлов [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. Т. 47. № 3. С. 160–168.]
20. Kakhikalo VG, Nazarchenko OV, Rusanov AN, Sekh SM, Yevshikov SS. Forecast of breeding effect on the improvement of dairy productivity quantity and quality in Zauralye. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2018;25(1):35–37. (In Russ.). [Прогноз эффекта селекции на повышение количества и качества молочной продуктивности в Зауралье / В. Г. Кахикало [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2018. Т. 25. № 1. С. 35–37.]

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2395>
<https://elibrary.ru/CANTRV>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Теоретическое исследование структурных, электронных и колебательных свойств хлорида и бромида ацетилхолина



К. А. Гордиенко, А. Б. Гордиенко, Ю. Н. Журавлев*

Кемеровский государственный университет , Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 24.10.2022

Принята после рецензирования: 14.11.2022

Принята к публикации: 06.12.2022

*Ю. Н. Журавлев: zhur@kemsu.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-5087-9418>

© К. А. Гордиенко, А. Б. Гордиенко, Ю. Н. Журавлев, 2022



Аннотация.

Постоянно растущие возможности вычислительных систем и алгоритмов делают применение первопринципных методов одним из ключевых для исследования биологически активных соединений и анализа сложных механизмов их функционирования в живых организмах, а также целенаправленного поиска и прогнозирования новых форм. Целью исследования являлось определение структурных параметров и основных электронных и колебательных характеристик кристаллических галогенидов ацетилхолина (ACh-Hal).

Объектами исследования являлись хлорид и бромид ацетилхолина. Для их теоретического анализа применялись методы, основанные на теории функционала плотности (DFT) с использованием градиентных обменно-корреляционных функционалов (PBE) и полуэмпирической схемы учета дисперсионных взаимодействий (DFT+D3).

В результате выполненных расчетов для ACh-Hal были установлены оптимизированные параметры кристаллической решетки, равные $a = 9,765 \text{ \AA}$, $b = 15,217 \text{ \AA}$, $c = 6,274 \text{ \AA}$ для орторомбического хлорида ацетилхолина (ACh-Cl) и $a = 10,883 \text{ \AA}$, $b = 13,304 \text{ \AA}$, $c = 7,077 \text{ \AA}$, $\beta = 109,21^\circ$ для моноклинного бромида (ACh-Br), а также координаты атомов и значения длин связей, валентных и торсионных углов. Анализ электронной структуры показывает, что ACh-Hal является диэлектриком с шириной запрещенной зоны 4,734 и 4,405 эВ, а эффективные заряды атомов углерода сильно анизотропны. Расчетные колебательные спектры хорошо согласуются с экспериментальными данными во всем интервале частот. Зависимость от массы аниона наиболее заметна в области решеточных колебаний.

Применение первопринципной схемы DFT+D3 позволяет получать для сложных органических биологически активных систем надежные данные об их основных свойствах.

Ключевые слова. Ацетилхолин, теория функционала плотности, дисперсионные поправки, кристаллическая и электронная структура, колебательные моды

Для цитирования: Гордиенко К. А., Гордиенко А. Б., Журавлев Ю. Н. Теоретическое исследование структурных, электронных и колебательных свойств хлорида и бромида ацетилхолина // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 718–728. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2395>

A Theoretical Study of Structural, Electronic, and Vibration Properties of Acetylcholine Chloride and Bromide



Kirill A. Gordienko, Aleksei B. Gordienko, Yuri N. Zhuravlev*^{ORCID}

Kemerovo State University^{ORCID}, Kemerovo, Russia

Received: 24.10.2022
Revised: 14.11.2022
Accepted: 06.12.2022

*Yuri N. Zhuravlev: zhur@kemsu.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-5087-9418>

© K.A. Gordienko, A.B. Gordienko, Yu.N. Zhuravlev, 2022



Abstract.

The ever-growing capabilities of computing systems and algorithms make the first-principle methods extremely important in such research fields as biologically active compounds and complex biological systems. They also facilitate the target search and prediction of new forms. The purpose of the study was to define the structural parameters and basic electronic and vibration characteristics of crystal acetylcholine halides (ACh-Hal).

The study featured acetylcholine chloride and bromide (ACh-Hal). The theoretical analysis was based on the density functional theory (DFT) with gradient Perdew-Burke-Ernzerhof exchange-correlation functional (PBE) and a semi-empirical scheme for dispersion-accounting density functional (DFT+D3).

The calculations made it possible to define the optimized parameters of the crystal lattice: $a = 9.765 \text{ \AA}$, $b = 15.217 \text{ \AA}$, $c = 6.274 \text{ \AA}$ for orthorhombic acetylcholine chloride (ACh-Cl); $a = 10.883 \text{ \AA}$, $b = 13.304 \text{ \AA}$, $c = 7.077 \text{ \AA}$, $\beta = 109.21^\circ$ for monoclinic bromide (ACh-Br). The calculations also revealed atomic coordinates, bond lengths, valence, and torsion angles. As for the electronic structure, ACh-Hal proved to be dielectrics with a band gap of 4.734 and 4.405 eV. The effective charges of carbon atoms were highly anisotropic. The calculated vibration spectra confirmed the experimental data in the entire interval, while the dependence on the mass of the anion was especially prominent in the region of lattice vibrations.

The first-principle DFT+D3 scheme made it possible to obtain reliable data on the basic properties of complex organic and biologically active systems.

Keywords. Acetylcholine, density functional theory, dispersion corrections, crystal and electronic structure, vibrational modes

For citation: Gordienko KA, Gordienko AB, Zhuravlev YuN. A Theoretical Study of Structural, Electronic, and Vibration Properties of Acetylcholine Chloride and Bromide. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):718–728. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2395>

Введение

Ацетилхолин (ACh), $\text{CH}_3\text{COO}(\text{CH}_2)_2\text{N}(\text{CH}_3)_3$ – органическое соединение, четвертичное аммониевое основание, которое является биологически активным веществом, широко распространенным в природе. ACh открыт как первый нейромедиатор в экспериментах О. Лёви по замедлению сердечных сокращений, стимулированных электрическим импульсом [1]. ACh является важным компонентом центральной и периферической нервных систем, участвующим в передаче нервных импульсов посредством взаимодействия с холинергическими рецепторами [2, 3]. ACh образуется в организме человека в результате ацетилирования холина в присутствии фермента холинацетилтрансферазы и расщепляется ферментом ацетилхолинэстеразы. Действие ингибиторов

ацетилхолинэстеразы вызывает накопление избыточного количества негидролизованного ACh, что приводит сначала к ускорению передачи нервных импульсов (возбуждению), а затем к их блокированию (параличу). Круг физиологического действия ACh является широким, включая влияние на сердечные ритмы и процессы обучения и формирования памяти [4–8]. В ряде работ это связывают с увеличением выхода оксида азота и окислительным стрессом, т. е. процессами радикального характера [9, 10]. Для объяснения особенностей функционирования ACh в аэробных условиях и его взаимодействия с клеточными мембранами в исследовании Д. А. Krugovov и др. изучался характер взаимодействия данного соединения с липопероксидами и пероксидом водорода, а также

его влияние на окисление липидов [11]. Другие вопросы, связанные с исследованием свойств ACh и его применением в различных областях биохимии, физиологии и медицины, рассматриваются в работах [12–18].

В твердой фазе ACh представляет собой бесцветные кристаллы, которые хорошо растворяются в воде и спирте, а также не имеют поверхностной активности. К ранним работам по определению кристаллической структуры галогенидов ACh относится исследование Н. Sörum [2]. В нем методами рентгеновского структурного анализа для ACh-Br получены параметры молекулярной и кристаллических структур (пространственная группа симметрии – $P2_1$), включая постоянные решетки, координаты атомов для четырех формульных единиц ($Z = 4$), длины связей и валентных углов, а также карты распределения электронной плотности в различных кристаллографических плоскостях. Также показано, что ацетилхолин ион может существовать в виде двух различных структурных форм (протяженной и кольцевой), присутствие которых важно с точки зрения действия ACh в процессах передачи нервных импульсов [2].

Результаты дополнительных рентгеноструктурных исследований ACh-Br приведены в работе Т. Svinning и Н. Sörum [19]. В ней показано, что эти кристаллы являются моноклинными (пространственная группа $P2_1/n$) и содержат четыре молекулы в элементарной ячейке ($Z = 4$). К ранним работам по определению структуры ACh-Cl следует отнести исследование К. W. Allen, в котором определена принадлежность кристаллов к орторомбической системе (пространственная группа $P2_12_12_1$), а также параметры решетки [20]. Более детальный анализ структуры выполнен в работе J. K. Herdtklotz и R. L. Sass с использованием методов трехмерной дифрактометрии [21]. В данной работе получены близкие к результатам [20] значения решеточных констант и координаты атомов в элементарной ячейке, а также показано, что в кристаллической фазе для ACh-Cl характерна левосторонняя транс-конформация, а молекулярная геометрия в целом отличается от ACh-Br.

Исследованиям колебательных свойств молекулярного и кристаллического ACh, а также его галогенидов посвящены работы [22–24]. Р. Derreumaux и др. получили рамановские спектры и методом силового поля вычислили частоты нормальных колебаний кристаллических хлорида, бромиды и иодида ACh, а также выполнили их соотношение с экспериментально наблюдаемыми [22]. Молекулярные ACh-Hal рассматривались в работе М. Karakaуа и F. Ucuл в рамках теории функционала плотности с обменно-корреляционным функционалом B3LYP и гауссовым базисом 6-311G(d). В данной работе

ученые вычислили оптимизированные геометрии, инфракрасный и рамановский спектры и химические сдвиги, а также показали, что рассмотренные соединения в основном состоянии могут существовать одновременно в трех конформациях [23]. В работе А. Pawlukoјс и L. Hetmanczyk с использованием экспериментальных (инфракрасная спектроскопия и неупругое рассеяние нейтронов) и теоретических методов (теория функционала плотности) исследованы колебательные спектры ACh-Cl, в том числе с учетом их температурной зависимости, и определены частоты нормальных мод и энергия активации три-метиламиновой группы. Также было показано, что в ACh-Cl в интервале температур 9–300 °K фазовый переход не наблюдается [24].

Целью исследования являлось определение структурных параметров и основных электронных и колебательных характеристик кристаллических галогенидов ацетилхолина.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны кристаллические галогениды ACh-Cl и ACh-Br, которые в теоретическом отношении менее исследованы, чем ACh. Поэтому они представляют интерес для применения современных первопринципных методов исследования.

Для исследования структурных и колебательных свойств ACh-Cl использовалась методическая схема, которая применялась ранее в работе Yu. Zhuravlev и др. для галогенидов холина [25]. Расчеты электронной структуры выполнялись в рамках теории функционала плотности (DFT) с использованием обобщенного градиентного приближения (GGA) в форме PBE, выбор которой имеет ряд преимуществ перед другими функционалами [26–29]. PBE-функционал является первопринципным как по способу построения, так и в отношении подгоночных параметров, которые определялись в исследовании J. P. Perdew и др. при условии выполнения точных соотношений и требований многочастичной квантовой теории [28]. Кроме того, PBE-приближение является экономичным для численных расчетов, особенно в случае сложных многоатомных систем, т. к. в данном случае требуются вычисления только электронной плотности и ее градиента. Более популярные гибридные функционалы, например, B3LYP, включают долю точного обмена, что позволяет улучшить описание характеристик, связанных с электронными возбуждениями [30]. В то же время подгоночные параметры таких функционалов определяются исключительно из требования хорошего согласия расчетных и экспериментальных данных для выбранной группы тестовых соединений, что для других соединений в некоторых случаях может приводить к некорректным результатам и необходимости изменения параметризации. В

вычислительном отношении гибридные функционалы являются более затратными, а их использование в случае сложных систем должно определяться целями соответствующих расчетов. Для корректного описания физических и химических свойств молекулярных кристаллов органических соединений со слоистой структурой и водородными связями, что является характерным и для ACh-Hal, критически важным является учет дальнедействующих дисперсионных взаимодействий Лондона, имеющих нековалентный характер. В рамках стандартной DFT отмеченные эффекты не учитываются, что обусловлено приближенным характером обменно-корреляционных функционалов, который выражается в неверной асимптотике потенциалов взаимодействия на больших расстояниях (R), отличной от $\sim R^{-6}$. Методы решения указанной проблемы можно, хотя и с некоторой долей условности, разделить на первопринципные и полуэмпирические. В первом случае целью является расширение DFT на основе построения новых, в том числе нелокальных, функционалов. Например, vdW-DF [31–33]. Такие методы могут приводить к хорошим результатам, но не всегда являются стабильными в вычислительном отношении [34]. В расчетах настоящей работы дисперсионные взаимодействия учитывались с использованием полуэмпирического метода DFT+D3 [34, 35]. В этом случае полная энергия системы имеет вид:

$$E_{DFT-D3} = E_{DFT} - E_{disp} \quad (1)$$

где дисперсионная поправка включает энергии двух- и трехчастичных взаимодействий

$$E_{disp} = E^{(2)} + E^{(3)} \quad (2)$$

из которых наиболее важным является вклад парных взаимодействий $E^{(2)}$

$$E^{(2)} = \sum_{AB} \sum_{n=6,8} s_n \frac{C_n^{AB}}{r_{AB}^n} f_{d,n}(r_{AB}) \quad (3)$$

где сумма вычисляется по всем парам атомов AB системы; C_n^{AB} – изотропные дисперсионные коэффициенты порядка n , которые вычисляются на основе первопринципных расчетов для атомов; s_n – масштабирующие факторы, которые подгоняются только для $n > 6$, а ограничение суммирования в (3) значениями $n = 6$ и 8 обусловлено требованиями стабильности метода. Демпфирующие функции $f_{d,n}$ позволяют избежать особенностей в выражении (3) при малых межатомных расстояниях r_{AB} , а также двойного учета эффектов электронных корреляций для промежуточных значений r_{AB} и определяют пространственную протяженность действия дисперсионных поправок. Характерные формы демпфирующих функций имеют вид:

$$f_{d,n} = \frac{1}{1 + 6(r_{AB}/(s_{r,n}R_0^{AB}))^{-a_n}} \quad (4)$$

где R_0^{AB} – радиус обрезания для пары атомов AB ; a_n – подгоночные коэффициенты, имеющие обычно значения в интервале от 12 до 14 [34, 35]:

Форма дисперсионной поправки $E^{(2)}$ (3) не является уникальной. В работе S. Grimme и др. рассматривается выражение (D3(BJ)) [34]:

$$f_{d,n} = \frac{1}{1 + e^{-\gamma(r_{AB}/s_{r,n}R_0^{AB}-1)}} \quad (5)$$

которое в пределе $r_{AB} \rightarrow 0$ становится постоянным, а $f(R_0^{AB}) = a_1 R_0^{AB} + a_2$, где a_1 и a_2 – подгоночные параметры.

Расчеты выполнены с использованием пакета CRYSTAL17, включая процедуры OPTGEOM и FRECALC для оптимизации геометрии кристаллов и расчета частот колебаний в центре зоны Бриллюэна ($k = 0$) [36]. Для атомов водорода, углерода и азота использован полноэлектронный базис гауссовых функций, для кислорода, брома и фтора – псевдопотенциальный базис HAYWLC-31G [37, 38]. Интегрирование по зоне Бриллюэна выполнялось на сетке Монхорста-Пака размерности $2 \times 2 \times 2$, содержащей 8 неэквивалентных k -точек [39].

Для орторомбического ACh-Cl ($P2_12_12_1$) начальные значения параметров решетки ($a = 9,890 \text{ \AA}$, $b = 5,324 \text{ \AA}$, $c = 6,302 \text{ \AA}$, $Z = 4$) и координат атомов взяты из [24, 40], для моноклинного ACh-Br ($P2_1$) из [19] ($a = 10,966$, $b = 13,729$, $c = 7,159$, $\beta = 108,18^\circ$), для которых на рисунке 1 показаны структура молекулярного комплекса ACh-Hal и пространственное расположение в кристалле.

Результаты и их обсуждение

Значения постоянных решетки ACh-Hal, вычисленные в настоящих расчетах и полученные в других работах, приведены в таблице 1.

Согласие расчетных и экспериментальных данных хорошее. Однако для хлорида наблюдаются наибольшие отличия от данных работы [21], которая из всех приведенных в таблице 1 является наиболее ранней. Это также характерно и для бромид ацетилхолина. Расчетные значения параметров решетки являются несколько заниженными по отношению к экспериментальным, что является характерным для теории функционала плотности. Среднее отклонение составляет (ACh-Cl/ACh-Br, %) $a - 1,98/1,49$, $b - 0,95/2,88$, $c - 0,73/1,29$, что попадает в интервал погрешности метода PBE+D3. Для молекулярных кристаллов вклад в отмеченную погрешность могут вносить термические эффекты, которые в расчетах не учитываются ($T = 0 \text{ }^\circ\text{K}$). В кристалле ACh-Hal атомы галогенов окружены

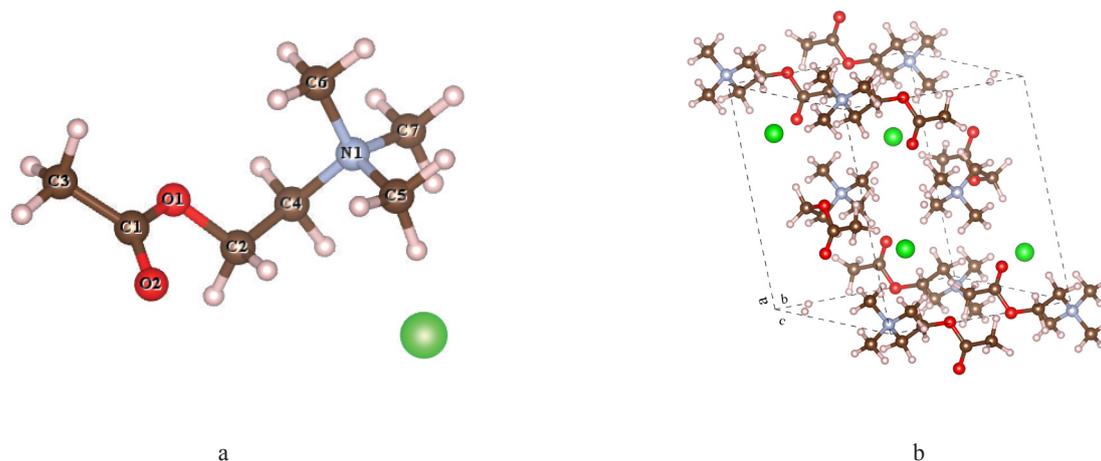


Рисунок 1. Молекулярный комплекс ACh+Hal (зеленый) (a) и фрагмент кристаллической структуры ACh-Hal (b)
Figure 1. ACh+Hal molecular complex (green) (a) and an ACh-Hal crystal structure fragment (b)

Таблица 1. Параметры решетки ACh-Hal

Table 1. ACh-Hal: lattice parameters

	<i>a</i> , Å	<i>b</i> , Å	<i>c</i> , Å	β , °	Список литературы
ACh-Cl ($P2_12_12_1$)					
Настоящие расчеты	9,765	15,217	6,274	90,00	–
Экспериментальные	9,890	15,324	6,302	90,00	[24, 40]
Экспериментальные	9,930	15,260	6,280	90,00	[41]
Экспериментальные	10,070	15,511	6,380	90,00	[21]
ACh-Br ($P2_1$)					
Настоящие расчеты	10,883	13,304	7,077	109,21	–
Экспериментальные	11,100	13,670	7,180	110,00	[18]
Экспериментальные	10,996	13,729	7,159	108,18	[19]

четырьмя молекулами ацетилхолина, расположенными на расстояниях C5-HCl \cdots – 2,61728(0) Å, C6-H1 \cdots Cl – 2,54865(0) Å, C3-H1 \cdots Cl – 2,65840(0) Å, C7-H1 \cdots Cl – 3,00432(0) Å в ACh-Cl, а в ACh-Br – C5-H1 \cdots Br – 2,75430 Å, C6-H1 \cdots Br – 2,79043(0) Å, C3-H1 \cdots Br – 3,24600(0) Å, C7-H1 \cdots Br – 2,82295(0) Å.

Характерные длины связей, валентных и торсионных углов представлены в таблице 2 вместе с имеющимися экспериментальными данными. В таблице 2 видно, что, в отличие от валентных и торсионных углов, отклонение значений длин связей от эксперимента является наиболее однородным и составляет порядка 0,01 Å (0,7 %).

Основные характеристики электронной структуры для полученной геометрии для ACh-Cl/ACh-Br составляют: полная энергия – –1984,141/–1977,904 а.у. (1 а.у. = 27,212 eV), дисперсионная поправка (E_{disp}) – 0,249/0,255 а.у., ширина запрещенной зоны – 4,734 (прямая)/4,405 (непрямая) eV. Таким образом, ACh-Hal является диэлектриком с достаточно близкими электронными параметрами. Зонная структура ис-

следуемых соединений имеет вид, характерный для молекулярных кристаллов, и представляет собой последовательность относительно узких зон одноэлектронных энергий с малой дисперсией. В силу большого подобия по химическому составу и кристаллической структуре с галогенидами холина, электронное строение которых подробно анализируется в работе Yu. Zhuravlev, на зонной структуре ACh-Hal, которая по указанной причине не приводится, также хорошо выделяются группы зон [25]. В них доминирующими являются вклады состояний функциональных групп CH₂, CH₃ и OH, а также *s*- и *p*-состояний атомов галогенов.

Ряд общих выводов о характере химической связи можно сделать на основе анализа эффективных динамических зарядов Борна ($Z_{A,ij}^*$, $\langle Z_A^* \rangle = \frac{1}{3} \sum_i Z_{A,ii}^*$), отражающих отклик системы на внешнее электрическое поле и смещения атомов. В качестве примера в таблице 3 приведены заряды для атомов галогенов, азота и неэквивалентных атомов кислорода. Как видно, эффективные заряды атомов галогенов в ACh-Hal очень близки к их номинальным значениям (–1) и

Таблица 2. Длины связей, валентные и торсионные углы ACh-Hal

Table 2. ACh-Hal: bond lengths, valence and torsion angles

	Настоящие расчеты		Расчетные [24]	Экспериментальные [40]
	Cl	Br		
Длины связей, Å				
C3-C1	1,500	1,499	1,502	1,498
C1-O2	1,229	1,227	1,227	1,206
C1-O1	1,364	1,368	1,370	1,351
O1-C2	1,450	1,449	1,466	1,443
C2-C4	1,511	1,521	1,514	1,509
C4-N1	1,523	1,518	1,537	1,511
N1-C5	1,505	1,505	1,517	1,499
N1-C6	1,511	1,508	1,523	1,505
N1-C7	1,502	1,504	1,515	1,496
Валентные углы, °				
C3-C1-O2	125,31	125,78	125,40	125,19
C3-C1-O1	112,08	111,49	112,02	111,91
O2-C1-O1	122,59	122,62	122,58	122,91
C1-O1-C2	114,15	115,01	114,20	114,11
O1-C2-C4	111,18	111,81	110,84	110,50
C2-C4-N1	95,39	116,25	117,01	116,64
C4-N1-C5	111,75	112,06	111,85	111,58
C4-N1-C6	106,30	106,74	106,21	106,46
C4-N1-C7	111,78	110,90	111,95	111,99
C5-N1-C6	109,32	109,58	109,22	109,14
C5-N1-C7	109,06	108,86	108,97	109,52
C6-N1-C7	108,51	108,56	108,54	108,02
Торсионные углы, °				
C3-C1-O1-C2	-173,77	170,60	-173,80	-173,60
C1-O1-C2-C4	-164,67	72,96	-169,60	-170,00
O1-C2-C4-N1	83,36	75,26	84,10	84,70
C2-C4-N1-C5	-71,18	-66,29	-70,90	-70,20
C2-C4-N1-C6	169,60	175,25	170,00	170,80
C2-C4-N1-C7	51,37	56,52	51,70	53,00

практически изотропны, несмотря на разные типы кристаллической решетки. Сравнительно малые значения недиагональных компонентов указывают на слабое взаимодействие с атомным окружением более высокого порядка, чем ближайшие соседи. Эффективные заряды атомов азота, которые находятся в тетраэдрическом окружении из трех метильных и одной метиленовой групп, практически изотропны и имеют сравнительно малые значения, близкие к изотропной части, т. е. $-0,41e$ (ACh-Cl) и $-0,43e$ (ACh-Br). Для атомов кислорода заряды сильно отличаются от уже рассмотренных. Для этих зарядов характерна сильная анизотропия и только одна из диагональных компонентов тензора приближается к номинальному значению (-2), хотя значения изотропных зарядов практически одинаковы. В отличие от атомов галогенов и азота недиагональные компоненты тензоров имеют большие значения, что указывает на иной характер взаимодействия

атомов кислорода с кристаллическим окружением. Для зарядов атомов углерода (далее выделено жирным) наблюдается большой разброс значений зарядов, которые в ACh-Br равны $-0,28e$ ($\text{CH}_3\text{—COO}$), $0,08e$, $0,09e$ и $0,11e$ ($\text{CH}_3\text{—N}$), $0,43e$ ($\text{CH}_2\text{—N}$) и $1,45e$ ($\text{CH}_3\text{—C—O}$), что аналогично и для ACh-Cl. При этом заряды сильно анизотропны с большими значениями недиагональных компонентов.

Колебательный спектр, вычисленный для центра зоны Бриллюэна ($q = 0$), имеет сложную структуру и содержит 324 колебательных мод (108 атомов в элементарной ячейке, $Z = 4$), которые являются невырожденными в силу низкой симметрии рассматриваемых кристаллов. По симметрии колебательные моды в ACh-Cl распределяются как $\Gamma = 81A + 81B_1 + 81B_2 + 81B_3$, из которых 3 моды (B_1 , B_2 и B_3) относятся к акустическим, а из остальных оптических в ИК-спектре активными являются только 243 A-моды, в ACh-Br $\Gamma = 81A_g + 81B_g + 81A_u + 81B_u$,

Таблица 3. Эффективные заряды ACh-Hal (в ед. |e|)

Table 3. ACh-Hal: effective charges in |e| units

	ACh-Cl	ACh-Br
Z_{Hal}^*	$\begin{pmatrix} -1,26 & 0,08 & -0,02 \\ 0,11 & -1,22 & -0,05 \\ 0,05 & 0,00 & -1,31 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1,26 & 0,08 & -0,02 \\ 0,11 & -1,22 & -0,05 \\ 0,05 & 0,00 & -1,31 \end{pmatrix}$
$\langle Z_{Hal}^* \rangle$	-1,26	-1,27
Z_N^*	$\begin{pmatrix} -0,39 & -0,04 & -0,03 \\ 0,10 & -0,41 & 0,01 \\ 0,03 & 0,04 & -0,41 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0,44 & -0,06 & -0,04 \\ -0,05 & -0,47 & -0,01 \\ -0,05 & -0,03 & -0,39 \end{pmatrix}$
$\langle Z_N^* \rangle$	-0,41	-0,43
Z_{O1}^*	$\begin{pmatrix} -0,91 & 0,45 & 0,09 \\ 0,52 & -1,88 & 0,32 \\ 0,10 & 0,03 & -0,51 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1,46 & 0,21 & 0,51 \\ 0,38 & -0,61 & -0,36 \\ 0,53 & -0,27 & -1,22 \end{pmatrix}$
$\langle Z_{O1}^* \rangle$	-1,00	-1,09
Z_{O2}^*	$\begin{pmatrix} -1,41 & -0,01 & 0,49 \\ 0,40 & -0,84 & -0,07 \\ 0,25 & 0,13 & -0,77 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -1,39 & 0,13 & -0,47 \\ 0,26 & -0,52 & 0,05 \\ -0,07 & -0,02 & -1,04 \end{pmatrix}$
$\langle Z_{O2}^* \rangle$	-1,00	-0,98

2 акустических (A_u и $2B_u$) и 162 ИК-активные A_u - и B_u -моды соответственно.

На рисунке 2 показаны экспериментальный спектр ACh-Cl и расчетные инфракрасные спектры (ИК) ACh-Hal, представленные как суперпозиция гауссовых пиков шириной $2,0 \text{ см}^{-1}$ [24]. В эксперименте высокочастотные колебания наблюдаются в интервале частот от $2944,0$ до $3099,0 \text{ см}^{-1}$ с наиболее интенсивными пиками при $2982,0$, $3000,0$, $3010,0$ и $3020,0 \text{ см}^{-1}$. На расчетных спектрах соответствующие области занимают интервал от 2968 до 3145 см^{-1} , где можно наблюдать хорошо выраженные пики и особенности на частотах $2977,0$, $2990,0$ (плечо), $3000,0$, $3017,0$, $3063,0$ (плечо), $3070,0$, $3088,6$, $3101,5$, $3119,5$ и $3140,0 \text{ см}^{-1}$ (слабая особенность) в ACh-Cl, в ACh-Br – $2967,0$, $2990,0$ (узкое плато), $3005,0$, $3053,0$, $3061,0$, $3069,0$, $3096,0$, $3105,0$, $3117,0$ и $3156,0 \text{ см}^{-1}$, расположенные в интервале частот от $2965,0$ до $3160,0 \text{ см}^{-1}$. В указанных интервалах присутствуют 48 (ACh-Cl) и 32 (ACh-Br) колебательных мод, имеющих форму симметричных и антисимметричных растяжений групп CH_3 и CH_2 , частоты которых кластеризуются в окрестности соответствующих пиков и образуют почти вырожденные группы с очень малыми расщеплениями частот порядка $0,5$ – $1,0 \text{ см}^{-1}$. Это соответствует их изолированному внутримолекулярному характеру и слабому взаимному влиянию в кристалле. Наилучшее согласие расчет-

ных частот с экспериментальными особенностями наблюдается в области $2970,0$ – $3025,0 \text{ см}^{-1}$, а более высокие частоты попадают в область бесструктурного поглощения, что характерно также для других теоретических результатов [24].

Наиболее выраженные особенности в интервале $1700,0$ – $1800,0 \text{ см}^{-1}$ экспериментального спектра наблюдаются на частотах 1748 и 1740 см^{-1} , с которыми хорошо согласуются расчетные пики $1735,0 \text{ см}^{-1}$ ($1736,31(B_3)$, $1735,21(B_2)$ и $1731,61(B_1)$) в ACh-Cl и $1746,0 \text{ см}^{-1}$ ($1746,93(A_u)$ и $1744,96(B_u)$) в ACh-Br. Движение атомов для указанных мод имеют форму растяжения связей C1–O2.

Область спектра внутренних колебаний от $1600,0$ до $600,0 \text{ см}^{-1}$ имеет достаточно сложную структуру и содержит большое число колебательных мод, частоты которых сгруппированы в окрестности соответствующих пиков расчетного ИК-спектра, а движение молекулярных единиц имеет практически подобный характер. Это позволяет ограничиться более детальным описанием мод, близких к «пиковым». Тогда для ACh-Cl: $1499,0 \text{ см}^{-1}$ асимметричные изгибные CH_3 , ножничные CH_2 ; $1487,3 \text{ см}^{-1}$ асимметричные изгибные CH_3 , ножничные CH_2 ; $1461,5 \text{ см}^{-1}$ асимметричные изгибные CH_3 ; $1451,0 \text{ см}^{-1}$ асимметричные изгибные CH_3 , маятниковые CH_2 ; $1437,0 \text{ см}^{-1}$ асимметричные изгибные CH_3 , маятниковые CH_2 ; $1411,0 \text{ см}^{-1}$ симметричные изгибные CH_3 , маятниковые CH_2 ; $1397,0 \text{ см}^{-1}$ симметрич-

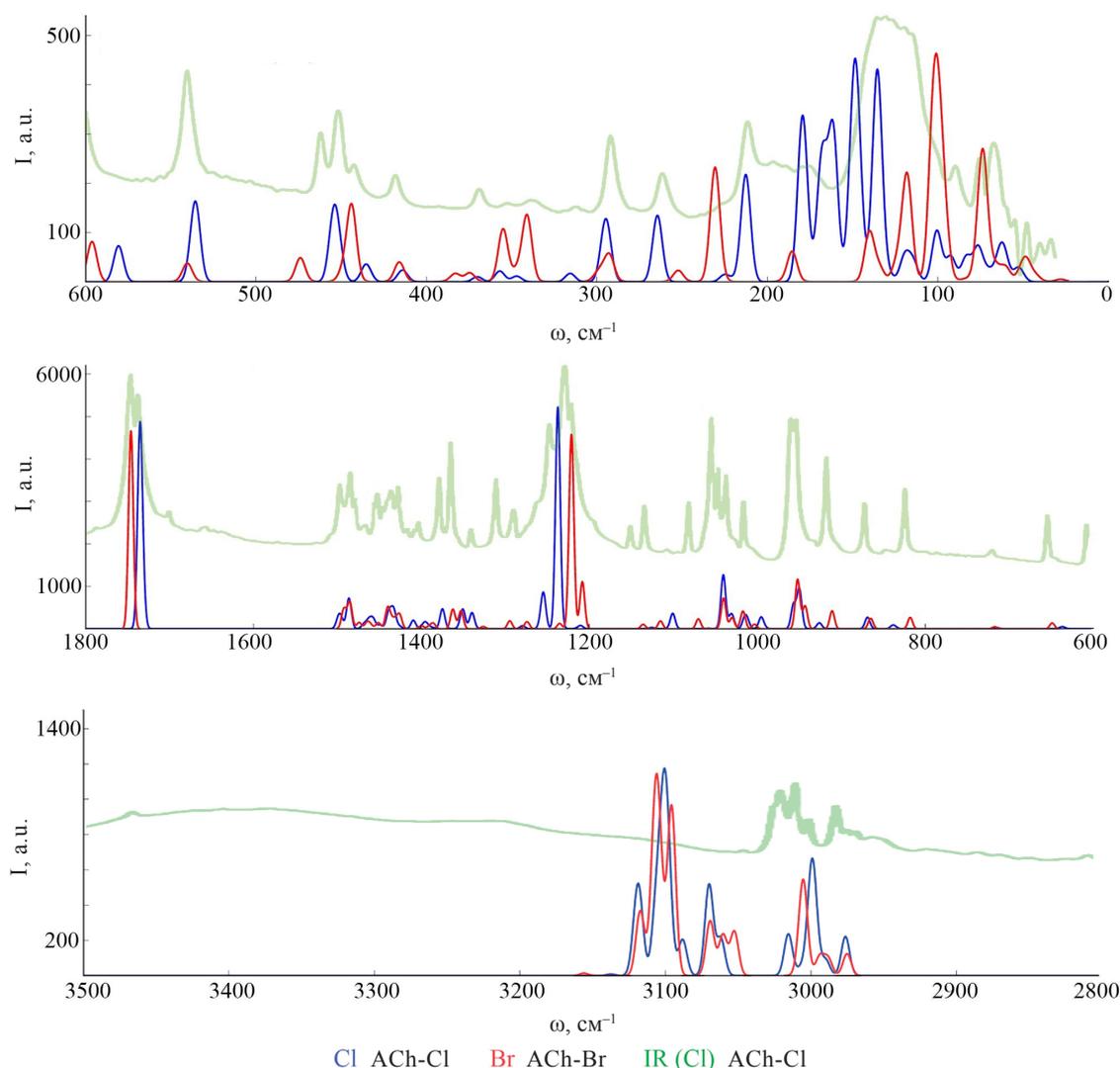


Рисунок 2. Инфракрасные спектры ACh-Hal: синий – ACh-Cl, красный – ACh-Br, зеленый – экспериментальный ИК-спектр ACh-Cl [24]

Figure 2. Infrared spectra of ACh-Hal: blue – ACh-Cl, red – ACh-Br, green – experimental IR spectrum of ACh-Cl [24]

ные изгибные, маятниковые с растяжением CH_2 ; $1376,0 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые с растяжением CH_2 ; $1351,0 \text{ cm}^{-1}$ симметричные изгибные CH_3 , крутильные CH_2 ; $1340,0 \text{ cm}^{-1}$ симметричные изгибные CH_3 , маятниковые CH_2 ; $1280,6 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые CH_3 , крутильные CH_2 ; $1256,0 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые CH_3 ; $1293,3 \text{ cm}^{-1}$ растяжения связи C1—O1 ; $1211,0 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые CH_3 , крутильные CH_2 ; $1128,3 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые CH_3 , крутильные CH_2 ; $1102,5 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые CH_3 , растяжения C2—O2 ; $1041,80 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые CH_3 , растяжения C2—O1 ; $1031,40 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые CH_3 ; $1014,50 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые CH_3 , крутильные CH_2 ; $996,60 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые CH_3 ; $956,0 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые CH_3 , крутильные CH_2 ; $951,40 \text{ cm}^{-1}$ маятниковые CH_3 , асимметричные растяжения O2—C1—O1 ; $870,0 \text{ cm}^{-1}$ симметричные

растяжения C—N ; $840,3 \text{ cm}^{-1}$ вращательные (торсионные) CH_2 ; $716,0 \text{ cm}^{-1}$ симметричные растяжения C—N , вращательные (торсионные) CH_2 .

Для ACh-Br: $1493,5 \text{ cm}^{-1}$ асимметричные изгибные CH_3 , ножничные CH_2 ; $1485,0 \text{ cm}^{-1}$ асимметричные изгибные CH_3 , ножничные CH_2 ; $1474,0 \text{ cm}^{-1}$ асимметричные изгибные CH_3 , ножничные CH_2 ; $1463,6 \text{ cm}^{-1}$ асимметричные изгибные CH_3 ; $1452,0 \text{ cm}^{-1}$ асимметричные изгибные CH_3 , ножничные CH_2 ; $1440,80 \text{ cm}^{-1}$ асимметричные изгибные CH_3 , ножничные CH_2 ; $1425,4 \text{ cm}^{-1}$ симметричные изгибные CH_3 , ножничные CH_2 ; $1400,50 \text{ cm}^{-1}$ симметричные изгибные CH_3 , маятниковые CH_2 ; $1386,0 \text{ cm}^{-1}$ симметричные изгибные CH_3 , маятниковые CH_2 ; $1363,5 \text{ cm}^{-1}$ симметричные изгибные CH_3 , маятниковые CH_2 ; $1353,0 \text{ cm}^{-1}$ асимметричные изгибные,

маятниковые CH_2 ; 1326,0 cm^{-1} вращательные CH_2 ; 1295,0 cm^{-1} растяжения C—N , вращательные CH_2 ; 1274,5 cm^{-1} асимметричные изгибные CH_3 , симметричные растяжения CH_2 ; 1236,5 cm^{-1} симметричные изгибные CH_3 , маятниковые CH_2 ; 1222,0 cm^{-1} асимметричные изгибные, вращательные CH_2 ; 1208,0 cm^{-1} вращательные CH_2 ; 1137,0 cm^{-1} маятниковые CH_3 , маятниковые CH_2 ; 1115,5 cm^{-1} маятниковые CH_3 , вращательные CH_2 ; 1070,0 cm^{-1} маятниковые CH_3 , растяжения C2—O1 ; 1040,0 cm^{-1} маятниковые CH_3 , растяжения C2—O1 ; 1031,0 cm^{-1} маятниковые CH_3 ; 1017,0 cm^{-1} маятниковые CH_3 , растяжения C4—N ; 952,0 cm^{-1} маятниковые CH_3 , вращательные CH_2 ; 943,0 cm^{-1} асимметричные растяжения C6—N—C5 ; 912,0 cm^{-1} вращательные CH_2 ; 865,5 cm^{-1} маятниковые CH_3 , асимметричные растяжения всех связей C—N ; 818,0 cm^{-1} растяжения C1—O1 , вращательные CH_2 ; 718,0 cm^{-1} симметричные растяжения C—N , вращательные CH_2 ; 650,0 cm^{-1} ножничные O1—C1—O2 .

В указанной области наблюдается хорошее согласие приведенных значений с экспериментальными. Расчетные спектры хлорида и бромиды практически совпадают, за исключением частот в области 1200,0 cm^{-1} , где спектр ACh-Br сдвинут в сторону меньших частот. Хорошее совпадение с экспериментальным пиком при 723,0 cm^{-1} следует считать случайным, т. к. эта особенность относится к комбинированному колебанию, обусловленному нелинейным характером взаимодействий, и по этой причине не может быть получена в расчетах на основе гармонического приближения [24].

В интервале частот от 600 cm^{-1} и ниже предполагаются колебания, имеющие смешанный тип. Моды с частотами до 170,0 cm^{-1} сохраняют молекулярный характер. В ACh-Cl : 581,0 cm^{-1} маятниковые O1—C2—O2 ; 536,0 cm^{-1} асимметричные изгибные $\text{N—(CH}_3)_3$, ножничные O1—C2—O2 ; 454,0 cm^{-1} асимметричные изгибные $\text{N—(CH}_3)_3$; 435,2 cm^{-1} асимметричные изгибные $\text{N—(CH}_3)_3$; 414,5 cm^{-1} асимметричные изгибные $\text{N—(CH}_3)_3$, вращательные CH_3 ; 370,0 cm^{-1} асимметричные изгибные $\text{N—(CH}_3)_3$, вращательные CH_3 ; 357,0 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 ; 348,0 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 ; 316,5 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 ; 295,0 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 ; 264,0 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 , $\text{CH}_2—\text{C4}$; 224,7 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 , ножничные C1—O1—C2 ; 212,5 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 ; 179,5 cm^{-1} вращательные CH_3 , торсионные C1—C3 .

В ACh-Br : 596,5 cm^{-1} маятниковые O1—C2—O2 ; 541,0 cm^{-1} асимметричные изгибные $\text{N—(CH}_3)_3$; 475,5 cm^{-1} асимметричные изгибные $\text{N—(CH}_3)_3$; 445,4 cm^{-1} асимметричные изгибные $\text{N—(CH}_3)_3$;

416,0 cm^{-1} асимметричные изгибные $\text{N—(CH}_3)_3$; 384,0 cm^{-1} вращательные CH_3 , асимметричные изгибные $\text{N—(CH}_3)_3$; 375,0 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 ; 355,0 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 ; 341,0 cm^{-1} ножничные C1—O1—C2 ; 294,0 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 ; 253,0 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 ; 231,4 cm^{-1} вращательные (торсионные) CH_3 ; 186,0 cm^{-1} торсионные C4—N .

Низкочастотная область от 170 cm^{-1} до нуля относится к решеточным колебаниям, расчетные частоты которых в случае ACh-Cl (рис. 2) хорошо коррелируют с особенностями экспериментального спектра. Сдвиг решеточного спектра ACh-Br в красную область более значительный, чем для внутримолекулярных колебаний, т. к. эффект влияния массы аниона в этом случае является максимальным.

Выводы

В результате выполненных первопринципных расчетов (DFT+D3) для орторомбического хлорида и моноклинного бромиды ацетилхолина были определены уточненные параметры кристаллической структуры, включая постоянные решетки, координаты атомов, длины связей и значения валентных и торсионных углов. Приведены данные по электронной структуре и выполнен анализ колебательных спектров. Показано, что теоретические и экспериментальные результаты находятся в хорошем согласии. Таким образом, применение первопринципной схемы DFT+D3 позволяет получать для сложных органических биологически активных систем надежные данные об их основных свойствах.

Критерии авторства

Ю. Н. Журавлев – руководство работой и анализ результатов (40 %). А. Б. Гордиенко – планирование расчетов, выбор методов и определение параметров вычислений (20 %). К. А. Гордиенко – выполнение расчетов, обработка и анализ результатов (40 %).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

Yu.N. Zhuravlev supervised the research and analyzed the results (40%). A.B. Gordienko designed the calculation plan, selected the methods, and determined the calculation parameters (20%). K.A. Gordienko performed the calculations, processed the data, and analyzed the results (40%).

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Loewi O. Quantitative and qualitative studies on the sympathetic substance. *Pflügers Archiv – European Journal of Physiology*. 1936;237:504–517. (In Ger.).
2. Sörum H. The crystal and molecular structure of acetyl choline bromide. *Acta Chemica Scandinavica*. 1959;13:345–359. <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.13-0345>
3. Koolman J, Rohm K-H, Thieme G. *Pocket atlas of biochemistry*. New York: Georg Thieme Verlag Stuttgart, 1997. 427 p. (In Ger.).
4. Deakyne CA, Meot-Ner M. Ionic hydrogen bonds in bioenergetics. 4. Interaction energies of acetylcholine with aromatic and polar molecules. *Journal of the American Chemical Society*. 1999;121(7):1546–1557. <https://doi.org/10.1021/ja982549s>
5. Maltsev VA, Lakatta EG. A novel quantitative explanation for the autonomic modulation of cardiac pacemaker cell automaticity via a dynamic system of sarcolemmal and intracellular proteins. *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*. 2010;298(6):H2010–H2023. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00783.2009>
6. Van Borren MMGJ, Verkerk AO, Wilders R, Hajji N, Zegers JG, Bourier J, *et al.* Effects of muscarinic receptor stimulation on Ca²⁺ transient, cAMP production and pacemaker frequency of rabbit sinoatrial node cells. *Basic Research in Cardiology*. 2010;105(1):73–87. <https://doi.org/10.1007/s00395-009-0048-9>
7. Verkerk AO, Remme CA. Zebrafish: A novel research tool for cardiac (patho)electrophysiology and ion channel disorders. *Frontiers in Physiology*. 2012;3. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00255>
8. Tarasova OL, Ivanov VI, Luzgarev SV, Lavryashina MB, Anan'ev VA. Choline intake effects on psychophysiological indicators of students in the pre-exam period. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(2):397–405. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-397-405>
9. Xu Z, Tong C, Eisenach JC. Acetylcholine stimulates the release of nitric oxide from rat spinal cord. *Anesthesiology*. 1996;85(1):107–111. <https://doi.org/10.1097/00000542-199607000-00015>
10. Du F, Huang W, Shi Y, Wang Z, Cheng J. Real-time monitoring of NO release from single cells using carbon fiber microdisk electrodes modified with single-walled carbon nanotubes. *Biosensors and Bioelectronics*. 2008;24(3):415–421. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2008.04.020>
11. Krugovov DA, Mengele EA, Kasaikina OT. Acetylcholine as a catalyst of hydroperoxide decomposition to free radicals. *Russian Chemical Bulletin*. 2014;63(8):1837–1842. <https://doi.org/10.1007/s11172-014-0673-9>
12. Sletten DM, Nickander KK, Low PA. Stability of acetylcholine chloride solution in autonomic testing. *Journal of the Neurological Sciences*. 2005;234(1–2):1–3. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2005.02.007>
13. de Almeida Neves PAA, Silva EN, Beirao PSL. Microcalorimetric study of acetylcholine and acetylthiocholine hydrolysis by acetylcholinesterase. *Advances in Enzyme Research*. 2017;5(1). <https://doi.org/10.4236/aer.2017.51001>
14. Drudi FM, Lima C, Freitas L, Yogi M, Nascimento H, Belfort R. Acetylcholine chloride 1% usage for intraoperative cataract surgery miosis. *Revista Brasileira de Oftalmologia*. 2017;76(5):247–249. <https://doi.org/10.5935/0034-7280.20170051>
15. Chapple-McGruder T, Leider JP, Beck AJ, Castrucci BC, Harper E, Sellers K, *et al.* Examining state health agency epidemiologists and their training needs. *Annals of Epidemiology*. 2017;27(2):83–88. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2016.11.007>
16. Fedotova MV, Kruchinin SE, Chuev GN. Hydration features of the neurotransmitter acetylcholine. *Journal of Molecular Liquids*. 2020;304. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.112757>
17. Chen Q, Yang L-P, Li D-H, Zhai J, Jiang W, Xie X. Potentiometric determination of the neurotransmitter acetylcholine with ion-selective electrodes containing oxatub[4]arenes as the ionophore. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2021;326. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128836>
18. Bodur OC, Hasanoğlu Özkan E, Çolak Ö, Arslan H, Sarı N, Dişli A, *et al.* Preparation of acetylcholine biosensor for the diagnosis of Alzheimer's disease. *Journal of Molecular Structure*. 2021;1223. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129168>
19. Svinning T, Sörum H. A reinvestigation of the crystal structure of acetylcholine bromide. *Acta Crystallographica Section B – Structural Science, Crystal Engineering and Materials*. 1975;B31:1581–1586. <https://doi.org/10.1107/S0567740875005729>
20. Allen KW. Crystal data of acetylcholine chloride. *Acta Crystallographica*. 1962;15. <https://doi.org/10.1107/S0365110X62002741>
21. Herdklotz JK, Sass RL. The crystal structure of acetylcholine chloride: A new conformation for acetylcholine. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 1970;40(3):583–588. [https://doi.org/10.1016/0006-291x\(70\)90942-3](https://doi.org/10.1016/0006-291x(70)90942-3)
22. Derreumaux P, Wilson KJ, Vergoten G, Peticolas WL. Conformational studies of neuroactive ligands. 1. Force field and vibrational spectra of crystalline acetylcholine. *Journal of Physical Chemistry*. 1989;93(4):1338–1350. <https://doi.org/10.1021/j100341a033>
23. Karakaya M, Ucun F. Spectral analysis of acetylcholine halides by density functional calculations. *Journal of Structural Chemistry*. 2013;54(2):321–331. <https://doi.org/10.1134/S0022476613020078>

24. Pawlukojc A, Hetmanczyk L. INS, DFT and temperature dependent IR studies on dynamical properties of acetylcholine chloride. *Vibrational Spectroscopy*. 2016;82:37–43. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2015.11.008>
25. Zhuravlev Yu, Gordienko K, Dyagilev D, Luzgarev S, Ivanova S, Prosekov A. Structural, electronic, and vibrational properties of choline halides. *Materials Chemistry and Physics*. 2020;246. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122787>
26. Hohenberg P, Kohn W. Inhomogeneous electron gas. *Physical Review*. 1964;136(3B):B864–B871. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.136.B864>
27. Kohn W, Sham LJ. Self-consistent equations including exchange and correlation effects. *Physical Review*. 1965;140(4A):A1133–A1138. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.140.A1133>
28. Perdew JP, Burke K, Ernzerhof M. Generalized gradient approximation made simple. *Physical Review Letters*. 1997;77(18):3865–3868. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.77.3865>
29. Solomon EI, Scott RA, King R. *Computational inorganic and bioinorganic chemistry*. Chichester: John Wiley & Sons; 2009. 294 pp.
30. Stephens PJ, Devlin FJ, Chabalowski CF, Frisch MJ. Ab Initio calculation of vibrational absorption and circular dichroism spectra using density functional force fields. *Journal of Physical Chemistry*. 1994;98(45):11623–11627. <https://doi.org/10.1021/j100096a001>
31. Andersson Y, Andersson DC, Lundqvist BI. Van der Waals interactions in density-functional theory. *Physical Review Letters*. 1996;76(1):102–105. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.76.102>
32. Langreth DC, Dion M, Rydberg H, Schroder E, Hyldgaard P, Lundqvist BI. Van der Waals density functional theory with applications. *International Journal of Quantum Chemistry*. 2005;101(5):599–610. <https://doi.org/10.1002/qua.20315>
33. Sato T, Tsuneda T, Hirao K. Van der Waals interactions studied by density functional theory. *Molecular Physics*. 2005;103(6–8):1151–1164. <https://doi.org/10.1080/00268970412331333474>
34. Grimme S, Antony J, Ehrlich S, Krieg H. A consistent and accurate *ab initio* parametrization of density functional dispersion correction (DFT-D) for the 94 elements H–Pu. *Journal of Chemical Physics*. 2010;132(15). <https://doi.org/10.1063/1.3382344>
35. Grimme S, Ehrlich S, Goerigk L. Effect of the damping function in dispersion corrected density functional theory. *Journal of Computational Chemistry*. 2011;32(7):1456–1465. <https://doi.org/10.1002/jcc.21759>
36. Dovesi R, Saunders VR, Roetti C, Orlando R, Zicovich-Wilson CM, Pascale F, et al. *CRYSTAL17 User's Manual*. Torino: Universita di Torino; 2017.
37. Wadt WR, Hay PJ. *Ab initio* effective core potentials for molecular calculations. Potentials for main group elements Na to Bi. *The Journal of Chemical Physics*. 1985;82(1):284–298. <https://doi.org/10.1063/1.448800>
38. Hay PJ, Wadt WR. *Ab initio* effective core potentials for molecular calculations. Potentials for transition metal atoms Sc to Hg. *The Journal of Chemical Physics*. 1985;82(1):270–283. <https://doi.org/10.1063/1.448799>
39. Monkhorst HJ, Pack JD. Special points for Brillouin-zone integrations. *Physical Review B*. 1976;13(12):5188–5192. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.13.5188>
40. Frydenvang K, Jensen B. Conformational analysis of acetylcholine and related esters. *Acta Crystallographica Section B: Structural Science*. 1996;52(1):184–193. <https://doi.org/10.1107/S0108768195007567>
41. Al-Badr AA, El-Obeid HA. Acetylcholine chloride: Physical profile. *Profiles of Drug Substances, Excipients, and Related Methodology*. 2004;31:1–19. [https://doi.org/10.1016/S0099-5428\(04\)31001-4](https://doi.org/10.1016/S0099-5428(04)31001-4)

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2401>
<https://elibrary.ru/CHQXOG>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние ионизирующего облучения на пшеничную хлебопекарную муку



А. С. Романов¹, А. С. Марков^{2,*}, И. Ю. Сергеева²,
Л. А. Козубаева³, Д. Н. Протопопов³

¹ Международная промышленная академия, Москва, Россия

² Кемеровский государственный университет , Кемерово, Россия

³ Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова , Барнаул, Россия

Поступила в редакцию: 16.03.2022

Принята после рецензирования: 19.09.2022

Принята к публикации: 04.10.2022

*А. С. Марков: asm041@yandex.ru,

<http://orcid.org/0000-0002-3648-7557>

А. С. Романов: <https://orcid.org/0000-0003-3881-0255>

И. Ю. Сергеева: <https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

Л. А. Козубаева: <https://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

Д. Н. Протопопов: <https://orcid.org/0000-0001-7572-6680>

© А. С. Романов, А. С. Марков, И. Ю. Сергеева,
Л. А. Козубаева, Д. Н. Протопопов, 2022



Аннотация.

Радиационная обработка пищевых продуктов применяется для подавления развития микроорганизмов и вредителей. Несмотря на признанную безопасность и сохранение пищевой ценности, исследователи отмечают изменение свойств крахмала и белков в результате данной обработки. Цель работы – изучить влияние ионизирующего облучения на хлебопекарные свойства и показатели безопасности пшеничной муки.

Объектами исследования являлись пшеничная хлебопекарная мука, подвергнутая гамма-облучению дозами от 0 до 47,52 кГр, тесто и хлеб выработанные из нее. Для муки определяли радиационную активность радионуклидов, микробиологические показатели и число падения. Структурно-механические свойства теста исследовали на приборах Alveograf и Mixolab. Качество хлеба оценивали по удельному объему, формоустойчивости и органолептическим показателям.

В работе подтверждена безопасность муки по остаточной энергии гамма-излучения через 24 и 72 ч. При максимальной дозе гамма-облучения отмечали уменьшение КМАФАнМ (в 15 раз) и плесеней (в 5 раз) по сравнению с контролем. Общая энергия деформации, упругие свойства и индекс эластичности теста, определенные по альвеограммам, снизились более чем в два раза, по сравнению с контролем, при максимальной дозе облучения муки. Данные миксолабограмм показали ухудшение устойчивости теста при замесе и снижение температуры начала клейстеризации пшеничного крахмала на 2,3–3,3 °С. Отмечено более чем четырехкратное снижение показателя числа падения, что можно объяснить изменениями состояния пшеничного крахмала. При выпечке хлеба из облученной муки наблюдалось уменьшение удельного объема и формоустойчивости, а при максимальной дозе облучения (47,52 кГр) – потемнение, липкость и заминаемость мякиша.

Исследования показали улучшение микробиологических показателей безопасности пшеничной муки при облучении с максимальной дозой. Было установлено снижение хлебопекарных свойств муки. При дозах свыше 23 кГр ухудшались органолептические и физико-химические показатели качества хлеба, что не позволяет рассматривать ионизирующее облучение пшеничной муки, предназначенной для хлебопечения, как приемлемый способ ее обеззараживания.

Ключевые слова. Хлебопечение, радиационная активность, радионуклиды, белок, крахмал, технологические свойства, качество, безопасность

Для цитирования: Влияние ионизирующего облучения на пшеничную хлебопекарную муку / А. С. Романов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 729–738. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2401>

Effect of Ionising Irradiation on Wheat Flour



Aleksandr S. Romanov¹, Aleksandr S. Markov^{2,*},
Irina Yu. Sergeeva², Lyudmila A. Kozubaeva³,
Dmitry N. Protopopov³

¹ International Industrial Academy, Moscow, Russia

² Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

³ Polzunov Altai State Technical University^{ROR}, Barnaul, Russia

Received: 16.03.2022
Revised: 19.09.2022
Accepted: 04.10.2022

*Aleksandr S. Markov: asm041@yandex.ru,
<http://orcid.org/0000-0002-3648-7557>
Aleksandr S. Romanov: <https://orcid.org/0000-0003-3881-0255>
Irina Yu. Sergeeva: <https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>
Lyudmila A. Kozubaeva: <https://orcid.org/0000-0002-5131-4654>
Dmitry N. Protopopov: <https://orcid.org/0000-0001-7572-6680>

© A.S. Romanov, A.S. Markov, I.Yu. Sergeeva,
L.A. Kozubaeva, D.N. Protopopov, 2022



Abstract.

Radiation processing suppresses the development of microorganisms and pests in food products. This method is safe and does not affect nutritional value; however, it may change the properties of starch and proteins. The research objective was to define the effect of ionization on the baking properties and safety indicators of wheat flour.

The study featured wheat flour subjected to gamma irradiation at 0–47.52 kGy, as well as dough and bread made from this flour. The flour samples were tested for the radioactivity of radionuclides; a set of experiments revealed their microbiological indicators and falling-number values. The dough samples were studied on an Alveograph and a Mixolab analyzer to define their structural and mechanical properties. The quality of bread was evaluated by its specific volume, shape stability, and sensory profile.

The flour proved safe in terms of residual gamma radiation after 24 and 72 h. At the maximal dose of gamma radiation, the total viable count of mesophyll aerobic and optional-anaerobic microorganisms decreased by fifteen times, whereas the amount of mold decreased by five times. The total strain energy, elastic properties, and elasticity index of the dough declined by more than 50%. The dough had a lower stability during kneading. Its gelatinization onset started earlier by 2.3–3.3°C. The falling number decreased by more than four times, probably, due to the changes in the state of wheat starch. The bread samples had a smaller specific volume and a lower dimensional stability. They also demonstrated signs of darkening, stickiness, and crumb crushing at the maximal irradiation dose (47.52 kGy).

The microbiological safety indicators of wheat flour increased at the maximal irradiation dose. However, the baking properties of flour decreased. The sensory and physicochemical parameters of bread quality started to deteriorate at ≥ 23 kGy. Therefore, ionization cannot be recommended as a disinfection method for baking wheat flour production.

Keywords. Bakery, radiation activity, radionuclides, protein, starch, technological properties, quality, safety

For citation: Romanov AS, Markov AS, Sergeeva IYu, Kozubaeva LA, Protopopov DN. Effect of Ionising Irradiation on Wheat Flour. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):729–738. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2401>

Введение

Облучение является эффективным и безопасным методом сохранения пищи, поскольку уменьшает порчу, улучшает гигиену питания и продлевает срок годности. Применение облучения пищевых продуктов обсуждается в различных международных

организациях. В последние несколько лет расширилась деятельность по облучению пищевых продуктов в коммерческом масштабе [1, 2].

Существует установленная структура международных стандартов для облучения пищевых продуктов, охватывающих здоровье человека, защиту

растений, маркировку, способы облучения, обеспечение качества и управление объектами. Около 60 стран разрешают облучение одной или нескольких групп продуктов питания. Объемы облученной свежей продукции превышают 20 000 т в год [3, 4].

Результаты исследований доказали, что облучение в установленных стандартами дозах не оказывает отрицательного влияния на питание или остаточную радиацию в пище [5, 6].

Технологии радиационной обработки показывают потенциал для будущих применений, прежде всего в направлении обеззараживания пищевой продукции [7–10].

Несмотря на имеющийся опыт применения данной технологии обработки, проводятся исследования по установлению влияния радиационной обработки пищевых продуктов как на показатели пищевой ценности, так и на отдельные компоненты таких систем. Главным фактором во всех исследованиях является доза облучения.

Общая доза облучения в 10 кГр эффективна для микробной дезактивации зерен зерновых культур и не оказывает негативного влияния на их пищевое качество [11]. Есть научные работы по изучению влияния малых доз гамма-облучения с последующим хранением на физико-химические свойства зерна пшеницы. Гамма-облучение до 3,5 кГр ингибировало некоторые группы грибной популяции микроорганизмов, но не влияло на физические свойства зерен пшеницы. При дозах облучения 0,5, 1,5, 2,5 и 3,5 кГр потери для всех незаменимых аминокислот находились в диапазоне от 0,56 до 1,62 %, для общего количества всех аминокислот – в диапазоне от 0,03 до 0,28 %. Общая потеря заменимых аминокислот увеличивается в диапазоне от 0,22 до 0,45 % при тех же дозах облучения. Большие потери лизина отмечены для всей облученной пшеницы. Так как аминокислота лизин является ограничивающей в большинстве зерновых, то уменьшение от облучения понизило их питательную ценность [12].

Радиационная обработка может оказывать влияние на основные компоненты растительных сельскохозяйственных продуктов. Исследованиям подвергаются различные компоненты. Например, исследовано влияние гамма-облучения на основные фенольные соединения в зернах риса трех генотипов (черного, красного и белого). Гамма-облучение в большинстве доз может уменьшить полное содержание фенольных кислот. Однако можно говорить о сложном воздействии на отдельные компоненты. Установлено, что доза облучения 6 и 8 кГр увеличила общее содержание антоцианов и фенольных кислот в черном рисе [13, 14]. Наиболее полно изучено влияние облучения на свойства крахмала различных злаков. Подтверждено влияние гамма-облучения на физико-химические, реологические и термические свойства крахмала различных злаков [15–20].

С помощью методов термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии, рентгеновской дифракции и сканирующей электронной микроскопии установлено влияние гамма-излучения на микроструктуру зерна риса и свойства его крахмала [21]. Установлено деструктивное действие облучения на биополимеры с высокой молекулярной массой. На основе гелевой хроматографии крахмала белого риса установлено, что отношение содержания амилопектина к амилозе уменьшалось с увеличением дозы облучения [22].

Изучено влияние гамма-излучения (3, 5, 10, 20, 35 и 50 кГр) на структурные, термические, физико-химические, морфологические и реологические свойства пшеничного крахмала. Подтверждено наличие свободных радикалов после гамма-лучевой обработки, число которых со временем уменьшалось. Дифференциальные сканирующие калориметрические термограммы показали отсутствие существенных различий температур клейстеризации, а также соответствующих энтальпий перехода. Видимое содержание амилозы линейно уменьшалось с увеличением дозы облучения, что приводило к увеличению индекса растворимости в воде. Увеличение скорости набухания наблюдалось после облучения до 20 кГр. Микроскопические наблюдения показали, что влияние гамма-излучения было более заметным на крахмальные клейстеры, чем на крахмальные гранулы. Реологические свойства крахмальных клейстеров снижались с увеличением дозы облучения в результате расщепления гликозидных связей [23].

Описано влияние гамма-облучения на физико-химические, тепловые и функциональные свойства цельной пшеничной муки и выделенного после облучения крахмала. Результаты показали, что состав основных пищевых веществ не менялся с дозировкой, но содержание амилозы возросло с 25,33 до 36,03 %. Насыпная плотность муки существенно не изменилась. Набухаемость, растворимость, синерезис и стабильность при оттаивании и замораживании были улучшены при повышении дозы [24].

Интерес представляют исследования влияния облучения на различные комплексные и технологические свойства муки, т. к. это позволяет судить о применимости такого продукта для дальнейшей переработки, что особенно важно для муки [24, 25]. Основной целью облучения является снижение содержания микроорганизмов и обеззараживание. Как показывают различные исследования, эти изменения зависят от величины дозы облучения.

Исследование влияние низко-дозового гамма-облучения (0,25–1,00 кГр) на фасованную цельнозерновую муку показало, что не было отрицательного влияния облучения и хранения до 6 месяцев на общие белки, жиры, углеводы, содержание витаминов В₁ и В₂, индекс цвета, значение седиментирования,

свойства теста и общее количество бактерий и плесеней. Хранение пшеничной муки привело к увеличению влажности, свободных жирных кислот и поврежденного крахмала, а также к снижению сахаров и вязкости клейстеризации. Однако облучение не оказало влияния ни на один из этих параметров. Облучение при 0,25 кГр было достаточным для сохранения свойств муки в течение 6 месяцев без каких-либо существенных изменений в питательных и функциональных свойствах [26].

В диапазоне доз 1–5 кГр облучение не оказывало существенного влияния на основной питательный состав и аминокислотное содержание пшеничной муки. Содержание сырой клейковины и влажность клейковины в пшеничной муке существенно не изменялись, но индекс клейковины и число падения снижались с увеличением дозы облучения. Облучение смогло увеличить скорость поглощения воды пшеничной мукой и уменьшить время образования теста и время стабильности. С увеличением дозы облучения площадь растяжения, сопротивление растяжению, коэффициент растяжения и другие параметры сначала увеличивались, а затем уменьшались, но величины этих изменений не были значительными [27].

Исследовано влияние гамма-излучения на физико-химические свойства образцов цельной пшеничной муки. Три сорта пшеницы подвергали гамма-облучению в дозах 2,5 и 5 кГр. Результаты выявили снижение поглощения воды и масла, набухаемости и эмульсионной способности всех исследуемых сортов. При облучении было обнаружено увеличение индекса растворимости в воде, стабильности эмульсии, пенообразующей способности и стабильности. Вязкость клейстеров также снижается при облучении [28].

При гамма-облучении пшеничной цельнозерновой муки дозами до 10 кГр изменялись ее тепловые, реологические и функциональные свойства. Время образования теста уменьшалось, но формирование каких-либо новых химических групп не наблюдалось [29].

Установлено влияние гамма-излучения в дозах до 9 кГр на некоторые технологические характеристики пшеничной муки и физические свойства хлебобулочных изделий, приготовленных из этой муки. Полученные результаты свидетельствуют о том, что обработка пшеничной муки ионизирующим излучением может повышать ферментативную активность в процессе хлебопечения и увеличивать массу, высоту и усилия деформации выпекаемого из нее хлеба в зависимости от дозы облучения [30].

Несмотря на доступные результаты исследований, отсутствуют данные, позволяющие судить об изменении хлебопекарных свойств муки в результате гамма-облучения при дозах, влияющих на содержание микроорганизмов.

Объекты и методы исследования

В работе использовали пшеничную хлебопекарную муку 1 сорта с массовой долей золы в пересчете на сухое вещество не более 0,75 %, отвечающую требованиям ГОСТ 26574-2017.

Облучение образцов проводили на гамма-установке РХМ-У-20. Мощность дозы гамма-излучения была определена с помощью ферросульфатной дозиметрии. Радиационно-химический выход Fe^{3+} принимали равным 15,6 (100 эВ^{-1}). Максимальная энергия гамма-излучения – 1,25 МэВ. Для определения поглощенной дозы в качестве дозиметрической системы использовали твердый нитрат калия. Радиационно-химический выход нитрит ионов принимали равным 1,57 (100 эВ^{-1}). В процессе проведения исследования мощность поглощенной дозы была равна 1,1 Гр/с.

О влиянии гамма-облучения на свойства муки судили по радиационной активности радионуклидов, состоянию микрофлоры, структурно-механическим свойствам теста и качеству хлеба.

Измерение удельной активности цезия-137 в образцах муки проводили на сцинтилляционном гамма-спектрометре «Прогресс» с блоком детектирования в свинцовой защите.

Определение остаточной энергии гамма-излучения в муке проводили на лабораторной установке, состоящей из свинцовой измерительной камеры с толщиной стенок 50 мм, сцинтилляционного детектора БДЭГ4-43А с диаметром кристалла 63 мм, аналого-цифрового преобразователя и персонального компьютера со специализированным программным обеспечением.

Определение в муке количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), плесеней и *Bacillus subtilis* проводили методами, основанными на высеве продукта, инкубировании посевов и подсчете всех выросших видимых колоний.

Число падения определяли на приборе Falling Number (Perten Instruments, Швеция), реологические свойства теста – с применением приборов Alveograf и Mixolab (CHOPIN Technologies, Франция).

Определение реологических свойств с применением Альвеографа основано на установлении усилия на раздувание воздухом образца теста в виде шара. Данный процесс воспроизводит деформацию теста под воздействием углекислого газа, накапливающегося в процессе брожения теста. С помощью альвеограмм определяют реологические характеристики теста: P – максимальное избыточное давление (характеризует упругость), L – среднюю абсциссу при разрыве (характеризует растяжимость), W – общую энергию деформации (характеризует «хлебопекарную силу» муки), P/L – соотношение упругости и растяжимости, G – индекс раздувания, $I.e.$ – индекс эластичности.

Основными параметрами теста, определяемыми с помощью миксолаба, являются:

- консистенция, т. е. сопротивление теста, оказываемое месильным лопастям прибора Миксолаб при постоянной частоте вращения 80 об/мин и выраженное через момент силы ($H \cdot m$), измеряемый на приводе месильных лопастей;
- водопоглощение (water absorption), т. е. объем воды, необходимый для образования теста заданной консистенции, создающей максимальный момент силы ($C1$), равный 1,1 $H \cdot m$;
- время образования теста (time), т. е. время, необходимое для образования теста с заданной консистенцией, создающей момент силы, равный 1,1 $H \cdot m$;
- стабильность (stability), т. е. время, в течение которого тесто сохраняет консистенцию, создающую момент силы выше или равный 1,1 $H \cdot m$.

Для изучения влияния ионизирующего облучения муки на качество хлеба проводили лабораторные выпечки. Тесто готовили однофазным (безопарным) способом. Тесто замешивали из муки, пресованных хлебопекарных дрожжей, соли и воды. Брожение теста проводили при температуре 28–30 °С в течение 210 мин. Сформованные тестовые заготовки после расстойки выпекали при температуре 210–220 °С в течение 15–20 мин в увлажненной пекарной камере. Качество хлеба определяли по органолептическим и физико-химическим показателям общепринятыми методами.

Результаты и их обсуждение

Показатели безопасности. Важным показателем безопасности продукта, подвергнутого обработке гамма-лучами, является величина его собственного радиационного фона. При определении остаточной энергии гамма-излучения образцов муки каждое измерение проводили в течение 1000 с. Анализ проводили через 24 и 72 ч после облучения. Естественный радиационный фон в лаборатории составлял 265,9 Бк. Радиационная активность внутри пустой свинцовой камеры была равна 26,8 Бк.

Результаты определения остаточной активности образцов муки, подвергнутых облучению, представлены в таблице 1.

Разница в результатах измерения радиационной активности образцов муки с различной дозой облучения не превышала 1,5 %, что сопоставимо с

погрешностью прибора. Кроме того, радиационный фон образцов муки был почти в 10 раз меньше естественного фона в помещении лаборатории.

Облучение муки не влияло на содержание в ней радионуклидов. При дозе облучения муки до 47,52 кГр удельная активность цезия-137 во всех образцах оставалась на одном уровне и не превышала 6,0 Бк/кг. Допустимое значение, нормируемое ГОСТ 32161-2013, составляет не более 60 Бк/кг.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что облучение муки гамма-лучами не влияет на ее остаточную радиоактивность, что согласуется с данными других авторов [5, 6].

Многочисленные данные научно-технической литературы указывают на то, что чувствительность микроорганизмов к действию облучения зависит от его дозы. Проведенные исследования микробиологических показателей исследуемых облученных образцов муки показали аналогичную тенденцию. Количество колоний *Bacillus subtilis* и КМАФАнМ при дозах до 23,76 кГр существенно не изменялось. Однако при максимальной дозе гамма-облучения количество колоний КМАФАнМ уменьшалось, по сравнению с контролем, в 15 раз, плесеней – в 5 раз.

Структурно-механические свойства. Облучение влияло на свойства муки и теста из нее. Изучение структурно-реологических свойств теста выявило изменение белково-протеиназного и углеводно-амилазного комплексов пшеничной муки.

Особенности полученных альвеограмм и результаты их обработки (табл. 2) иллюстрируют изменение упруго-эластичных свойств теста в результате облучения муки.

Общая энергия деформации (W), упругие свойства (P) и индекс эластичности теста при максимальной дозе облучения муки уменьшались более чем в два раза по сравнению с контрольным образцом.

Наблюдаемое снижение величины избыточного давления P обусловлено снижением сопротивления теста деформации. Снижение упругих и эластичных свойств теста приводило к ухудшению хлебопекарной силы муки, отражающейся в показателе энергии деформации (W).

Полученные данные вызваны изменениями состояния белковых веществ теста, формирующих его упруго-эластичные свойства. Это косвенно подтверждается данными других исследований, указывающих на изменение содержания аминокислот и влияние на белки [12].

Для изучения водопоглощения муки и реологических свойств теста в процессе замеса использовали прибор Миксолаб (Chopin Mixolab).

Сущность метода заключается в измерении момента силы ($H \cdot m$), возникающего на приводе месильных лопастей при замесе теста из муки и воды в тестомесилке, температура которой меняется

Таблица 1. Остаточная энергия гамма-излучения муки

Table 1. Residual gamma radiation of flour

Доза облучения, кГр	Остаточная энергия излучения, Бк
0 (контроль)	26,963
11,88	26,911
23,76	27,135
47,52	27,358

Таблица 2. Показатели альвеограмм муки при различной дозе облучения

Table 2. Alveograms of flour at different radiation doses

Показатель	Значения показателей при дозе облучения, кГр			
	0	11,88	23,76	47,52
Энергия деформации (W), Дж	283	221	171	103
Максимальное избыточное давление (P), мм водн. ст.	135	122	93	77
Средняя абсцисса при разрыве (L), мм	57	49	66	42
Индекс раздувания (G)	16,8	15,6	18,1	14,4
Отношение P/L	2,37	2,49	1,41	1,83
Индекс эластичности ($I.e.$)	50,9	44,7	33,6	17,6

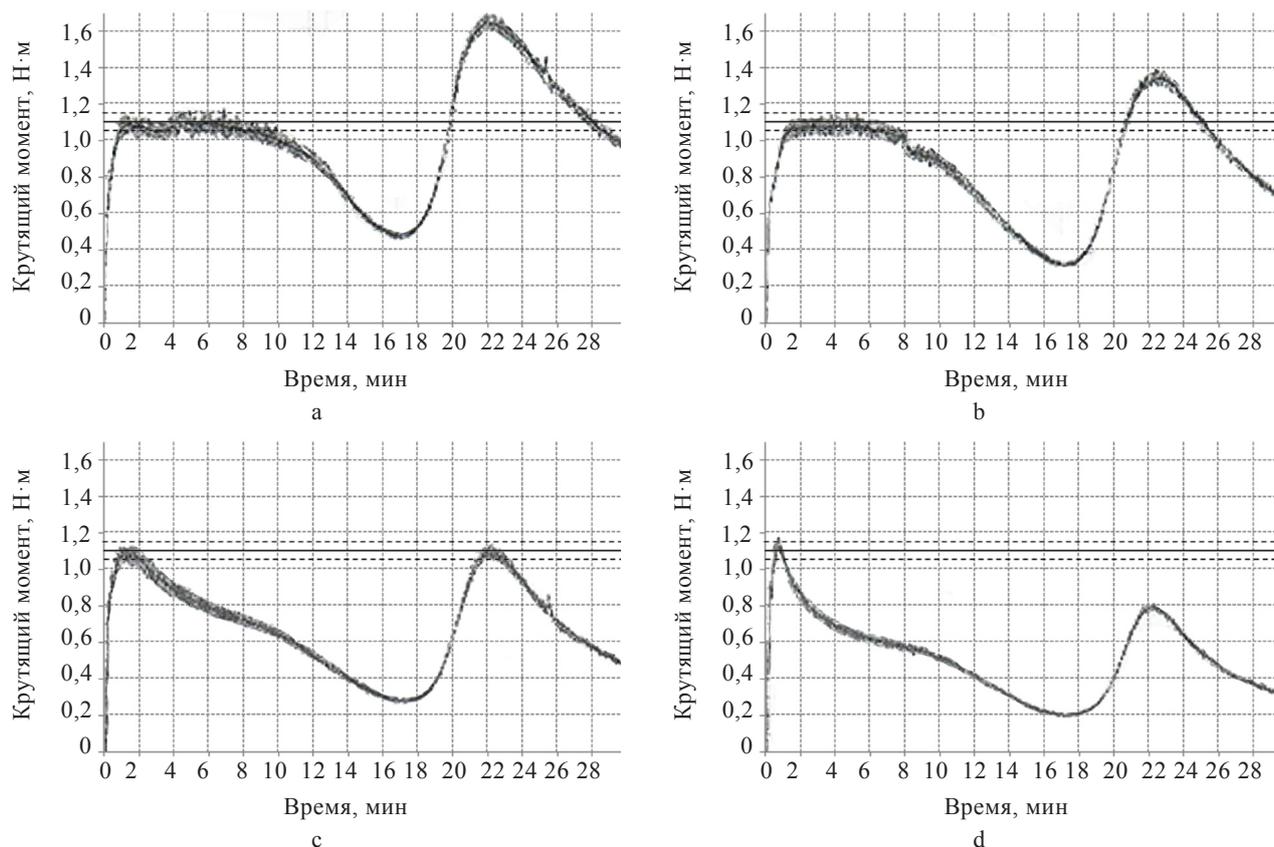


Рисунок 1. Миксолабограммы муки при различной дозе гамма-облучения: а – 0 кГр (контроль); б – 11,88 кГр; в – 23,76 кГр; д – 47,52 кГр

Figure 1. Mixolabograms of flour at different gamma-irradiation doses: а – 0 kGy (control); б – 11.88 kGy; в – 23.76 kGy; д – 47.52 kGy

по определенному алгоритму, включенному в программное обеспечение прибора.

Результаты определения выражали в числовом и графическом виде. График изменения момента силы (крутящего момента) в процессе замеса при различных температурных режимах, называемый миксолабограммой, имеет несколько критических точек (C1, C2, C3, C4, C5), соответствующих фазам состояния компонентов теста.

Представленные миксолабограммы (рис. 1) иллюстрируют изменения водопоглощения муки

и реологических свойств теста в зависимости от условий замеса и повышения температуры.

Во время первой фазы проводили замес, обеспечивающий достижение тестом максимальной консистенции и затем ее снижение. В течение 8 мин температура теста и тестомесилки поддерживалась на уровне 30 °С. На этой фазе определяли водопоглощение при достижении значения консистенции теста, равного $1,10 \pm 0,05$ Н·м. Облучение муки приводило к сокращению времени образования теста и снижению его стабильности – времени, в течение

Таблица 3. Данные миксолабограмм в точке С1

Table 3. Mixolabogram data at point C1

Доза облучения, кГр	Водопоглощение, %	Время, мин	Стабильность, мин
0 (контроль)	60,1	4,55	10,62
11,88	62,7	4,53	7,47
23,76	63,1	1,18	3,15
47,52	67,7	0,08	1,03

Таблица 4. Данные миксолабограмм в точке С2

Table 4. Mixolabogram data at point C2

Доза облучения, кГр	Момент силы, Н·м	Температура теста, °С
0 (контроль)	0,48	55,6
11,88	0,33	53,3
23,76	0,28	53,2
47,52	0,21	52,3

Таблица 5. Данные миксолабограмм в точке С3

Table 5. Mixolabogram data at point C3

Доза облучения, кГр	Момент силы, Н·м	Температура теста, °С
0 (контроль)	1,63	75,8
11,88	1,34	73,0
23,76	1,10	72,3
47,52	0,79	71,6

которого тесто сохраняет консистенцию, создающую момент силы выше или равный 1,1 Н·м (табл. 3).

Время достижения заданной консистенции 1,1 Н·м (С1) снижалось с 4,55 мин в контрольном образце до 0,08 мин в образце с дозой облучения 47,52 кГр (табл. 4). Одновременно снижался показатель стабильности, что свидетельствовало об ухудшении устойчивости теста при замесе. Чем больше была доза облучения муки, тем более коротким был период стабильности теста. При дозе облучения муки более 11,88 кГр через 3,15 мин после достижения максимального значения момента силы тесто начинало разжижаться. При дозе облучения муки 47,52 кГр период стабильности практически отсутствовал.

В отличие от контрольного в опытных образцах разжижение теста начиналось до контролируемого повышения температуры в месилке Миксолаба.

После первой фазы, в которой замес проводят при температуре 30 °С в течение 8 мин, температуру в месилке приборы плавно повышают с 30 до 90 °С. Происходит снижение значения момента силы, означающее разжижение теста. Достижение минимального значения момента силы (точка С2) означает конец фазы разжижения (фазы 2).

В фазе разжижения образцов теста из облученной муки наблюдали снижение как минимального значения момента силы (с 0,48 до 0,21 Н·м), так и температуры теста (с 55,6 до 52,3 °С), при которой достигалось это значение (табл. 4).

В контрольном образце момент силы в точке С2 был в два раза больше, чем в образце с максимальной дозой облучения.

Разжижение теста под действием механического воздействия при замесе обусловлено свойствами белков. Гамма-облучение муки вызывает разруше-

ние внутри- и межмолекулярных связей в белковых образованиях теста. Это приводит к снижению энергии, необходимой для деградации клейковинного каркаса теста и расслаблению структуры теста.

Полученные результаты согласуются с приведенными выше данными, полученными с помощью Альвеографа.

После достижения минимальной консистенции в точке С2 значение момента силы начинает увеличиваться, достигая максимального значения в точке С3 (фаза 3). Увеличение момента силы обусловлено тем, что под воздействием высокой температуры происходит разрушение гранул крахмала, а также повышение водопоглощения и консистенции теста. Данная фаза характеризует свойства крахмала и амилолитическую активность муки. Температура теста в точке С2 соответствует температуре начала клейстеризации крахмала.

Сравнительный анализ данных миксолабограмм показывает, что гамма-облучение муки приводило к снижению температуры начала клейстеризации пшеничного крахмала. Температура теста при достижении минимальной консистенции в точке С2 в контрольном образце была на 2,3–3,3 °С выше, чем в опытных образцах.

Фаза 3 имитирует изменения, происходящие в тесте в процессе выпечки. Консистенция теста по завершении фазы 3 характеризуется значениями момента силы и температуры теста. Из данных миксолабограмм видно, что в тесте из муки, обработанной гамма-излучением, значения моменты силы в конце прогрева (точка С3) были на 18–52 % ниже, чем у контрольного образца (табл. 5). В пробе с максимальной дозой облучения 47,52 кГр момент силы был ниже значения 1,1 Н·м – значения в точке С1.

Таблица 6. Влияние облучения муки на качество хлеба из пшеничной муки 1 сорта

Table 6. Effect of wheat flour irradiation on bread quality

Доза облучения, кГр	Удельный объем, см ³ /г	Формоустойчивость (Н/Д)	Цвет и состояние мякша
0 (контроль)	3,10	0,56	Светлый, сухой на ощупь
11,88	3,07	0,55	Светлый с сероватым оттенком, сухой на ощупь
23,76	2,66	0,43	Светлый с коричневым оттенком, заминающийся
47,52	2,45	0,34	Темный с коричневым оттенком, влажный на ощупь, заминающийся

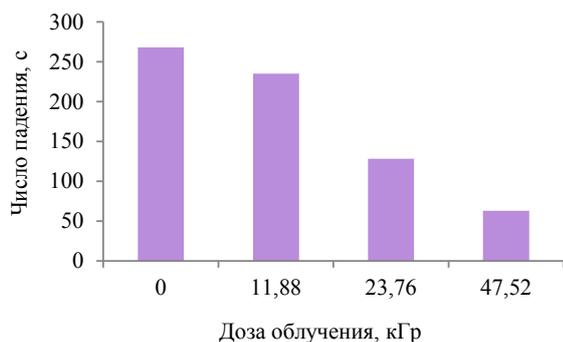


Рисунок 2. Зависимость числа падения от дозы облучения

Figure 2. Effect of radiation dose on falling-number value

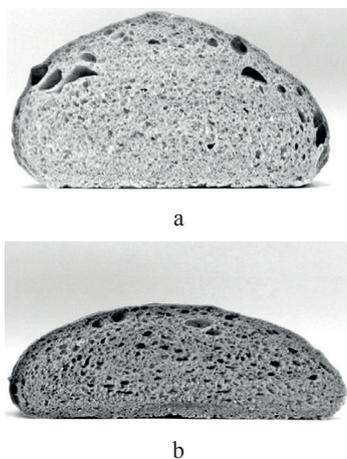


Рисунок 3. Внешний вид подового хлеба при дозе облучения муки: а – 0 кГр (контроль); б – 47,52 кГр

Figure 3. Bread at different flour irradiation doses: а – 0 kGy (control); б – 47.52 kGy

Данные, полученные с помощью Миксолаба, согласуются с результатами определения числа падения (рис. 2).

Увеличение дозы облучения с 11,88 до 47,52 кГр вызывало снижение показателя числа падения почти в четыре раза – с 235 до 63 с. Число падения характеризует процесс разжижения клейстеризо-

ванного крахмала под действием амилаз. Снижение температуры клейстеризации крахмала и момента силы в точках С2 и С3 на миксолабограммах и уменьшение числа падения объясняются изменениями состояния пшеничного крахмала, вызванными гамма-излучением, на что указывают другие авторы [21, 23].

Качество хлеба. Изменения белков и крахмала муки, вызванные ионизирующим облучением, влияли не только на свойства теста, но и на качество хлеба. Для изучения влияния ионизирующего облучения муки на качество хлеба проводили лабораторные выпечки. Результаты анализа качества хлеба приведены в таблице 6.

Наибольшее влияние обработка муки гамма-излучением оказывала на объем, формоустойчивость и цвет мякша хлеба. Все наблюдаемые изменения качества хлеба из облученных образцов муки носили негативный характер.

С увеличением дозы облучения муки до 47,52 кГр удельный объем формового хлеба уменьшался на 21 %, а формоустойчивость подового хлеба на 39 %. Цвет мякша становился более темным, что наглядно проявлялось в хлебе из муки с дозой облучения 47,52 кГр (рис. 3). У данного образца мякш хлеба был липким на ощупь и заминающимся, а у нижней корки появлялся закал.

Выводы

Полученные результаты позволяют сделать несколько выводов о влиянии облучения пшеничной муки гамма-лучами в дозах 11,88–47,52 кГр:

1. Облучение не оказывает влияния на активность цезия-137 и на остаточную радиационную активность;

2. Под воздействием гамма-лучей снижается количество КМАФАНМ и плесеней в муке;

3. Гамма-облучение оказывает деструктивное влияние на биополимеры муки – белки и крахмал. Это вызывает снижение общей энергии деформации и консистенции теста, сокращение стабильности теста при замесе, уменьшение температуры начала клейстеризации крахмала и снижение числа падения;

4. Гамма-облучение пшеничной муки в дозах свыше 23 кГр ухудшает органолептические и физико-химические показатели качества хлеба.

Критерии авторства

А. С. Романов и А. С. Марков – аналитический обзор литературы, методология и организация исследования, написание и общая редакция рукописи. И. Ю. Сергеева – обеспечение финансирования проекта. Л. А. Козубаева и Д. Н. Протопопов – проведение исследования, первичная обработка экспериментальных данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.S. Romanov and A.S. Markov reviewed the related scientific publications, developed the methodology, and organized the research, as well as wrote and proofread the manuscript. I.Yu. Sergeeva was responsible for funding. L.A. Kozubaeva and D.N. Protopopov conducted the research and performed the primary processing of the experimental data.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Ihsanullah I, Rashid A. Current activities in food irradiation as a sanitary and phytosanitary treatment in the Asia and the Pacific Region and a comparison with advanced countries. *Food Control*. 2017;72:345–359. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.03.011>
2. Indiarito R, Pratama AW, Sari TI, Theodora HC. Food irradiation technology: A review of the uses and their capabilities. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2020;68(12):91–98. <https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V68I12P216>
3. Ic E, Cetinkaya N. Food safety and irradiation related sanitary and phytosanitary approaches – Chinese perspective. *Radiation Physics and Chemistry*. 2021;181. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109324>
4. Varalakshmi S. A review on the application and safety of non-thermal techniques on fresh produce and their products. *LWT*. 2021;149. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111849>
5. Munir MT, Federighi M. Control of foodborne biological hazards by ionizing radiations. *Foods*. 2020;9(7). <https://doi.org/10.3390/foods9070878>
6. Feliciano CP. High-dose irradiated food: Current progress, applications, and prospects. *Radiation Physics and Chemistry*. 2018;144:34–36. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.11.010>
7. Pankaj SK, Shi H, Keener KM. A review of novel physical and chemical decontamination technologies for aflatoxin in food. *Trends in Food Science and Technology*. 2018;71:73–83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.11.007>
8. Timakova RT, Tikhonov SL, Tikhonova NV, Gorlov IF. Effect of various doses of ionizing radiation on the safety of meat semi-finished products. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(1):120–127. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-120-127>
9. Gaynutdinov TR. Experimental selection of doses of ionizing radiation causing growth inhibition and full inactivation of golden stafilokok. *Veterinary Vrach*. 2020;(4):4–8. (In Russ.). [Гайнутдинов Т. Р. Экспериментальный подбор доз ионизирующего излучения, вызывающих ингибирование роста и полную инактивацию золотистого стафилококка // Ветеринарный врач. 2020. № 4. С. 4–8.]
10. Piskaeva AI, Sidorin YuYu, Dyshlyuk LS, Zhumaev YuV, Prosekov AYu. Research on the influence of silver clusters on decomposer microorganisms and E. coli bacteria. *Foods and Raw Materials*. 2014;2(1):620–66. <https://doi.org/10.12737/4136>
11. Paul A, Radhakrishnan M, Anandakumar S, Shanmugasundaram S, Anandharamakrishnan C. Disinfestation techniques for major cereals: A status report. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020;19(3):1125–1155. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12555>
12. Schmidt M, Zannini E, Arendt EK. Recent advances in physical post-harvest treatments for shelf-life extension of cereal crops. *Foods*. 2018;7(4). <https://doi.org/10.3390/foods7040045>
13. Ito VC, Zielinski AAF, Demiate IM, Spoto M, Nogueira A, Lacerda LG. Gamma radiation effects on physicochemical, microbiological and antioxidant properties of black rice (*Oryza Sativa* L.) flour during storage. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*. 2019;11(3):163–174. <https://doi.org/10.34302/crpfjst/2019.11.3.14>
14. Sultan N, Wani IA, Masoodi FA. Moisture mediated effects of γ -irradiation on physicochemical, functional, and antioxidant properties of pigmented brown rice (*Oryza sativa* L.) flour. *Journal of Cereal Science*. 2018;79:399–407. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.10.020>
15. Sunder M, Mumbrekar KD, Mazumder N. Gamma radiation as a modifier of starch – Physicochemical perspective. *Current Research in Food Science*. 2022;5:141–149. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.001>
16. Mukhtar R, Shah A, Noor N, Gani A, Wani IA, Ashwar BA. γ -Irradiation of oat grain – Effect on physicochemical, structural, thermal, and antioxidant properties of extracted starch. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017;104:1313–1320. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.05.092>

17. Polesi LF, Sarmiento SBS, Canniatti-Brazaca SG. Starch digestibility and functional properties of rice starch subjected to gamma radiation. *Rice Science*. 2018;25(1):42–51. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.08.003>
18. Kumar P, Prakash KS, Jan K, Swer TL, Jan S, Verma R, et al. Effects of gamma irradiation on starch granule structure and physicochemical properties of brown rice starch. *Journal of Cereal Science*. 2017;77:194–200. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.017>
19. Lee N-Y, Kim J-K. Effects of gamma radiation on the physicochemical properties of brown rice and changes in the quality of porridge. *Radiation Physics and Chemistry*. 2018;152:89–92. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.07.021>
20. Dar MZ, Deepika K, Jan K, Swer TL, Kumar P, Verma R, et al. Modification of structure and physicochemical properties of buckwheat and oat starch by γ -irradiation. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018;108:1348–1356. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.067>
21. Ito VC, Bet CD, Wojcicchowski JP, Demiate IM, Spoto MHF, Schnitzler E, et al. Effects of gamma radiation on the thermoanalytical, structural and pasting properties of black rice (*Oryza sativa* L.) flour. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2018;133(1):529–537. <https://doi.org/10.1007/s10973-017-6766-6>
22. Polesi LF, Junior MDM, Sarmiento SBS, Canniatti-Brazaca SG. Starch digestibility and physicochemical and cooking properties of irradiated rice grains. *Rice Science*. 2017;24(1):48–55. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2016.07.005>
23. Atrous H, Benbettaieb N, Chouaibi M, Attia H, Ghorbel D. Changes in wheat and potato starches induced by gamma irradiation: A comparative macro and microscopic study. *International Journal of Food Properties*. 2017;20(7):1532–1546. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1213740>
24. Bashir K, Swer TL, Prakash KS, Aggarwal M. Physico-chemical and functional properties of gamma irradiated whole wheat flour and starch. *LWT*. 2017;76:131–139. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.050>
25. Bhat NA, Wani IA, Hamdani AM, Masoodi FA. Effect of gamma-irradiation on the thermal, rheological and antioxidant properties of three wheat cultivars grown in temperate Indian climate. *Radiation Physics and Chemistry*. 2020;176. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108953>
26. Ansari F, Homayouni A, Mohsennezhad P, Alivand AM, Pourjafar H. Extending the shelf-life of whole-wheat flour by gamma irradiation and organoleptic characteristics of cakes made with irradiated flour. *Current Nutrition and Food Science*. 2020;16(5):757–762. <https://doi.org/10.2174/1573401315666190115161626>
27. Wei H-H, Luo X-H, Wang L, Li Y-F, Li Y-N, Wang R, et al. Effect of electron beam irradiation on the sterilization, quality, and bacterial count of wheat flour. *Modern Food Science and Technology*. 2017;33(2):142–147. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.2.022>
28. Manupriya BR, Lathika, Somashekarappa HM, Patil SL, Shenoy KB. Study of gamma irradiation effects on the physico-chemical properties of wheat flour (*Triticum aestivum*, L.). *Radiation Physics and Chemistry*. 2020;172. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108693>
29. Bashir K, Jan K, Aggarwal M. Thermo-rheological and functional properties of gamma-irradiated wholewheat flour. *International Journal of Food Science and Technology*. 2017;52(4):927–935. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13356>
30. Bhat NA, Wani IA, Hamdani AM, Masoodi FA. Effect of gamma-irradiation on the thermal, rheological and antioxidant properties of three wheat cultivars grown in temperate Indian climate. *Radiation Physics and Chemistry*. 2020;176. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.108953>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2402>
<https://elibrary.ru/DNZOKM>

Original article
Available online at <https://fptt.ru/en>

Rheological Properties of Mayonnaise with Non-Traditional Ingredients



Sergey A. Bredikhin¹, Alexander N. Martekha^{1,*},
Vladimir N. Andreev¹, Yuliya E. Kaverina¹, Igor A. Korotkiy²

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy^{ROR}, Moscow, Russia

² Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: 13.05.2022
Revised: 02.06.2022
Accepted: 05.07.2022

*Alexander N. Martekha: man6630@rgau-msha.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7380-0477>
Sergey A. Bredikhin: <https://orcid.org/0000-0002-6898-0389>
Vladimir N. Andreev: <https://orcid.org/0000-0002-4890-379X>
Yuliya E. Kaverina: <https://orcid.org/0000-0002-8352-922X>
Igor A. Korotkiy: <https://orcid.org/0000-0002-7623-0940>

© S.A. Bredikhin, A.N. Martekha,
V.N. Andreev, Yu.E. Kaverina, I.A. Korotkiy, 2022



Abstract.

Rheological measurements are used in the food industry to determine physical characteristics of raw materials, as well as semi-finished and finished products. We aimed to study the effects of ingredients and homogenization parameters on the rheological properties of mayonnaise prepared with pumpkin and rice oils, as well as various honeys.

Mayonnaise samples were prepared with non-traditional ingredients, namely cold-pressed pumpkin seed oil, refined rice oil, and four varieties of honey (acacia, linden, forest, and spring). The samples were made in the traditional way on an Ultra Turrax T25 IKA homogenizer (3500–24 000 rpm). The rheological properties of honey and mayonnaise were determined on a Brookfield rotational viscometer.

Forest honey had the highest viscosity, while linden honey had the lowest viscosity, compared to the other honeys. The sample of mayonnaise with forest honey had the highest effective viscosity (3.427 Pa·s) and consistency (101.26 Pa·sⁿ). The use of whey powder provided mayonnaise with the most optimal rheological parameters. Of all carbohydrates, inulin HD had the best effect on the consistency of mayonnaise, with effective viscosity of 2.801 ± 0.001 Pa·s and a flow index of 0.2630 ± 0.0020. Disaccharides provided mayonnaise with higher viscosity and consistency than monosaccharides. Mayonnaise with fresh egg yolk had higher viscosity (2.656 ± 0.002 Pa·s) and consistency (65.640 ± 0.004 Pa·s) than the samples with other egg products. The rheological characteristics of mayonnaise were also determined by the homogenization time and rotor speed. Increasing the time from 2 to 4 min at 10 000 rpm raised the emulsion's viscosity and consistency from 6.253 to 8.736 Pa·s and from 77.42 to 134.24 Pa·sⁿ, respectively, as well as reduced the flow index from 0.2628 to 0.1995. The rotor speed of 10 000–12 000 rpm was optimal for mayonnaise with pumpkin and rice oils and honey.

The studied samples of mayonnaise with pumpkin and rice oils, as well as honey, belong to non-Newtonian systems and pseudoplastic fluids. The empirical flow curves can be adequately described by the Herschel-Bulkley model. Our results can significantly increase the efficiency of mayonnaise production, improve its quality, and reduce production costs.

Keywords. Mayonnaise, rheological properties, homogenization, honey, vegetable oil, carbohydrates

For citation: Bredikhin SA, Martekha AN, Andreev VN, Kaverina YuE, Korotkiy IA. Rheological Properties of Mayonnaise with Non-Traditional Ingredients. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):739–749. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2402>

Исследование реологических свойств майонеза с нетрадиционным сырьем



С. А. Бредихин¹, А. Н. Мартеха^{1,*}, В. Н. Андреев¹,
Ю. Е. Каверина¹, И. А. Короткий²

¹ Российский государственный аграрный университет –
Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева^{ROR}, Москва, Россия

² Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 13.05.2022
Принята после рецензирования: 02.06.2022
Принята к публикации: 05.07.2022

*А. Н. Мартеха: man6630@rgau-msha.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7380-0477>
С. А. Бредихин: <https://orcid.org/0000-0002-6898-0389>
В. Н. Андреев: <https://orcid.org/0000-0002-4890-379X>
Ю. Е. Каверина: <https://orcid.org/0000-0002-8352-922X>
И. А. Короткий: <https://orcid.org/0000-0002-7623-0940>

© С. А. Бредихин, А. Н. Мартеха, В. Н. Андреев,
Ю. Е. Каверина, И. А. Короткий, 2022



Аннотация.

Реологические измерения в пищевой промышленности играют важную роль в определении физических характеристик сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов. Цель работы состояла в исследовании влияния ингредиентов и параметров процесса гомогенизации на реологические свойства майонеза с добавлением тыквенного и рисового масел, а также различных сортов мёда.

Для приготовления опытных образцов майонеза в качестве нетрадиционных ингредиентов использовали тыквенное масло холодного отжима и рафинированное рисовое масло, а также четыре сорта мёда (акациевый, липовый, лесной и весенний). Приготовление майонеза осуществляли традиционным способом на лабораторном гомогенизаторе Ultra Tugra T25 ИКА (диапазон скоростей вращения ротора 3500–24 000 об/мин). Реологические свойства меда и опытных образцов майонеза определяли на ротационном вискозиметре Brookfield.

Сравнительный анализ реологических показателей меда показал, что высокую вязкость имеет лесной мед, а низкую – липовый. Введение в рецептуру майонеза различных сортов мёда повлияло на реологические свойства готового продукта. Образец майонеза с лесным медом имел высокие значения эффективной вязкости (3,427 Па·с) и коэффициента консистенции (101,26 Па·с^н). Использование сухой сыворотки в качестве молочного компонента при приготовлении майонеза с добавлением тыквенного и рисового масел позволило получить продукт с лучшими реологическими показателями. Также положительное влияние, по сравнению с другими углеводами, на консистенцию майонеза оказало введение инулина HD (эффективная вязкость $2,801 \pm 0,001$ Па·с, индекс текучести $0,2630 \pm 0,0020$). Используемые дисахариды обеспечивают более высокую вязкость и консистенцию майонеза, чем моносахариды. Майонез со свежим яичным желтком имел более высокую вязкость ($2,656 \pm 0,002$ Па·с) и консистенцию ($65,640 \pm 0,004$ Па·с) по сравнению с добавлением других яичных продуктов. Реологические характеристики майонеза также зависят от продолжительности гомогенизации и частоты вращения ротора гомогенизатора. Увеличение продолжительности гомогенизации с 2 до 4 мин при частоте вращения ротора гомогенизатора 10 000 об/мин повышало вязкость эмульсии с 6,253 до 8,736 Па·с и коэффициент консистенции – с 77,42 до 134,24 Па·с^н, а также снижало индекс текучести с 0,2628 до 0,1995. Частота вращения ротора гомогенизатора в диапазоне 10 000–12 000 об/мин является оптимальной для майонеза с добавлением тыквенного и рисового масел и меда.

Исследованные образцы майонеза с тыквенным и рисовым маслом, а также с мёдом относятся к неньютоновским системам, псевдопластическим типам жидкостей. Полученные эмпирические кривые течения с высокой степенью адекватности описываются моделью Гершеля-Балкли. Применение полученных результатов позволит повысить эффективность проектирования технологических процессов при производстве майонезов, улучшить качественные показатели готового продукта и снизить производственные издержки.

Ключевые слова. Майонез, реологические свойства, гомогенизация, мёд, растительное масло, углеводы

Для цитирования: Исследование реологических свойств майонеза с нетрадиционным сырьем / С. А. Бредихин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 739–749. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2402>

Introduction

Food production processes are organized in such a way as to ensure the highest quality of the finished product. During processing, raw materials of plant origin are exposed to various mechanical stresses. In this regard, rheological analysis of food products is becoming increasingly important for assessing the quality of raw materials and finished products, as well as for predicting the behavior of semi-finished products during processing. In particular, it is used to determine the structure of the product and its characteristics in accordance with the technical regulations [1].

Mayonnaise is a multicomponent, finely dispersed water-fat emulsion of the direct oil-in-water type that is stable over a wide temperature range [2–4]. In this product, vegetable oil is an internal phase in the form of tiny drops in a dispersion medium [5].

According to the standard, high-calorie mayonnaise must contain more than 50% of edible vegetable oil, which forms its fat phase [6]. Mayonnaise is classified as a promising food product due to its composition and sensory properties. Also, it is used as a seasoning for various dishes. By enhancing the food's nutritional value and taste, mayonnaise stimulates appetite and improves digestion. It is a product of high biological and physiological value [7].

Vegetable oil is one of the main components of mayonnaise that contributes to its sensory and physicommechanical properties [8]. The oil content has a significant effect on the product's rheological properties such as yield strength, as well as storage and loss moduli. A combination of sunflower and pumpkin seed oils can provide an optimal composition of fatty acids and tocopherols, natural antioxidants that improve nutritional and sensory properties of mayonnaise. In particular, sunflower oil enriches the product with essential linoleic acid, while cold-pressed pumpkin oil is rich in oleic acid and gamma-tocopherol, contributing to longer shelf life. In addition, the latter's aroma and color can enhance the product's sensory properties.

Other main ingredients of mayonnaise are milk proteins, egg powder, stabilizers, and water. Fat-soluble vitamins, sugar, salt, mustard, and various flavor additives are present in small amounts [9].

Powdered milk, egg powder, and vegetable phospholipids are used as emulsifiers [10]. Powdered milk is also a structure-forming agent, since milk proteins swell in the presence of moisture, increasing the water-retaining capacity of mayonnaise [11].

Mustard powder is used as a flavor additive, as well as an emulsifier and a structure-forming agent due to its proteins. Mustard powder should be dry, with a sharp smell of allyl oil and a light yellow color. Mustard paste should be free of mustiness and bitterness [12].

Acetic acid improves the taste and enhances bactericidal properties of mayonnaise. Water is needed

to dissolve salt and sugar, as well as to dissolve and swell milk proteins and other ingredients.

Vegetable oil contained in mayonnaise provides the human body with physiologically active (essential) fatty acids, which lower blood cholesterol and help prevent atherosclerosis. Milk and egg powder are sources of proteins and essential amino acids, while sugar is a source of carbohydrates. Organic acids (acetic and citric) improve digestion, provide the required acidity and bactericidal purity, and determine taste and aroma [11].

Mayonnaise is a direct-type emulsion that is easily absorbed by the body. This fact and the content of vegetable oil determine its nutritional value [14].

Egg yolks act as emulsifiers mainly due to the presence of phospholipids, as well as high and low density lipoproteins. Vinegar, salt, sugar, and mustard are added to mayonnaise for flavor. These ingredients play an important role in the physical stability of the emulsion [15, 16]. Lutein, phycoerythrin and other compounds, as well as processed beets and fruit components provide mayonnaise with oxidation stability and contribute to its taste and color, enhancing consumer interest [10, 17–19]. Rheological properties are an important quality criterion for food products, including water-fat emulsions (mayonnaise, sauces, and margarine) [20]. They are responsible for the product's consistency and quality during production, storage, and transportation [21, 22]. The rheological characteristics of mayonnaise are mainly determined by its fat phase, as well as thickeners, stabilizers, and emulsifiers in its formulation [23]. The product's quality, stability, and viscosity depend on the homogenization process, the dispersion of fat droplets in the continuous water phase, egg yolk, the type of carbohydrates, as well as the amount and type of milk [24–27]. In this type of emulsion, fat droplets are mechanically dispersed in the continuous water phase of acetic acid, while natural emulsifiers from egg yolk (phospholipids and proteins) ensure greater stabilization of the entire system [28].

The homogenization parameters (rotor speed and time) and the choice of a rotor-stator system, which forms fat droplets of a larger or smaller diameter, determine the medium's stability and play an important role in the formation of a water-fat emulsion [29–31].

We aimed to study the rheological and textural properties of mayonnaise containing pumpkin and rice oils, as well as various types of honey. We also sought to determine the influence of process parameters and the composition of the oil phase on the rheological properties of mayonnaise.

Study objects and methods

High-calorie mayonnaise with pumpkin and rice oils was formulated from refined sunflower oil, cold-pressed pumpkin seed oil, and refined rice oil (fat phase); egg products (fresh and pasteurized egg yolks and whole egg powder); carbohydrates (glucose, fructose, lactose,

sucrose, inulin HD); acetic acid; sea salt; mustard; dairy products (whole milk, skimmed milk, and whey powders); tartaric acid; distilled water; and banana puree (Table 1).

Mayonnaise with the addition of honey was formulated from refined sunflower oil (fat phase), egg yolk, honey, acetic acid, sea salt, tartaric acid, and distilled water (Table 2).

The fat phase of mayonnaise consisted of refined sunflower oil (Sloboda, Russia), cold-pressed pumpkin seed oil (Organic brand), and refined rice oil (Tayra, Thailand). Vinegar, sea salt, and mustard were bought at a local shop. Egg yolk was purchased from a private supplier and prepared both fresh and pasteurized. Four types of honey (acacia, spring, linden, and forest) were purchased from a private supplier (Moscow region). The milk component consisted of whole milk powder (26.3% proteins, 39.8% sugars, 26% fats), skimmed milk powder (1.5% fat) (Tagris), and whey powder (2% milk

fat, 12–14% proteins, 74% lactose) (Vita-Max). The carbohydrates glucose, sucrose, fructose, lactose, tartaric acid, and inulin HD were purchased from Novaproduct. Tartaric acid was added as an acidity regulator. The fruit component (banana puree) was prepared by peeling bananas, cutting them into pieces, and crushing by stirring to obtain a homogenized sample.

Mayonnaise preparation. Mayonnaise samples (300 g) with pumpkin and rice oils were prepared in the traditional way on a T25 Ultra Turrax IKA laboratory homogenizer, using a S25 D-14 G-KS rotor-stator system with a rotor speed of 3500–24 000 rpm. For this, we pre-weighed the ingredients (fresh egg yolk, vinegar, water, and others) and mixed them with half of sunflower oil. Then, we turned on the homogenizer and slowly added the rest of sunflower oil, as well as pumpkin seed and rice oils. The mixture was homogenized for 3 min at 10 000 rpm at room temperature, followed by rheological analysis. Other samples were prepared in the same way, with varying ingredients and homogenization parameters depending on the formulation.

Rheological properties. The rheological analysis of freshly prepared mayonnaise samples with pumpkin and rice oils was performed on a Brookfield rotational viscometer with coaxial cylinders. The viscometer was connected to a computer equipped with Rheocalc 3.2 software for measurements and data processing. The measurements were taken at 25 and 10°C. The temperatures were maintained using a TC-501P Brookfield thermostat. In particular, we determined the dependence of shear stress (τ) and effective viscosity (μ) on shear rate (D) in the ranges of 2.15–136.6 1/s (increasing measurement) and 136.6–2.15 1/s (reverse measurement). We also studied the phenomenon of thixotropy, i.e. the ability to restore viscous and plastic properties after the load is removed and deformation ceases.

The experimental data showed the rheological model of mayonnaise. Particularly, the samples had non-Newtonian properties and belonged to pseudoplastic fluids. The rheological parameters of consistency coefficient (k) and flow index (n) were calculated using the linear regression method in Microsoft Excel.

Formula (1) describes the Ostwald-Reiner power law used to calculate the rheological parameters.

$$\tau = k \cdot D^n \quad (1)$$

where τ is the shear stress, Pa; D is the shear rate, 1/s; k is the consistency coefficient, Pa·s ^{n} ; n is the flow index.

Formula (2) was used to calculate effective viscosity of the mayonnaise sample:

$$\mu = k \cdot D^{n-1} \quad (2)$$

where μ is the effective viscosity, Pa·s.

Statistical analysis. All the experiments were carried out in triplicate. One-way analysis of variance (ANOVA)

Table 1. Formulation of mayonnaise with pumpkin and rice oils

Таблица 1. Рецепт для приготовления майонеза с добавлением тыквенного и рисового масел

Formulation	Sample	
	Content, %	Weight, g
Refined sunflower oil	50.0	150.0
Cold-pressed pumpkin seed oil	12.5	37.5
Refined rice oil	12.5	37.5
Egg products	6.2	18.6
Dairy products	2.1	6.3
Carbohydrates	2.2	6.6
Acetic acid	3.0	9.0
Sea salt	0.9	2.7
Mustard	0.2	0.6
Tartaric acid	0.1	0.3
Distilled water	7.8	23.4
Banana puree	2.5	7.5
TOTAL	100	300

Table 2. Formulation of mayonnaise with honey

Таблица 2. Рецепт приготовления майонеза с добавлением меда

Formulation	Sample	
	Content, %	Weight, g
Refined sunflower oil	75.0	225.0
Fresh egg yolk	7.7	23.1
Honey	3.8	11.4
Acetic acid	4.0	12.0
Sea salt	0.9	2.7
Tartaric acid	0.1	0.3
Distilled water	8.5	25.5
TOTAL	100	300

was used to establish the significance of differences in the experimental data. Data management and analysis was performed using SPSS software and presented as mean ± standard deviation.

Results and discussion

Rheological properties of mayonnaise with honey. We determined the influence of honey varieties and homogenization parameters on the rheological properties of mayonnaise measured at 25°C (Figs. 1 and 2, Tables 3–6). Figure 1 shows the relationship between shear stress and shear rate for spring honey.

According to the results, honey belongs to Newtonian fluids, since the line passed through the origin of the coordinate system (Fig. 1). Table 3 presents the rheological properties of the studied honey varieties expressed

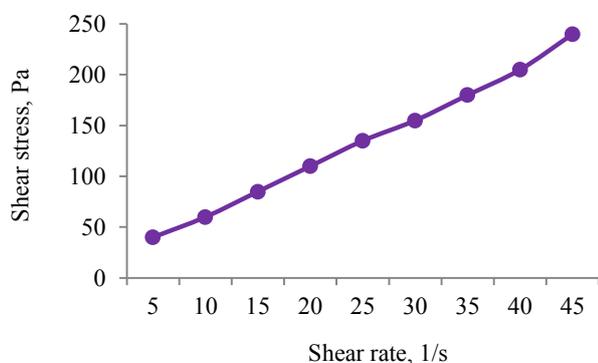


Figure 1. Relationship between shear stress and shear rate for spring honey at 25°C

Рисунок 1. Зависимость между напряжением сдвига и скоростью сдвига весеннего меда при 25 °С

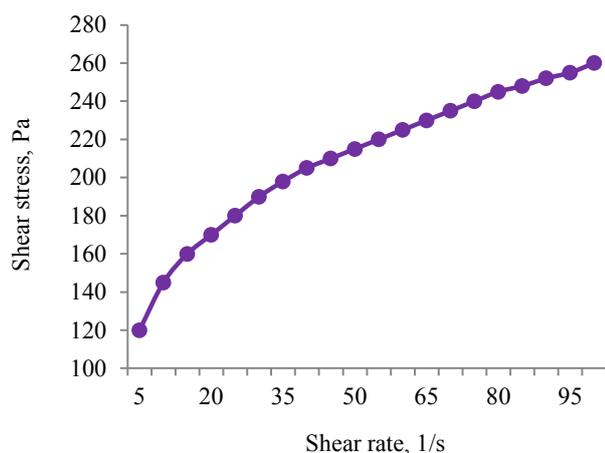


Figure 2. Relationship between shear stress and shear rate for mayonnaise with acacia honey (10 000 rpm, 2 min) at 25°C

Рисунок 2. Зависимость напряжения сдвига и скорости сдвига майонеза с акациевым медом (10 000 об/мин, 2 мин) при 25 °С

in terms of rheological parameters.

As can be seen in Table 3, forest honey had the highest viscosity and consistency coefficient, while linden honey had the lowest viscosity.

The relationship between shear stress and shear rate for mayonnaise with acacia honey indicated that the samples with honey exhibited non-Newtonian, pseudoplastic properties (Fig. 2).

Li *et al.* confirmed that mayonnaise is a non-Newtonian fluid that exhibits yield strength, pseudoplasticity, and thixotropy [32]. Sakai *et al.* reported the pseudoplastic behavior of mayonnaise with characteristics depending on the raw material [10].

Empirical flow curves with a high degree of adequacy are described by the Herschel-Bulkley model.

Table 4 shows the effect of honey on the rheological parameters of mayonnaise homogenized at 10 000 rpm for 2 min at 25°C.

The control mayonnaise with acacia honey had an effective viscosity of $3.118 \pm 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, a shear rate of 77.82 1/s, a consistency coefficient of $77.420 \pm 0.125 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$, and a flow index of 0.2624 ± 0.0003 measured at 25°C. The sample with linden honey had slightly higher effective viscosity ($3.294 \pm 0.002 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$) and consistency coefficient ($78.460 \pm 0.002 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$) compared to the acacia honey mayonnaise. Forest honey showed higher viscosity ($3.4270 \pm 0.0005 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$) and consistency ($101.260 \pm 0.002 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$) but a lower flow index (0.2224 ± 0.0002) compared to the other samples.

Tables 5 and 6 show the effects of homogenization time and rotor speed on the rheological properties of mayonnaise with acacia honey measured at 25°C.

As can be seen in Table 5, the homogenization time of 2 min led to an effective viscosity of $6.253 \pm 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ at a shear rate of 30.36 1/s, a consistency coefficient of $77.42 \pm 0.04 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$, and a flow index of 0.2628 ± 0.0002 . Increasing the time to 4 min contributed to higher viscosity ($8.7360 \pm 0.0005 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) and consistency ($134.240 \pm 0.125 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$) but a lower flow index (0.1995 ± 0.0002).

Table 6 shows the effect of the rotor speed (10 000 and 12 000 rpm) during 2 min of homogenization on

Table 3. Rheological properties of honeys measured at 25°C

Таблица 3. Реологические свойства различных сортов меда, измеренные при 25 °С

Honey variety	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n
Spring honey	4.9446	6.4789	0.8950
Forest honey	16.6509	17.3020	0.9851
Linden honey	4.7719	7.3144	0.8341
Acacia honey	5.8413	6.0930	0.9837

*Effective viscosity at shear rate of 77.82 1/s.

*Эффективная вязкость при скорости сдвига 77,82 1/с.

Table 4. Effect of honey variety on the rheological parameters of mayonnaise

Таблица 4. Влияние сорта меда на реологические параметры майонеза

Honey variety	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2
Spring honey	3.083 ± 0.001	63.110 ± 0.029	0.3067 ± 0.0040	0.968
Forest honey	3.4270 ± 0.0005	101.260 ± 0.002	0.2224 ± 0.0002	0.990
Linden honey	3.294 ± 0.002	78.460 ± 0.002	0.2719 ± 0.0002	0.989
Acacia honey	3.118 ± 0.002	77.420 ± 0.125	0.2624 ± 0.0003	0.994

*Effective viscosity at shear rate of 77.82 1/s. R^2 is the coefficient of determination.*Эффективная вязкость при скорости сдвига 77,82 1/с. R^2 – коэффициент детерминации.

Table 5. Effect of homogenization time on the rheological properties of mayonnaise with acacia honey

Таблица 5. Влияние продолжительности гомогенизации на реологические свойства майонеза с акациевым медом

Sample, min	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2
2	6.253 ± 0.001	77.42 ± 0.04	0.2628 ± 0.0002	0,994
4	8.7350 ± 0.0005	134.240 ± 0.125	0.1995 ± 0.0002	0,964

*Effective viscosity at shear rate of 30.36 1/s. R^2 is the coefficient of determination.*Эффективная вязкость при скорости сдвига 30,36 1/с. R^2 – коэффициент детерминации.

Table 6. Effect of the rotor speed on the rheological properties of mayonnaise with acacia honey

Таблица 6. Влияние частоты вращения ротора на реологические свойства майонеза с акациевым медом

Sample, rpm	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2
10 000	6.253 ± 0.010	77.42 ± 0.04	0.2628 ± 0.0002	0.994
12 000	8.039 ± 0.029	102.320 ± 0.125	0.2547 ± 0.0002	0.982

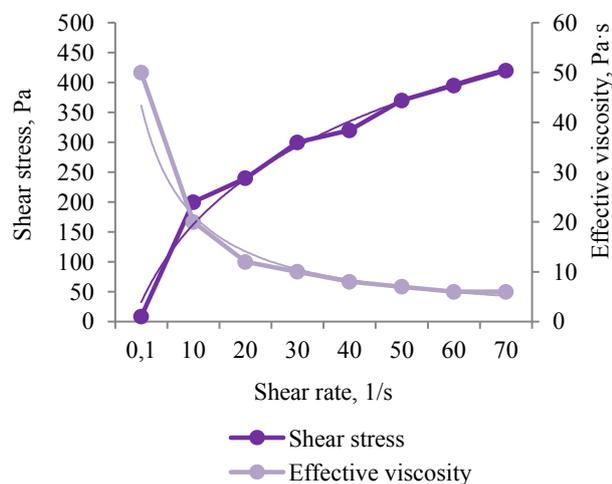
*Effective viscosity at shear rate of 30.36 1/s. R^2 is the coefficient of determination.*Эффективная вязкость при скорости сдвига 30,36 1/с. R^2 – коэффициент детерминации.

Figure 3. Flow curves for mayonnaise with pumpkin and rice oils at 25°C

Рисунок 3. Кривые течения майонеза с добавлением тыквенного и рисового масел при 25 °С

the rheological parameters of mayonnaise with acacia honey measured at 25°C.

As can be seen, the rotor speed changed the rheological properties of mayonnaise. In particular, the

speed of 10 000 rpm resulted in the effective viscosity of 6.253 ± 0.001 Pa·s at a shear rate of 30.36 1/s, a consistency coefficient of 77.42 ± 0.04 Pa·sⁿ, and a flow index of 0.2628 ± 0.0002 . Increasing the rotor speed to 12000 rpm produced a more stable emulsion with higher effective viscosity (8.039 ± 0.029 Pa·s) and consistency (102.320 ± 0.125 Pa·sⁿ). The emulsion's higher stability was due to finer fat droplets formed at the rotor speed of 12 000 rpm, which were finely dispersed in the water phase. Thus, this speed was more optimal than 10 000 rpm.

Rheological properties of mayonnaise with pumpkin and rice oils. Figure 3 and in Tables 7–11 show the effects of ingredients on the rheological properties of mayonnaise with pumpkin and rice oils measured at 25 and 10°C.

Figure 3 features the relationship between shear stress and shear rate measured at 25°C.

We found that the tested samples exhibited non-Newtonian, pseudoplastic properties, as well as thixotropy. The empirical flow curves are described by the Herschel-Bulkley model with a high degree of adequacy.

Table 7 shows the effect of milk components on the rheological parameters of mayonnaise homogenized for 3 min at 10 000 rpm.

Table 7. Effect of milk component on the rheological properties of mayonnaise with pumpkin and rice oils

Таблица 7. Влияние молочного компонента на реологические свойства майонеза с добавлением тыквенного и рисового масел

Sample	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2
	25 °C				10 °C			
Skimmed milk powder	2.2290 ± 0.0002	46.870 ± 0.078	0.3005 ± 0.0030	0.998	2.7120 ± 0.0002	54.840 ± 0.029	0.3095 ± 0.0030	0.998
Whole milk powder	2.3430 ± 0.0002	55.210 ± 0.004	0.2744 ± 0.0030	0.997	2.9990 ± 0.0002	67.110 ± 0.002	0.2863 ± 0.0030	0.987
Whey powder	2.3910 ± 0.0002	57.180 ± 0.003	0.2710 ± 0.0020	0.990	3.0550 ± 0.0002	69.090 ± 0.002	0.2838 ± 0.0020	0.995

*Effective viscosity at shear rate of 77.82 1/s. R^2 is the coefficient of determination.

*Эффективная вязкость при скорости сдвига 77,82 1/с. R^2 – коэффициент детерминации.

Table 8. Effect of carbohydrate composition on the rheological properties of mayonnaise with pumpkin and rice oils

Таблица 8. Влияние углеводного состава на реологические свойства майонеза с добавлением тыквенного и рисового масел

Sample	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2
	25 °C				10 °C			
Glucose	2.392 ± 0.004	57.160 ± 0.078	0.2712 ± 0.0010	0.990	3.052 ± 0.004	69.060 ± 0.029	0.2837 ± 0.0010	0.995
Fructose	1.997 ± 0.003	39.050 ± 0.003	0.3172 ± 0.0020	0.997	2.464 ± 0.003	55.620 ± 0.002	0.2842 ± 0.0020	0.989
Sucrose	2.425 ± 0.002	58.630 ± 0.004	0.2685 ± 0.0030	0.992	3.024 ± 0.002	70.150 ± 0.002	0.2780 ± 0.0030	0.995
Lactose	2.748 ± 0.001	68.480 ± 0.002	0.2615 ± 0.0020	0.993	3.031 ± 0.001	77.510 ± 0.001	0.2556 ± 0.0020	0.984
Inulin HD	2.801 ± 0.001	69.360 ± 0.002	0.2630 ± 0.0020	0.992	3.051 ± 0.001	78.920 ± 0.004	0.2530 ± 0.0020	0.983

*Effective viscosity at shear rate of 77.82 1/s. R^2 is the coefficient of determination.

*Эффективная вязкость при скорости сдвига 77,82 1/с. R^2 – коэффициент детерминации.

Table 9. Effect of egg products on the rheological properties of mayonnaise

Таблица 9. Влияние яичных продуктов на реологические свойства майонеза

Sample	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2
	25 °C				10 °C			
Fresh egg yolk	2.656 ± 0.002	65.640 ± 0.004	0.2634 ± 0.0020	0.991	3.144 ± 0.001	73.520 ± 0.004	0.2761 ± 0.0020	0.998
Pasteurized egg yolk	2.391 ± 0.002	57.150 ± 0.003	0.2711 ± 0.0002	0.990	3.054 ± 0.002	69.090 ± 0.003	0.2838 ± 0.0030	0.995
Whole egg powder	2.504 ± 0.001	54.230 ± 0.002	0.2937 ± 0.0030	0.999	3.116 ± 0.002	71.240 ± 0.002	0.2813 ± 0.0020	0.997

*Effective viscosity at shear rate of 77.82 1/s. R^2 is the coefficient of determination.

*Эффективная вязкость при скорости сдвига 77,82 1/с. R^2 – коэффициент детерминации.

Table 10. Effect of homogenization time on the rheological properties of mayonnaise with pumpkin and rice oils

Таблица 10. Влияние продолжительности гомогенизации на реологические свойства майонеза с добавлением тыквенного и рисового масел

Sample, min	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2
	25 °C				10 °C			
1	1.548 ± 0.002	42.150 ± 0.004	0.2887 ± 0.0020	0.991	2.244 ± 0.001	60.410 ± 0.004	0.2908 ± 0.0020	0.998
3	1.939 ± 0.002	57.150 ± 0.003	0.2711 ± 0.0020	0.990	2.485 ± 0.002	69.099 ± 0.003	0.2838 ± 0.0030	0.995
5	1.758 ± 0.001	53.610 ± 0.002	0.3282 ± 0.0030	0.999	2.208 ± 0.002	58.760 ± 0.002	0.3026 ± 0.0020	0.997

*Effective viscosity at shear rate of 103.8 1/s. R^2 is the coefficient of determination.

*Эффективная вязкость при скорости сдвига 103,8 1/с. R^2 – коэффициент детерминации.

Table 11. Effect of the rotor speed on the rheological properties of mayonnaise with pumpkin and rice oils

Таблица 11. Влияние частоты вращения ротора на реологические свойства майонеза с добавлением тыквенного и рисового масел

Sample, rpm	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2	μ^* , Pa·s	k , Pa·s ⁿ	n	R^2
	25 °C				10 °C			
10 000	1.939 ± 0.002	57.150 ± 0.004	0.2711 ± 0.0020	0.990	2.485 ± 0.001	69.090 ± 0.004	0.2838 ± 0.0020	0.995
12 000	2.281 ± 0.002	59.880 ± 0.003	0.2242 ± 0.0020	0.999	2.515 ± 0.002	75.130 ± 0.003	0.3075 ± 0.0030	0.996
15 000	1.810 ± 0.001	38.910 ± 0.002	0.3375 ± 0.0030	0.996	2.208 ± 0.002	49.560 ± 0.002	0.3299 ± 0.0020	0.995

*Effective viscosity at shear rate of 77.82 1/s. R^2 is the coefficient of determination.*Эффективная вязкость при скорости сдвига 77,82 1/с. R^2 – коэффициент детерминации.

The control mayonnaise made from whey powder had an effective viscosity of 2.3910 ± 0.0002 Pa·s, a consistency index of 57.180 ± 0.003 Pa·sⁿ, and a flow index of 0.271 ± 0.002 measured at 25°C. Using skimmed milk powder led to lower effective viscosity (2.2290 ± 0.0002 Pa·sⁿ) and consistency (46.870 ± 0.078 Pa·sⁿ) but a higher flow index (0.3005 ± 0.0030), compared to the samples with whole milk and whey powders. Thus, whey powder contributed to higher consistency and viscosity of mayonnaise with pumpkin and rice oils measured at 25°C. When measured at 10°C, the rheological parameters showed higher values than those obtained at 25°C, which confirmed the effect of temperature on the rheological properties.

Table 8 shows the effect of carbohydrate type on the rheological parameters of mayonnaise homogenized for 3 min at 10 000 rpm. The measurements were taken at 25 and 10°C.

The control mayonnaise was prepared with glucose. We found that the use of glucose and fructose monosaccharides lowered effective viscosity and consistency, compared to the use of sucrose and lactose disaccharides, inulin HD, or acacia honey. Fructose contributed to the lowest values of these parameters, while inulin HD provided the highest consistency (69.360 ± 0.002 Pa·s) and effective viscosity (2.801 ± 0.001 Pa·s), but the lowest flow index (0.2630 ± 0.0020) measured at 25°C. Alvarez-Sabatel *et al.* found that the content of vegetable oil and inulin affected the stability and rheological properties of mayonnaise homogenized in the rotor-stator system, as well as under high pressure [17]. The same effects were observed on the rheological parameters of the samples with pumpkin and rice oils at 10°C.

Table 9 shows the effects of egg products on the rheological parameters of mayonnaise with pumpkin and rice oils homogenized for 3 min at 10 000 rpm. The measurements were taken at 25 and 10°C.

The mayonnaise prepared with fresh egg yolk had higher viscosity (2.656 ± 0.002 Pa·s) and consistency

(65.640 ± 0.004 Pa·sⁿ) but a lower flow index (0.2634 ± 0.0020). Using whole egg powder resulted in higher effective viscosity and consistency compared to pasteurized egg yolk and lower values of these parameters compared to fresh egg yolk. Higher values were obtained for the rheological properties at 10°C, compared to measurements at 25°C.

Tables 10 and 11 show the effects of homogenization time and rotor speed on the rheological properties of mayonnaise with pumpkin and rice oils. According to the flow index, the mayonnaise under study belonged to non-Newtonian fluids of the pseudoplastic type.

Table 10 shows the effect of homogenization time (1, 3 and 5 min) at 10 000 rpm on the rheological properties of mayonnaise measured at 25 and 10°C.

As can be seen, the sample homogenized for 1 min had an effective viscosity of 1.548 ± 0.002 Pa·s at a shear rate of 103.8 1/s, a consistency coefficient of 42.150 ± 0.004 Pa·sⁿ, and a flow index of 0.2887 ± 0.0020 . Increasing homogenization time to 3 min resulted in higher viscosity (1.936 ± 0.002 Pa·s) and consistency (57.150 ± 0.003 Pa·sⁿ) but a lower flow index (0.2711 ± 0.0020). A further increase to 5 min destroyed the structure of mayonnaise and led to lower viscosity (1.758 ± 0.001 Pa·s) and consistency (53.610 ± 0.002 Pa·sⁿ) but a higher flow index (0.3282 ± 0.0030). Measurements at 10°C showed the same results, but higher values compared to those for the rheological parameters obtained at 25°C.

Table 11 shows the effects of the rotor speed (10 000, 12 000, and 15 000 rpm) on the rheological parameters of mayonnaise homogenized for 3 min. Measurements were taken at 25 and 10°C.

As can be seen, the rotor speed affected the rheological parameters of the samples. An increase from 10 000 to 12 000 rpm led to higher effective viscosity (2.281 ± 0.002 Pa·s) and consistency (59.880 ± 0.003 Pa·s), as well as a lower flow index (0.2242 ± 0.0020). This meant better stability since the system formed a large number of small fat droplets finely dispersed in the water phase of the emulsion. A further increase to 15 000 rpm resulted in an emulsion with lower effective viscosity (1.810 ± 0.001 Pa·s) and consistency

($38.910 \pm 0.002 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$), compared to the rotor speeds of 10 000 and 12 000 rpm. Thus, such a high speed destroyed the structure of the water-fat emulsion, resulting in the system's dilution. This phenomenon can be observed when measuring the rheological properties at 10°C .

Conclusion

The tested samples of mayonnaise prepared with pumpkin and rice oils, as well as various honeys, belong to non-Newtonian systems and pseudoplastic fluids. Using whey powder resulted in the highest effective viscosity and consistency, as well as the lowest flow index. We also studied the effects of carbohydrates on the rheological properties of mayonnaise with pumpkin and rice oils. Mayonnaise prepared with inulin HD had higher effective viscosity ($2.801 \pm 0.001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) and consistency, as well as a lower flow index (0.2630 ± 0.0020), compared to the other sugars tested. Disaccharides contributed to higher viscosity and consistency compared to monosaccharides. Mayonnaise prepared with fresh egg yolk had higher viscosity ($2.656 \pm 0.002 \text{ Pa}\cdot\text{s}$) and consistency ($65.640 \pm 0.004 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$). Forest honey provided mayonnaise with higher effective viscosity and consistency, as well as a lower flow index, compared to spring, linden, and acacia honeys. The sample with spring honey had the lowest effective viscosity and consistency, as well as the highest flow index.

The rotor speed and homogenization time also affected the rheological properties of mayonnaise. The sample

homogenized at 12 000 rpm had higher viscosity and consistency, as well as a lower flow index, compared to the sample prepared at 10 000 rpm. The same parameters were obtained for the samples homogenized for 3 min. The empirical flow curves can be adequately described by the Herschel-Bulkley model.

Our results may be useful for formulators of edible fatty products, especially mayonnaise. The rheological properties are important for mayonnaise consistency and quality control during production, storage, and transportation.

Contribution

S.A. Bredikhin supervised the research. All the authors performed the experiments, processed the data, and wrote the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Критерии авторства

С. А. Бредихин руководил работой. Все авторы принимали участие в исследованиях, обработке данных и написании текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References

1. Yildirim M, Sumnu G, Sahin S. Rheology, particle-size distribution, and stability of low-fat mayonnaise produced via double emulsions. *Food Science and Biotechnology*. 2016;25(6):1613–1618. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0248-7>
2. Ghorbani Gorji S, Smyth HE, Sharma M, Fitzgerald M. Lipid oxidation in mayonnaise and the role of natural antioxidants: A review. *Trends in Food Science and Technology*. 2016;56:88–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.002>
3. Mohammed NK, Ragavan H, Ahmad NH, Hussin ASM. Egg-free low-fat mayonnaise from virgin coconut oil. *Foods and Raw Materials*. 2022;10(1):76–85. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-76-85>
4. Averyanova EV, Shkolnikova MN, Chugunova OV. Antioxidant Properties of Triterpenoids in Fat-Containing Products. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(2):233–243. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2358>
5. Katsaros G, Tsoukala M, Giannoglou M, Taoukis P. Effect of storage on the rheological and viscoelastic properties of mayonnaise emulsions of different oil droplet size. *Heliyon*. 2020;6(12) <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05788>
6. Miguel GA, Jacobsen C, Prieto C, Kempen PJ, Lagaron JM, Chronakis IS, *et al.* Oxidative stability and physical properties of mayonnaise fortified with zein electrospayed capsules loaded with fish oil. *Journal of Food Engineering*. 2019;263:348–358. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.07.019>
7. Taslikh M, Mollakhalili-Meybodi N, Alizadeh AM, Mousavi M-M, Nayebzadeh K, Mortazavian AM. Mayonnaise main ingredients influence on its structure as an emulsion. *Journal of Food Science and Technology*. 2021;59(6):2108–2116. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05133-1>
8. Bredikhin SA, Martekha AN, Andreev VN, Soldusova EA, Karpova NA. Investigation of the structural and mechanical characteristics of mayonnaise with the addition of linseed oil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;979(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/979/1/012089>

9. Armaforte E, Hopper L, Stevenson G. Preliminary investigation on the effect of proteins of different leguminous species (*Cicer arietinum*, *Vicia faba* and *Lens culinaris*) on the texture and sensory properties of egg-free mayonnaise. *LWT*. 2021;136. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110341>
10. Sakai S, Ikeda N. A numerical analysis to evaluate the emulsifying activity of pasteurized egg yolk. *Food Hydrocolloids*. 2022;123. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107087>
11. Chen J, Cao C, Yuan D, Xia X, Liu Q, Kong B. Impact of different ionic strengths on protein-lipid co-oxidation in whey protein isolate-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*. 2022;385. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132700>
12. Jalali-Jivan M, Abbasi S. Novel approach for lutein extraction: Food grade microemulsion containing soy lecithin & sunflower oil. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020;66. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102505>
13. Patil U, Benjakul S. Physical and textural properties of mayonnaise prepared using virgin coconut oil/fish oil blend. *Food Biophysics*. 2019;14(3):260–268. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09579-x>
14. Primacella M, Wang T, Acevedo NC. Characterization of mayonnaise properties prepared using frozen-thawed egg yolk treated with hydrolyzed egg yolk proteins as anti-gelator. *Food Hydrocolloids*. 2019;96:529–536. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.008>
15. Park J-Y, Choi M-J, Yu H, Choi Y, Park K-M, Chang P-S. Multi-functional behavior of food emulsifier erythorbyl laurate in different colloidal conditions of homogeneous oil-in-water emulsion system. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2022;636. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.128127>
16. Feng T, Fan C, Wang X, Wang X, Xia S, Huang Q. Food-grade Pickering emulsions and high internal phase Pickering emulsions encapsulating cinnamaldehyde based on pea protein-pectin-EGCG complexes for extrusion 3D printing. *Food Hydrocolloids*. 2022;124. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107265>
17. Alvarez-Sabatel S, Martínez de Marañón I, Arbolea J-C. Impact of oil and inulin content on the stability and rheological properties of mayonnaise-like emulsions processed by rotor-stator homogenization or high pressure homogenization (HPH). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2018;48:195–203. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.014>
18. Raikos V, McDonagh A, Ranawana V, Duthie G. Processed beetroot (*Beta vulgaris* L.) as a natural antioxidant in mayonnaise: Effects on physical stability, texture and sensory attributes. *Food Science and Human Wellness*. 2016;5(4):191–198. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.10.002>
19. Ovsyannikov VYu, Toroptsev VV, Berestovoy AA, Lobacheva NN, Lobacheva MA, Martekha AN. Development and research of new method for juice extracting from sugar beet with preliminary pressing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;640(5). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/5/052011>
20. Bonilla JC, Clausen MP. Super-resolution microscopy to visualize and quantify protein microstructural organization in food materials and its relation to rheology: Egg white proteins. *Food Hydrocolloids*. 2022;124. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107281>
21. van Eck A, Fogliano V, Galindo-Cuspinera V, Scholten E, Stieger M. Adding condiments to foods: How does static and dynamic sensory perception change when bread and carrots are consumed with mayonnaise? *Food Quality and Preference*. 2019;73:154–170. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.11.013>
22. Heydari A, Razavi SMA, Farahnaky A. Effect of high pressure-treated wheat starch as a fat replacer on the physical and rheological properties of reduced-fat O/W emulsions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2021;70. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102702>
23. Kantekin-Erdogan MN, Ketenoglu O, Tekin A. Effect of monoglyceride content on emulsion stability and rheology of mayonnaise. *Journal of Food Science and Technology*. 2019;56(1):443–450. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3506-2>
24. Aganovic K, Bindrich U, Heinz V. Ultra-high pressure homogenisation process for production of reduced fat mayonnaise with similar rheological characteristics as its full fat counterpart. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2018;45:208–214. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.10.013>
25. Yang X, Li A, Yu W, Li X, Sun L, Xue J, et al. Structuring oil-in-water emulsion by forming egg yolk/alginate complexes: Their potential application in fabricating low-fat mayonnaise-like emulsion gels and redispersible solid emulsions. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;147:595–606. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.106>
26. Shen R, Luo S, Dong J. Application of oat dextrine for fat substitute in mayonnaise. *Food Chemistry*. 2011;126(1):65–71. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.10.072>

27. Seo CW, Yoo B. Preparation of milk protein isolate/ κ -carrageenan conjugates by maillard reaction in wet-heating system and their application to stabilization of oil-in-water emulsions. *LWT*. 2021;139. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110542>

28. Gmach O, Bertsch A, Bilke-Krause C, Kulozik U. Impact of oil type and pH value on oil-in-water emulsions stabilized by egg yolk granules. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2019;581. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.123788>

29. Kumar Y, Roy S, Devra A, Dhiman A, Prabhakar PK. Ultrasonication of mayonnaise formulated with xanthan and guar gums: Rheological modeling, effects on optical properties and emulsion stability. *LWT*. 2021;149. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111632>

30. Bredikhin SA, Andreev VN, Martekha AN, Soldusova EA. Investigation of the process of structure formation during ultrasonic homogenization of milk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;954(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/954/1/012014>

31. Bredikhin SA, Andreev VN, Martekha AN, Schenzle MG, Korotkiy IA. Erosion potential of ultrasonic food processing. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(2):335–344. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-335-344>

32. Li A, Gong T, Hou Y, Yang X, Guo Y. Alginate-stabilized thixotropic emulsion gels and their applications in fabrication of low-fat mayonnaise alternatives. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;146:821–831. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.050>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2403>
<https://elibrary.ru/EDMFLC>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Перспективы использования микробных препаратов для снижения окислительного стресса сельскохозяйственных растений



И. С. Миленьева^{1,*}, Н. В. Фотина¹,
М. Ю. Жарко², Л. А. Проскурякова¹

¹ Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности^{ROR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 06.10.2022

Принята после рецензирования: 27.10.2022

Принята к публикации: 08.11.2022

*И. С. Миленьева: irazumnikova@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>

Н. В. Фотина: <https://orcid.org/0000-0002-7655-0258>

Л. А. Проскурякова: <https://orcid.org/0000-0002-9583-9161>

© И. С. Миленьева, Н. В. Фотина, М. Ю. Жарко,
Л. А. Проскурякова, 2022



Аннотация.

В условиях антропогенной нагрузки растения подвергаются абиотическим и биотическим стрессам, вторичным эффектом которых является усиление окислительного стресса. Это приводит к серьезным изменениям в метаболизме клеток, а также к угнетению роста и развития растений. Экологически безопасным методом защиты растений от окислительного стресса является применение микроорганизмов. Цель работы – исследование антиоксидантной активности штаммов аборигенной микрофлоры угольных отвалов для дальнейшей борьбы с окислительным стрессом растений в сельском хозяйстве.

Объектами исследования являлись микроорганизмы, выделенные из почв техногенно нарушенных территорий. Выделение чистых культур бактерий осуществляли с помощью посева глубинным способом на мясопептонный агар. Исследовали культурально-морфологические и биохимические свойства клеточной стенки. Антиоксидантную активность и количество индол-3-уксусной кислоты определяли на спектрофотометре с помощью реактива ABTS и реагента Сальковского соответственно. Идентификацию выделенных микроорганизмов осуществляли на Vitek 2 Compact. Анализ биосовместимости штаммов проводили капельным способом, прирост биомассы – с помощью спектрофотометра.

В ходе исследования выделили 10 штаммов микроорганизмов с антиоксидантной активностью в пределах от $67,21 \pm 3,08$ до $91,05 \pm 4,17$ %. Количество индол-3-уксусной кислоты варьировалось от $8,91 \pm 0,32$ до $15,24 \pm 0,69$ мг/мл. При идентификации выбранных микроорганизмов выявлены штаммы бактерий *Klebsiella oxytoca*, *Enterobacter aerogenes*, *Pseudomonas putida* и *Bacillus megaterium*. Наибольшую антиоксидантную активность, количество синтезируемой индол-3-уксусной кислоты и накопленной биомассы демонстрировал консорциум *P. putida* и *E. aerogenes* в соотношении 2:1 ($94,53 \pm 4,28$ %; $15,23 \pm 0,56$ мг/мл; оптическая плотность $0,51 \pm 0,02$). При внесении 2 % глицина от объема питательной среды антиоксидантная активность увеличилась, по сравнению с контролем, на 2,34 %. Добавление 0,5 % L-триптофана повышало количество индол-3-уксусной кислоты на 3,12 мг/мл, а антиоксидантную активность на 2,88 %. Была доказана антиоксидантная активность выделенных штаммов аборигенной микрофлоры. Наиболее перспективен консорциум *P. putida* и *E. aerogenes* в соотношении 2:1. Для обоснования способности разрабатываемого биопрепарата снижать окислительный стресс у растений в дальнейшем планируется исследовать его влияние на рост и развитие растений.

Ключевые слова. Антиоксидантная активность, индол-3-уксусная кислота, микроорганизмы, микробный консорциум, нарушенные почвы

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Разработка подходов к фиторемедиации посттехногенных ландшафтов с использованием стимулирующих рост растений ризобактерий (PGPB) и «омиксных» технологий», дополнительное соглашение № 075-03-2021-189/4 от 30.09.2021 (внутренний номер 075-Г3/Х4140/679/4).

Для цитирования: Перспективы использования микробных препаратов для снижения окислительного стресса сельскохозяйственных растений / И. С. Миленьева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 750–761. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2403>

Microbial Treatment and Oxidative Stress in Agricultural Plants



Irina S. Milentyeva^{1,*}, Natalya V. Fotina¹,
Maria Yu. Zharko², Larisa A. Proskuryakova¹

¹ Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

² All-Russian Dairy Research Institute^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 06.10.2022
Revised: 27.10.2022
Accepted: 08.11.2022

*Irina S. Milentyeva: irazumnikova@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-3536-562X>
Natalya V. Fotina: <https://orcid.org/0000-0002-7655-0258>
Larisa A. Proskuryakova: <https://orcid.org/0000-0002-9583-9161>

© I.S. Milentyeva, N.V. Fotina, M.Yu. Zharko,
L.A. Proskuryakova, 2022



Abstract.

Anthropogenic factors expose agricultural plants to abiotic and biotic stresses, one of which is oxidative stress. Oxidative stress changes cell metabolism, as well as inhibits plant growth and development. Microbial treatment is an environmentally safe method of oxidative stress prevention. The research objective was to study the antioxidant activity of microflora native to coal dumps in order to combat the oxidative stress in crops.

The study featured microorganisms isolated from technogenically disturbed soils. Pure bacterial cultures were isolated by deep inoculation on beef-extract agar. A set of experiments made it possible to define the cultural, morphological, and biochemical properties of cell walls. The antioxidant activity and the amount of indole-3-acetic acid were determined on a spectrophotometer using the ABTS reagent and the Salkowski reagent, respectively. The isolated microorganisms were identified on a Vitek 2 Compact device. The biocompatibility of strains was tested by dripping, while the increase in biomass was measured using a spectrophotometer.

The study revealed ten microbial strains with antioxidant activity ranging from 67.21 ± 3.08 to $91.05 \pm 4.17\%$. The amount of indole-3-acetic acid varied from 8.91 ± 0.32 to 15.24 ± 0.69 mg/mL. The list of microorganisms included *Klebsiella oxytoca*, *Enterobacter aerogenes*, *Pseudomonas putida*, and *Bacillus megaterium*. The consortium of *P. putida* and *E. aerogenes* demonstrated the best results in antioxidant activity, indole-3-acetic acid, and biomass. Its ratio was 2:1 ($94.53 \pm 4.28\%$; 15.23 ± 0.56 mg/mL), while the optical density was 0.51 ± 0.02 . Extra 2% glycine increased the antioxidant activity by 2.34%, compared to the control. Extra 0.5% L-tryptophan increased the amount of indole-3-acetic acid by 3.12 mg/mL and the antioxidant activity by 2.88%.

The research proved the antioxidant activity of strains isolated from microflora native to coal dumps. The consortium of *P. putida* and *E. aerogenes* (2:1) demonstrated the best results. Further research will define its ability to reduce oxidative stress in plants.

Keywords. Antioxidant activity, indole-3-acetic acid, microorganisms, microbial consortium, disturbed soils

Funding. The research was part of the state task of “Developing approaches to phytoremediation of post-technological landscapes using plant growth-stimulating rhizobacteria and omics technologies”, agreement No. 075-03-2021-189/4 dated 30.09.2021 (internal number 075-GZ/X4140/679/4).

For citation: Milentyeva IS, Fotina NV, Zharko MYu, Proskuryakova LA. Microbial Treatment and Oxidative Stress in Agricultural Plants. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):750–761. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2403>

Введение

Согласно данным Департамента ООН по экономическим и социальным вопросам к 2050 г. население планеты увеличится до 9,7 млрд человек [1]. Снабжение продовольствием может стать серьезной

проблемой в ближайшие годы. Это связано не только с ростом населения, но и с уменьшением площади сельскохозяйственных угодий и деградацией имеющихся земель в результате индустриализации [2, 3]. Для удовлетворения постоянно растущего спроса

на продукты питания необходимо обеспечить устойчивость и продуктивность сельского хозяйства [4, 5].

Абиотические и биотические стрессы снижают рост, урожайность и качество сельскохозяйственных культур, что ежегодно приводит к экономическим потерям [6, 7]. Абиотический стресс у растений вызывают различные факторы: засуха, засоление, экстремальные температуры и загрязняющие вещества (например, тяжелые металлы или пестициды) [8]. Многие из данных факторов способствуют проявлению окислительного стресса. Такое состояние у растений характеризуется повышенным содержанием в клетках активных форм кислорода [9].

Окислительный стресс оказывает негативное влияние на развитие растений. Если содержание активных форм кислорода превышает уровень, который клетка может нейтрализовать, то нарушается окислительно-восстановительный гомеостаз. Это приводит к неконтролируемому окислению липидов, нуклеиновых кислот и белков, вызывая серьезные метаболические изменения в клетках [10, 11]. Активные формы кислорода влияют на метаболизм и рост растений такими способами, как замена кофактора фермента, ингибирование антиоксидантных ферментов и нарушение клеточного окислительно-восстановительного баланса [12]. В клетках растений существует система поглощения свободных радикалов для защиты от окислительного повреждения.

Большинство активных форм кислорода способно повреждать клетки. Однако некоторые из них могут быть полезны на определенных стадиях клеточного развития: деление и запрограммированная гибель клеток [12]. Также активные формы кислорода могут служить сигнальными молекулами, необходимыми для контроля экспрессии генов. В связи с этим для нормального роста и развития растительные клетки должны использовать механизмы для контроля и балансировки продукции активных форм кислорода. Механизмы должны быть обусловлены не только антиоксидантными ферментами (супероксиддисмутаза, пероксидаза и глутатионредуктаза), но и неферментативными антиоксидантами (например, глутатионом и проантоцианидином) [13, 14].

Усилению окислительного стресса способствует засоление. Высокое содержание солей в почве может вызывать перекисное окисление мембранных липидов за счет активации фермента липоксигеназы, который является важным фактором ингибирования роста растений [15].

Также окислительный стресс вызывает высокая концентрация тяжелых металлов в почве. Различные формы мышьяка способны напрямую

генерировать активные формы кислорода, особенно при окислительно-восстановительных трансформациях. Кроме того, мышьяк способен снижать активность ключевых антиоксидантных ферментов, связываясь с ними через тиоловые группы [16]. В литературных источниках описана способность кадмия к индукционному образованию активных кислородных радикалов, к которым относят супероксид, гидроксильные радикалы и перекись водорода [17, 18].

Для защиты растений от окислительного стресса применяют обработку различными химическими веществами. R. Khademi Astaneh с соавторами использовал нитропусид натрия в качестве источника экзогенного азота у чеснока *Allium sativum* L. Исследование показало, что нитропусид способен защищать клетки от окислительного повреждения за счет активации антиоксидантных ферментов [15]. M. Rizwan и соавторы исследовали влияние наночастиц цинка и железа на рост пшеницы в условиях окислительного стресса, вызванного кадмием. Согласно полученным данным наночастицы (как кадмия, так и железа) способствовали снижению окислительного стресса [19]. В работе С. Кауа и др. в качестве источника экзогенного азота использовался мелатонин – гормон с антиоксидантной активностью. Исследования показали, что мелатонин снижает содержание перекиси водорода и малонового диальдегида в растениях, подвергшихся воздействию кадмия, не менее чем на 30 %. Однако полностью устранить окислительный стресс не удалось [20].

Несмотря на успешное применение химических веществ в сельскохозяйственной деятельности, использование описанных методов связано с экологическими рисками. Распространение наночастиц в окружающей среде может представлять потенциальную опасность для здоровья населения. Данных о безопасности использования таких материалов мало, поэтому необходимо проведение дополнительных исследований в данной области [21]. Не только наночастицы, но и другие химические вещества представляют собой экологическую угрозу. Существуют данные о том, что использование химических веществ в сельском хозяйстве способно вызывать вторичное загрязнение почв, что способствует развитию стресса у растений [22–24].

Более экологичным методом снижения окислительного стресса у растений является применение микроорганизмов. В литературе описаны случаи успешного применения микроорганизмов для снижения окислительного стресса. Например, некоторые штаммы *Rhizobia* стимулируют неферментативные антиоксиданты в ткани *Paullinia pinnata*. Исследования показали, что инокуляция ризобактериями повышала уровень глутатиона, проантоцианидина,

флаваноидов и аскорбиновой кислоты. Окислительный стресс в исследовании вызван дефицитом азота и избыточным содержанием никеля в почве [9]. В работе J. Chen и соавторов описан положительный опыт применения арбускулярной микоризы, которая регулировала антиоксидантную активность в листьях и корнях *Robinia pseudoacacia*, выращенных в условиях окислительного стресса, обусловленного засолением [25].

Перспективность использования микроорганизмов в сельском хозяйстве обусловлена их способностью к синтезу фитогормонов [11]. Данные вещества не только регулируют рост и развитие растений, но и активизируют их антиоксидантную систему защиты [26, 27]. Например, индол-3-уксусная кислота способна изменять экспрессию чувствительных к стрессу генов, что приводит к увеличению антиоксидантного потенциала за счет синтеза каталазы, супероксиддисмутазы и пероксидазы [28]. Индол-3-уксусная кислота – перспективный агент для снижения окислительного стресса. Однако ее невозможно включить в удобрения из-за низкой стабильности и быстрого разложения [29]. Поэтому актуальна разработка препаратов на основе микроорганизмов-продуцентов индол-3-уксусной кислоты, которые будут синтезировать данное вещество непосредственно на обрабатываемой территории.

Целью работы являлось изучение антиоксидантных свойств штаммов микроорганизмов, выделенных с территории антропогенного загрязнения для создания биопрепарата, уменьшающего окислительный стресс сельскохозяйственных растений.



Рисунок 1. Снимок со спутника на GOOGLE MAPS Таежного поля ОАО «Угольная компания «Кузбассразрезуголь «Талдинский угольный разрез»

Figure 1. Satellite image of the Taiga field developed by Kuzbassrazrezugol Coal Company, Talda Coal Mine

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлись микроорганизмы, выделенные из образцов почв, отобранных на территории Таежного поля ОАО «УК «Кузбассразрезуголь «Талдинский угольный разрез» (рис. 1).

Отбор образцов техногенных почв осуществляли в осенний период в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-2017. Выделение микроорганизмов производили на мясопептонном бульоне. Культивирование проводили в течение 48 ч при 30 °С. Для выделения чистых культур осуществляли посев культуральной жидкости глубинным способом на мясопептонный агар. Питательную среду стерилизовали при температуре 130 °С и давлении 2 атм в течение 1,5 ч. Посевы культивировали в термостате ПЭ-5300ВИ («ЮНИТЭК», Россия) в течение 18 ч при 30 °С. Затем единичные колонии пересевали на среду аналогичного состава методом истошающего штриха.

Для изучения культуральных признаков производили посев суспензии выделенных микроорганизмов с низкой концентрацией на мясопептонный агар глубинным способом, а затем культивировали 18 ч при 30 °С.

Биохимические свойства клеточной стенки микроорганизмов определяли методом Грамма. Морфологические признаки исследовали микроскопированием.

Антиоксидантную активность определяли по методике A. Parsa и S. A. Salout [30]. В качестве питательной среды использовали мясопептонный бульон. Культивирование проводили в течение 48 ч при 30 °С. Полученную суспензию центрифугировали в течение 5 мин при 10 000 об/мин. Супернатант смешивали с реактивом ABTS в соотношении 1:15. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре при длине волны 754 нм. Раствором сравнения служил реактив ABTS («СигмаТек», Россия) со стерильной средой. Антиоксидантную активность рассчитывали по формуле (1):

$$AOA = \frac{A_{ABTS} - A_{исл}}{A_{ABTS}} \times 100 \quad (1)$$

где AOA – антиоксидантная активность, %; A_{ABTS} – оптическая плотность реактива ABTS; $A_{исл}$ – оптическая плотность исследуемого раствора.

Количество индол-3-уксусной кислоты, синтезируемой микроорганизмами, определяли по методике L. G. Sarmiento-Lopez и др. [31]. В 1,5 мл среды мясопептонного бульона с 0,1 % L-триптофаном вносили 5 % бактериального консорциума. Термостатировали в течение 48 ч, а затем центрифугировали при 10 000 об/мин в течение 5 мин. 1 мл супернатанта смешивали с 1 мл реагента Сальковского (0,1 г $FeCl_3$, растворенный в 100 мл 50 % H_2SO_4) и выдерживали при комнатной температуре в течение 30 мин до окрашивания раствора в розовый цвет. Оптическую плотность полученного раствора

измеряли на спектрофотометре при 535 нм. Количество индол-3-уксусной кислоты определяли по калибровочному графику ее стандартного раствора в пределах от 1 до 40 мг/мл.

Идентификацию микроорганизмов проводили с использованием автоматического микробиологического анализатора Vitek 2 Compact с использованием карт ID-GN (грамотрицательные микроорганизмы) и ID-GP (грамположительные микроорганизмы). Культуры выращивали на колумбийском агаре с кровью в течение 48 ч при 30 °С, и затем готовили суспензию штаммов с плотностью по МакФарланду в пределах 2,70–3,30 [32].

Биосовместимость штаммов осуществляли по методу, описанному Г. С. Волковой и др. [33]. Чистые культуры выделенных микроорганизмов высаживали на среду мясopептонного бульона и культивировали 24 ч при 30 °С. Затем часть суспензии центрифугировали при 10 000 об/мин 15 мин. В чашки Петри с застывшей средой мясopептонного агара вносили 1 каплю супернатанта и дожидались полного ее впитывания. Потом каплю исследуемого штамма наносили с небольшим отступом от края первой капли таким образом, чтобы она зашла на каплю с супернатантом. Посев культивировали в течение 24 ч при 30 °С. Если в месте пересечения наблюдали рост культур, то делали вывод о том, что метаболиты первой культуры не подавляют рост исследуемого штамма. Контролем служила область на среде, где исследуемая культура не соприкасалась с супернатантом [33].

Определение антиоксидантной активности и количества синтезируемой индол-3-уксусной кислоты консорциумом определяли по вышеописанным методам.

Для определения прироста биомассы использовали методику Р. Г. Геворгиза и др. [34]. Чистые культуры высаживали на мясopептонный бульон и культивировали в течение 48 ч при 30 °С. Все чистые культуры добавляли в определенных пропорциях. После культивирования определяли оптическую плотность на спектрофотометре при длине волны 554 нм.

Работа была выполнена с использованием оборудования ЦКП «Инструментальные методы анализа в области прикладной биотехнологии» на базе КемГУ.

Результаты и их обсуждение

Из образцов почв выделили 10 чистых культур микроорганизмов. Культуральные и морфологические признаки представлены в таблице 1.

Рост исследуемых микроорганизмов на чашках Петри представлен на рисунке 2.

По результатам морфологического исследования выявлено, что наибольшее количество выделенных микроорганизмов являются грамотрицательными

(60 %). Бациллы составили 60 %, кокки – 30 %, диплококки – 10 %, спорообразующие бактерии – 70 %. Подвижных и неподвижных микроорганизмов равное количество.

Отбор выделенных штаммов в состав консорциума осуществляли в соответствии с антиоксидантной активностью. Результаты исследования антиоксидантной активности выделенных штаммов представлены в таблице 2.

Для дальнейших исследований отобраны образцы № 2–6 и 8–10. Антиоксидантная активность данных штаммов превышала 70 %. Помимо антиоксидантной активности в защите растений от окислительного стресса участвуют фитогормоны. Например, индол-3-уксусная кислота – гормон класса ауксинов, обладающих высокими антиоксидантными свойствами [26]. Исследование способности аборигенных микроорганизмов к синтезу индол-3-уксусной кислоты представлено в таблице 3.

Согласно полученным данным наибольшее количество индол-3-уксусной кислоты синтезировали штаммы № 2, 3, 6 и 8. Данные микроорганизмы отобраны для идентификации. Физиолого-биохимические особенности микроорганизмов представлены в таблице 4.

Полученные результаты подтверждаются литературными данными. Z. Wu и соавторы в своем исследовании выяснили, что бактерия *Klebsiella oxytoca* обладает высокими антиоксидантными свойствами [35]. A. S. Pavlova с соавторами доказала, что данный микроорганизм синтезирует индол-3-уксусную кислоту и способен увеличивать рост растений [36]. Штамм *Enterobacter* в исследовании Z. Saeed и др. способствовал защите растения от окислительного стресса за счет увеличения количества антиоксидантных ферментов [37]. В исследовании В.-Х. Zhang с соавторами вышеупомянутый микроорганизм, выделенный из эндофитов кукурузы в Китае, синтезировал индол-3-уксусную кислоту, концентрация которой в питательной среде составила 0,2 мг/мл [38]. S. Alipour Kafi и соавторы выделили штамм *Pseudomonas putida* из ризосферной почвы. Их исследование показало, что добавление данного микроорганизма в почву увеличивает выход антиоксидантных ферментов, а также способствует лучшему нарастанию биомассы растений [39]. J. H. J. Leveau и S. E. Lindow выяснили, что из 4,5 мМ L-триптофона *P. putida* синтезируется 0,05 мМ индол-3-уксусной кислоты [40]. *Bacillus megaterium* в работе F. Pei и др. выделен из почв с виноградников Китая. Данный микроорганизм синтезирует экзополисахариды, обладающие высокими антиоксидантными свойствами [41]. В исследовании В. Ali и др. *B. megaterium*, выделенный из ризосферы растений, синтезировал 0,003 мг/мл индол-3-уксусной кислоты в среде L-бульона с добавлением 1 мг/мл L-триптофана [42]. Более

Таблица 1. Культуральные и морфологические признаки микроорганизмов

Table 1. Cultural and morphological characteristics of microorganisms

№ аборигенного микроорганизма	Признаки	
	Культуральные	Морфологические
1	Белые, матовые, приподнятые, округлые с ровными краями колонии с диаметром 3 мм	Короткие бациллы размером в среднем 0,5×0,3 мкм, грамотрицательные, спорообразующие, подвижные
2	Колонии светло-бежевого цвета, глянцевые, выпуклые, округлой формы с ровными краями, в среднем диаметр составляет 2,5 мм	Бациллы размером в среднем 1,4×0,7 мкм, грамотрицательные, спорообразующие, неподвижные
3	Колонии белесого цвета, масляные, приподнятые, округлые с ровными краями, диаметр в среднем составляет 1 мм	Короткие бациллы с закругленными краями размером в среднем 2,0×0,7 мкм, грамотрицательные, спорообразующие, подвижные
4	Белесые, матовые, выпуклые, округлые с ровными краями колонии с диаметром 1 мм	Кокки диаметром в среднем 0,6 мкм, грамположительные, спорообразующие, неподвижные
5	Колонии белесого цвета, масляные, округлой формы с ровными краями, приподнятые, диаметр составляет в среднем 3 мм	Кокки диаметром в среднем 0,6 мкм, грамотрицательные, неспорообразующие, неподвижные
6	Колонии белого цвета, глянцевые, выпуклые, округлой формы с неровными краями, в среднем диаметр составляет 1,5 мм	Бациллы размером в среднем 3,0×0,8 мкм, грамотрицательные, неспорообразующие, подвижные
7	Желтые, масляные колонии округлой формы с ровными краями, приподнятые, диаметр равен 2 мм	Диплококки диаметром в среднем 0,5 мкм, грамотрицательные, спорообразующие, неподвижные
8	Колонии прозрачные, матовые, выпуклые, округлой формы с неровными краями, диаметр равен 2 мм	Бациллы с закругленными концами размером в среднем 3,5×0,5 мкм, грамположительные, спорообразующие, подвижные
9	Колонии белого цвета, матовые, округлой формы с ровными краями, приподнятые, диаметр составляет в среднем 3 мм	Кокки диаметром в среднем 0,6 мкм, грамположительные, неспорообразующие, неподвижные
10	Желтые, глянцевые колонии округлой формы с ровными краями, выпуклые, диаметр равен 1,5 мм	Бациллы размером в среднем 1,0×0,4 мкм, грамположительные, спорообразующие, подвижные



Рисунок 2. Рост исследуемых микроорганизмов в чашке Петри на среде МПА, где 1–10 – номера исследуемых штаммов

Figure 2. Microorganisms in a beef-extract agar medium: 1–10 are the strain numbers

Таблица 2. Антиоксидантная активность выделенных аборигенных микроорганизмов

Table 2. Antioxidant activity of isolated native microorganisms

№ аборигенного микроорганизма	Антиоксидантная активность, %
1	67,21 ± 3,08
2	87,23 ± 4,21
3	89,15 ± 4,10
4	71,56 ± 3,39
5	76,20 ± 3,20
6	91,05 ± 4,17
7	68,29 ± 3,12
8	83,37 ± 3,98
9	71,84 ± 3,46
10	86,36 ± 4,05

Таблица 3. Синтез индол-3-уксусной кислоты выделенными микроорганизмами

Table 3. Synthesis of indole-3-acetic acid by isolated microorganisms

№ аборигенного микроорганизма	Количество синтезируемой индол-3-уксусной кислоты, мг/мл питательной среды
2	15,24 ± 0,69
3	13,08 ± 0,53
4	9,37 ± 0,34
5	9,82 ± 0,38
6	12,61 ± 0,41
8	11,58 ± 0,44
9	9,23 ± 0,41
10	8,91 ± 0,32

Таблица 4. Физиолого-биохимические признаки микроорганизмов

Table 4. Physiological and biochemical profile of microorganisms

Субстрат	<i>K. oxytoca</i>	<i>E. aerogenes</i>	<i>P. putida</i>	<i>B. megaterium</i>	Субстрат	<i>K. oxytoca</i>	<i>E. aerogenes</i>	<i>P. putida</i>	<i>B. megaterium</i>
Ala-Phe-Pro-arylamidase	–	–	–	+	L-malate assimilation	+	–	+	+
H ₂ S	–	–	–	–	D-glucose	+	+	+	+
Beta-glucosidase	+	+	–	+	D-mannose	+	+	–	–
L-proline arylamidase	–	–	+	–	Tyrosine arylamidase	–	–	+	+
Saccharose/sucrose	–	+	–	–	Citrate (sodium)	+	+	+	–
L-Lactate alkalisation	+	+	+	–	Beta-N-acetyl-galactosaminidase	–	+	–	+
Glycine arylamidase	+	–	–	–	L-histidine assimilation	+	–	+	+
O/129 resistance comp. vibrio)	+	+	+	+	Ellman	–	–	–	+
Adonitol	+	+	–	+	D-Cellobiose	+	+	–	–
Beta-N-acetyl-glucosaminidase	–	+	–	–	Gamma-glutamyl-transferase	+	–	+	+
D-maltose	+	+	–	–	Beta-xylosidase	+	+	–	–
Lipase	–	–	–	+	Urease	+	–	–	–
D-tagatose	+	+	–	+	Malonate	+	+	–	–
Alpha-glucosidase	–	–	–	+	D-trehalose	+	+	–	+
Ornithine decarboxylase	–	+	–	–	Coumarate	–	–	+	–
Glu-Gly-Arg-arylamidase	–	–	–	+	L-lactate assimilation	+	–	+	+
L-pyrrolydonyl arylamidase	+	–	–	+	Beta-galactosidase	+	+	–	+
Glutamyl arylamidase pNA	–	–	–	–	Fermentation/ glucose	+	–	–	–
D-mannitol	+	+	–	+	Phosphatase	+	–	–	+
Palatinose	+	+	–	+	D-sorbitol	+	+	–	–
Lysine decarboxylase	+	–	–	–	5-keto-D-gluconate	+	–	–	+
Succinate alkalisation	+	–	+	+	Beta-alanine arylamidase pNA	–	–	+	–
Alpha-galactosidase	+	+	–	+	Beta-glucuronidase	–	–	–	–
L-Arabitol	–	+	–	+					

высокий выход индол-3-уксусной кислоты может быть связан с тем, что исследуемые штаммы выделены с техногенно нарушенных территорий в Кемеровской области.

Для создания биопрепарата изучали биосовместимость идентифицированных микроорганизмов. Результаты представлены в таблице 5.

Согласно результатам исследования штамм *K. oxytoca* подавляет рост *P. putida* и *B. megaterium*, а его рост подавляют метаболиты *Enterobacter aerogenes*. На рост *P. putida* положительно влияют все исследуемые микроорганизмы, но он подавляет рост *K. oxytoca*. Метаболиты, синтезируемые *E. aerogenes*, подавляют рост только *B. megaterium*. Штамм *B. megaterium* негативно влияет на рост *K. oxytoca*. Можно сделать вывод о том, что биосовместимыми являются *P. putida* с *E. aerogenes* и *B. megaterium*. В исследовании составлено шесть вариантов консорциумов, представленных на рисунке 3.

Для всех исследуемых консорциумов определяли прирост биомассы и антиоксидантную активность. Результаты исследования представлены в таблице 6.

Из таблицы 6 видно, что наибольшей антиоксидантной активностью обладает консорциум А–2, содержащий *P. putida* и *E. aerogenes* в соотношении 2:1. Для создания биопрепарата необходимо подобрать среду с наибольшим выходом биомассы и антиоксидантной активности. По литературным данным для увеличения синтеза веществ, обладающих антиоксидантными свойствами, в питательную среду добавляют глицин [43]. Для сравнения готовили питательную среду мясопептонного бульона

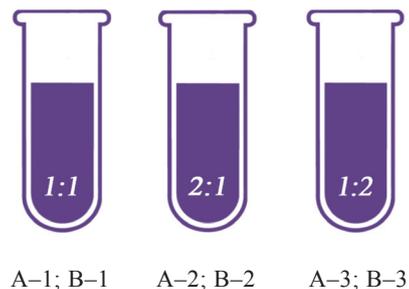


Рисунок 3. Варианты консорциумов: А – консорциум *Pseudomonas putida* с *Enterobacter aerogenes*; В – консорциум *Pseudomonas putida* с *Bacillus megaterium*; 1 – соотношение 1:1, 2 – соотношение 2:1, 3 – соотношение 1:2

Figure 3. Consortia: А – *Pseudomonas putida* + *Enterobacter aerogenes*; В – *Pseudomonas putida* + *Bacillus megaterium*; 1 – 1:1, 2 – 2:1, 3 – 1:2

без глицина и с его добавлением в количестве 1, 2 и 5 %. Результаты исследования нарастания биомассы и антиоксидантной активности биопрепарата представлены в таблице 7.

Наиболее оптимальной по соотношению антиоксидантной активности и нарастанию биомассы является среда мясопептонный бульон + 2 % глицина (далее среда А). Предшественником индол-3-уксусной кислоты является L-триптофан, поэтому добавление его в питательную среду способствует увеличению количества синтезируемого фитогормона [29]. Для подтверждения гипотезы готовили питательную среду А с добавлением 0,1, 0,2 и 0,5 % L-триптофана.

Таблица 5. Результаты определения биосовместимости штаммов

Table 5. Microbial biocompatibility

Микроорганизм	<i>Klebsiella oxytoca</i>	<i>Enterobacter aerogenes</i>	<i>Pseudomonas putida</i>	<i>Bacillus megaterium</i>
<i>Klebsiella oxytoca</i>		+	–	–
<i>Enterobacter aerogenes</i>	–		+	+
<i>Pseudomonas putida</i>	+	+		+
<i>Bacillus megaterium</i>	–	–	+	

Таблица 6. Результаты исследования сконструированных консорциумов

Table 6. Properties of the new consortia

Варианты консорциумов	Антиоксидантная активность, %	Количество синтезируемой индол-3-уксусной кислоты, мг/мл питательной среды	Прирост биомассы, оптическая плотность
А–1	88,34 ± 4,12	14,90 ± 0,64	0,49 ± 0,02
А–2	94,52 ± 4,28	15,23 ± 0,56	0,51 ± 0,02
А–3	81,76 ± 3,86	12,54 ± 0,71	0,42 ± 0,01
В–1	89,58 ± 4,05	14,08 ± 0,56	0,38 ± 0,01
В–2	92,81 ± 4,49	16,71 ± 0,63	0,46 ± 0,02
В–3	87,66 ± 3,97	11,39 ± 0,38	0,50 ± 0,02

Таблица 7. Результаты исследования биопрепарата

Table 7. Consortium of *Pseudomonas putida* and *Enterobacter aerogenes*

Варианты консорциумов	Антиоксидантная активность, %	Прирост биомассы, оптическая плотность
Мясопептонный бульон	94,47 ± 4,53	0,50 ± 0,02
Мясопептонный бульон + 1 % глицина	95,35 ± 4,20	0,56 ± 0,03
Мясопептонный бульон + 2 % глицина	96,81 ± 4,35	0,54 ± 0,02
Мясопептонный бульон + 5 % глицина	92,23 ± 4,04	0,49 ± 0,02

Таблица 8. Результаты исследования биопрепарата

Table 8. Consortium of *Pseudomonas putida* and *Enterobacter aerogenes*

Варианты консорциумов	Антиоксидантная активность, %	Количество синтезируемой индол-3-уксусной кислоты, мг/мл питательной среды	Нарастание биомассы, оптическая плотность
Мясопептонный бульон	94,30 ± 4,08	15,13 ± 0,56	0,50 ± 0,02
Среда А + 0,1 % L-триптофана	96,05 ± 4,56	16,02 ± 1,02	0,56 ± 0,03
Среда А + 0,2 % L-триптофана	94,63 ± 4,63	16,84 ± 0,75	0,49 ± 0,01
Среда А + 0,5 % L-триптофана	97,18 ± 4,67	18,01 ± 0,91	0,63 ± 0,02

Для сравнения использовали среду мясопептонного бульона. Результаты исследования нарастания биомассы, антиоксидантной активности и количества синтезируемой индол-3-уксусной кислоты биопрепаратом представлены в таблице 8.

Таким образом, оптимальный состав среды для биопрепарата: 3 г пептона, 3,3 г мясного экстракта, 1,5 г натрия хлорнокислого, 3,1 г глицина, 1,6 г L-триптофана и 300 мл дистиллированной воды.

Выводы

Из почв техногенно нарушенных территорий выделили 10 штаммов микроорганизмов. На основании результатов исследования антиоксидантной активности отобрано 8 перспективных микроорганизмов. У образцов № 6 антиоксидантная активность равна 91,05 %, № 2 и 3 превышает 85 %, № 8 – 83,36 %, № 4 и 9 превышает 70 %.

Анализ количества синтезируемой индол-3-уксусной кислоты показал, что перспективными штаммами для составления консорциума являются микроорганизмы № 2, 3, 6 и 8. Наибольшее количество индол-3-уксусной кислоты синтезировал № 2 (15,24 мг/мл питательной среды).

В соответствии с данными, полученными на автоматическом микробиологическом анализаторе, выявили, что № 2 является *Klebsiella oxytoca*, № 3 – *Enterobacter aerogenes*, № 6 – *Pseudomonas putida*, № 8 – *Bacillus megaterium*. Несмотря на то что *K. oxytoca* обладает достаточно высокими характеристиками, данный штамм не совместим с другими. Биосовместимыми оказались *P. putida* с *E. aerogenes* и с *B. megaterium*. Варианты исследуемых консорциумов следующие:

А – *P. putida* с *E. aerogenes* и В – *P. putida* с *B. megaterium*. Соотношение микроорганизмов в выбранных консорциумах: 1 – 1:1, 2 – 2:1, 3 – 1:2 соответственно.

Наибольшей антиоксидантной активностью обладал консорциум А–2 (94,52 %), количеством синтезируемой индол-3-уксусной кислоты – В–2 (16,71 мг/мл питательной среды), нарастанием биомассы – А–2 (0,51). Таким образом, для защиты сельскохозяйственных культур от окислительного стресса и лучшей выживаемости выбрали консорциум А–2, несмотря на меньшую способность к синтезу индол-3-уксусной кислоты, чем В–2. Однако А–2 характеризуется более высокой антиоксидантной активностью и приростом биомассы.

Для увеличения антиоксидантных свойств в мясопептонный бульон добавили глицин в 3 вариантах: 1, 2 и 5 % от объема питательной среды. Наибольшая антиоксидантная активность выявлена на среде с добавлением 2 % глицина (96,81 ± 4,35), что выше на 2,34 % контрольного образца (мясопептонный бульон без добавления глицина). Прирост биомассы составил 0,54 ± 0,02. Таким образом, для создания биопрепарата в среду мясопептонного бульона следует вносить 2 % глицина (среда А).

Чтобы увеличить содержание индол-3-уксусной кислоты в среду А добавляли L-триптофон в количестве 0,1, 0,2 и 0,5 %. По результатам исследования в среде А + 0,5 % L-триптофана биопрепарат синтезирует в 1,2 раза больше индол-3-уксусной кислоты по сравнению с контролем (мясопептонный бульон).

Можно сделать вывод о том, что консорциум *P. putida* с *E. aerogenes* в соотношении 2:1 обладает большой антиоксидантной активностью,

а также высоким содержанием идола-3-уксусной кислоты в культуральной жидкости. Добавление в мясопептонный бульон 2 % глицина и 0,5 % L-триптофона увеличивает антиоксидантную активность на 2,88 %, индол-3-уксусную кислоту – на 3,12 мг/мл питательной среды по сравнению с мясопептонным бульоном. Для создания биопрепарата оптимально культивирование консорциума в среде мясопептонный бульон + 2 % глицина + 0,5 % L-триптофана.

В дальнейшем планируется исследовать влияние разработанного биопрепарата на рост и развитие растений. Данные исследования необходимы для установления способности препарата снижать окислительный стресс у растений и влиять на всхожесть и урожайность сельскохозяйственных культур.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов в данной публикации.

Contribution

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear equal responsibility for any possible plagiarism.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interests regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Fatemi H, Esmail Pour B, Rizwan M. Isolation and characterization of lead (Pb) resistant microbes and their combined use with silicon nanoparticles improved the growth, photosynthesis and antioxidant capacity of coriander (*Coriandrum sativum* L.) under Pb stress. *Environmental Pollution*. 2020;266. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114982>
2. Rada AO, Kuznetsov AD. Digital inventory of agricultural land plots in the Kemerovo Region. *Foods and Raw Materials*. 2022;10(2):206–215. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-529>
3. Milentyeva IS, Le VM, Kozlova OV, Velichkovich NS, Fedorova AM, Loseva AI, *et al.* Secondary metabolites in *in vitro* cultures of Siberian medicinal plants: Content, antioxidant properties, and antimicrobial characteristics. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(1):153–163. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-153-163>
4. Gu D, Andreev K, Dupre ME. Major trends in population growth around the world. *China CDC Weekly*. 2021;3(28):604–613. <https://doi.org/10.46234/ccdcw2021.160>
5. Kumaraswamy RV, Kumari S, Choudhary RC, Pal A, Raliya R, Biswas P, *et al.* Engineered chitosan based nanomaterials: Bioactivities, mechanisms and perspectives in plant protection and growth. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018;113:494–506. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.130>
6. Nizamutdinov TI, Suleymanov AR, Morgun EN, Dinkelaker NV, Abakumov EV. Ecotoxicological analysis of fallow soils at the yamal experimental agricultural station. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(2):350–360. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2369>
7. Fotina NV, Emelianenko VP, Vorob'eva EE, Burova NV, Ostapova EV. Contemporary biological methods of mine reclamation in the Kemerovo Region – Kuzbass. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(4):869–882. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-869-882>
8. Liu W-C, Song R-F, Zheng S-Q, Li T-T, Zhang B-L, Gao X, *et al.* Coordination of plant growth and abiotic stress responses by tryptophan synthase β subunit 1 through modulation of tryptophan and ABA homeostasis in *Arabidopsis*. *Molecular Plant*. 2022;15(6):973–990. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2022.04.009>
9. Kerchev P, van der Meer T, Sujeeth N, Verlee A, Stevens CV, Van Breusegem F, *et al.* Molecular priming as an approach to induce tolerance against abiotic and oxidative stresses in crop plants. *Biotechnology Advances*. 2020;40. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.107503>
10. Dias MC, Mariz-Ponte N, Santos C. Lead induces oxidative stress in *Pisum sativum* plants and changes the levels of phytohormones with antioxidant role. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019;137:121–129. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.02.005>
11. Drozdova MYu, Pozdnyakova AV, Osintseva MA, Burova NV, Minina VI. The microorganism-plant system for remediation of soil exposed to coal mining. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(2):406–418. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-406-418>
12. Yu X, Shoaib M, Cheng X, Cui Y, Hussain S, Yan J, *et al.* Role of rhizobia in promoting non-enzymatic antioxidants to mitigate nitrogen-deficiency and nickel stresses in *Pongamia pinnata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2022;241. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113789>

13. AbdElgawad H, Zinta G, Hamed BA, Selim S, Beemster G, Hozzein WN, et al. Maize roots and shoots show distinct profiles of oxidative stress and antioxidant defense under heavy metal toxicity. *Environmental Pollution*. 2020;258. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113705>
14. Ali MA, Fahad S, Haider I, Ahmed N, Ahmad S, Hussain S, et al. Oxidative stress and antioxidant defense in plants exposed to metal/metalloid toxicity. In: Hasanuzzaman M, Fotopoulos V, Nahar K, Fujita M, editors. *Reactive oxygen, nitrogen and sulfur species in plants: Production, metabolism, signaling and defense mechanisms*. John Wiley & Sons; 2019. pp. 353–370. <https://doi.org/10.1002/9781119468677.ch15>
15. Khademi Astaneh R, Bolandnazar S, Zaare Nahandi F. Exogenous nitric oxide protect garlic plants against oxidative stress induced by salt stress. *Plant Stress*. 2022;5. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2022.100101>
16. Patel M, Parida AK. Salinity alleviates the arsenic toxicity in the facultative halophyte *Salvadora persica* L. by the modulations of physiological, biochemical, and ROS scavenging attributes. *Journal of Hazardous Materials*. 2021;401. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123368>
17. Farooq M, Ullah A, Usman M, Siddique KHM. Application of zinc and biochar help to mitigate cadmium stress in bread wheat raised from seeds with high intrinsic zinc. *Chemosphere*. 2020;260. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127652>
18. Haider FU, Liqun C, Coulter JA, Cheema SA, Wu J, Zhang R, et al. Cadmium toxicity in plants: Impacts and remediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021;211. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111887>
19. Rizwan M, Ali S, Ali B, Adrees M, Arshad M, Hussain A, et al. Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere*. 2019;214:269–277. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.120>
20. Kaya C, Okant M, Ugurlar F, Alyemeni MN, Ashraf M, Ahmad P. Melatonin-mediated nitric oxide improves tolerance to cadmium toxicity by reducing oxidative stress in wheat plants. *Chemosphere*. 2019;225:627–638. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.026>
21. Alka S, Shahir S, Ibrahim N, Ndejiko MJ, Vo D-VN, Manan FA. Arsenic removal technologies and future trends: A mini review. *Journal of Cleaner Production*. 2021;278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123805>
22. Zou L, Liu Y, Wang Y, Hu X. Assessment and analysis of agricultural non-point source pollution loads in China: 1978–2017. *Journal of Environmental Management*. 2020;263. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110400>
23. Dugan I, Pereira P, Barcelo D, Telak LJ, Filipovic V, Filipovic L, et al. Agriculture management and seasonal impact on soil properties, water, sediment and chemicals transport in a hazelnut orchard (Croatia). *Science of the Total Environment*. 2022;839. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156346>
24. Wang H, Yang Q, Ma H, Liang J. Chemical compositions evolution of groundwater and its pollution characterization due to agricultural activities in Yinchuan Plain, northwest China. *Environmental Research*. 2021;200. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111449>
25. Chen J, Zhang H, Zhang X, Tang M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis mitigates oxidative injury in black locust under salt stress through modulating antioxidant defence of the plant. *Environmental and Experimental Botany*. 2020;175. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104034>
26. Dias MC, Mariz-Ponte N, Santos C. Lead induces oxidative stress in *Pisum sativum* plants and changes the levels of phytohormones with antioxidant role. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2019;137:121–129. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.02.005>
27. Singh S, Parihar P, Singh R, Singh VP, Prasad SM. Heavy metal tolerance in plants: Role of transcriptomics, proteomics, metabolomics, and ionomics. *Frontiers in Plant Science*. 2016;6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.011143>
28. Ahmad N, Yasin D, Bano F, Fatma T. Ameliorative effects of endogenous and exogenous indole-3-acetic acid on atrazine stressed paddy field cyanobacterial biofertilizer *Cylindrospermum stagnale*. *Scientific Reports*. 2022;12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15415-z>
29. Šipošová K, Labancová E, Kučerová D, Kollárová K, Vívodová Z. Effects of exogenous application of indole-3-butyric acid on maize plants cultivated in the presence or absence of cadmium. *Plants*. 2021;10(11). <https://doi.org/10.3390/plants10112503>
30. Parsa A, Salout SA. Investigation of the antioxidant activity of electrosynthesized polyaniline/reduced graphene oxide nanocomposite in a binary electrolyte system on ABTS and DPPH free radicals. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2016;760:113–118. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2015.11.021>
31. Sarmiento-Lopez LG, López-Meyer M, Maldonado-Mendoza IE, Quiroz-Figueroa FR, Sepúlveda-Jiménez G, Rodríguez-Monroy M. Production of indole-3-acetic acid by *Bacillus circulans* E9 in a low-cost medium in a bioreactor. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2022;134(1):21–28. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2022.03.007>
32. Voitenkova EV, Matveeva ZN, Makarova MA, Egorova SA, Zabrovskaya AV, Suzhaeva LV, et al. Difficulties in identification of *Comamonas kerstersii* strains isolated from intestinal microbiota of residents of republic of Guinea and Russian federation. *Russian Journal of Infection and Immunity*. 2018;8(2):163–168. <https://doi.org/10.15789/2220-7619-2018-2-163-168>

33. Volkova GS, Kuksova EV, Serba EM. Investigation of biological interstrains and growing properties of lactic acid bacteria production strains. *Relevant Issues of the Dairy Industry, Cross-Industry Technologies, and Quality Management Systems*. 2020;1(1):104–109. (In Russ.). <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-104-109>
34. Gevorgiz RG, Alisieovich AV, Shmatok MG. Estimation of biomass *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitl with use of optical density of culture. *Ekologiya morya*. 2005;70:96–106. (In Russ.). [Геворгиз Р. Г., Алисиевич А. В., Шматок М. Г. Оценка биомассы *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitl. по оптической плотности культуры // Экология моря. 2005. Т. 70. С. 96–106.].
35. Wu Z, Peng Y, Guo L, Li C. Root colonization of encapsulated *Klebsiella oxytoca* Rs-5 on cotton plants and its promoting growth performance under salinity stress. *European Journal of Soil Biology*. 2014;60:81–87. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.11.008>
36. Pavlova AS, Leontieva MR, Smirnova TA, Kolomeitseva GL, Netrusov AI, Tsavkelova EA. Colonization strategy of the endophytic plant growth-promoting strains of *Pseudomonas fluorescens* and *Klebsiella oxytoca* on the seeds, seedlings and roots of the epiphytic orchid, *Dendrobium nobile* Lindl. *Journal of Applied Microbiology*. 2017;123(1):217–232. <https://doi.org/10.1111/jam.13481>
37. Saeed Z, Naveed M, Imran M, Bashir MA, Sattar A, Mustafa A, *et al.* Combined use of *Enterobacter* sp. MN17 and zeolite reverts the adverse effects of cadmium on growth, physiology and antioxidant activity of *Brassica napus*. *PLoS ONE*. 2019;14(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213016>
38. Zhang B-X, Li P-S, Wang Y-Y, Wang J-J, Liu X-L, Wang X-Y, *et al.* Characterization and synthesis of indole-3-acetic acid in plant growth promoting *Enterobacter* sp. *RSC Advances*. 2021;11(50):31601–31607. <https://doi.org/10.1039/d1ra05659j>
39. Alipour Kafi S, Arabhosseini S, Karimi E, Koobaz P, Mohammadi A, Sadeghi A. *Pseudomonas putida* P3-57 induces cucumber (*Cucumis sativus* L.) defense responses and improves fruit quality characteristics under commercial greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*. 2021;280. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109942>
40. Leveau JHJ, Lindow SE. Utilization of the plant hormone indole-3-acetic acid for growth by *Pseudomonas putida* strain 1290. *Applied and Environmental Microbiology*. 2005;71(5):2365–2371. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.5.2365-2371.2005>
41. Pei F, Ma Y, Chen X, Liu H. Purification and structural characterization and antioxidant activity of levan from *Bacillus megaterium* PFY-147. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;161:1181–1188. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.140>
42. Ali B, Sabri AN, Ljung K, Hasnain S. Quantification of indole-3-acetic acid from plant associated *Bacillus* spp. and their phytostimulatory effect on *Vigna radiata* (L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2008;25(3):519–526. <https://doi.org/10.1007/s11274-008-9918-9>
43. Zhang H, Wang Z, Li Z, Wang K, Kong B, Chen Q. L-glycine and L-glutamic acid protect *Pediococcus pentosaceus* R1 against oxidative damage induced by hydrogen peroxide. *Food Microbiology*. 2022;101. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103897>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2404>
<https://elibrary.ru/EPYPHL>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Показатели качества *Agaricus bisporus* после обработки УФ-излучением



В. В. Кондратенко^{ORCID}, Н. Е. Посокина*^{ORCID},
Н. И. Федянина^{ORCID}, О. В. Карастоянова^{ORCID}, Н. В. Коровкина^{ORCID}

Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования^{ROR}, Видное, Россия

Поступила в редакцию: 28.03.2022

Принята после рецензирования: 13.05.2022

Принята к публикации: 07.06.2022

*Н. Е. Посокина: Labtech45@yandex.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-7857-6785>

В. В. Кондратенко: <https://orcid.org/0000-0002-0913-5644>

Н. И. Федянина: <https://orcid.org/0000-0002-1665-5445>

О. В. Карастоянова: <https://orcid.org/0000-0001-7247-7519>

Н. В. Коровкина: <https://orcid.org/0000-0002-4108-5835>

© В. В. Кондратенко, Н. Е. Посокина, Н. И. Федянина,
О. В. Карастоянова, Н. В. Коровкина, 2022



Аннотация.

Для увеличения сроков хранения растительных объектов широко применяется обработка ультрафиолетовым (УФ) излучением. Под его воздействием замедляются изменения показателей качества сырья, определяющих его хранимоспособность. Цель исследования заключалась в установлении качественных показателей (маркеров) шампиньонов (*Agaricus bisporus*), значимо изменяющихся под воздействием УФ-излучения.

В качестве объектов были выбраны свежие шампиньоны, помещенные в пластиковые лотки и запаянные в полимерные пакеты. Образцы грибов обрабатывали УФ-излучением в диапазонах А, В, С и хранили 16 суток в холодильной камере при температуре 4 ± 2 °С. По истечении срока хранения определяли показатели качества шампиньонов. Полученные данные проанализировали с помощью парного двухвыборочного теста с определением равенства или неравенства дисперсий в повторностях и равенства или неравенства средних при заданной вероятности ошибки (α).

Экспериментально установили лабильные к воздействию УФ-излучением различных диапазонов маркеры, характеризующие деградацию растительной ткани шампиньонов, в процессе хранения по показателям качества (текстура, влагосодержание, убыль массы, содержание растворимых сухих веществ, рН, светлота и цветное отличие). Разработали подход определения значимо изменяющихся показателей качества грибов. Установили значения расчетных вероятностей различий по каждому показателю. Определили диапазоны доз, влияющие на изменение качественных показателей грибов для каждого диапазона УФ-излучения при $\alpha = 0,05$ и $0,1$. Значимыми показателями являются: в диапазоне А от 327,8 до 800,0 Дж/м² при $\alpha = 0,05$ – все исследуемые показатели, от 219,5 до 800,0 Дж/м² при $\alpha = 0,1$ – все, кроме убыли массы; в диапазоне В от 104,6 до 200,0 Дж/м² при $\alpha = 0,05$ – рН, цветное отличие и светлота, от 172,2 до 200,0 Дж/м² при $\alpha = 0,1$ – все, кроме убыли массы и текстуры; в диапазоне С от 412,4 до 439,5 Дж/м² и от 755,9 до 800,0 Дж/м² при $\alpha = 0,05$ – рН, цветное отличие и светлота, от 363,3 до 486,2 Дж/м² и от 728,2 до 800,0 Дж/м² при $\alpha = 0,1$ – все показатели. Разработанный метод дает возможность аналитического определения диапазонов интенсивности внешнего воздействия, при которых анализируемый показатель будет значимо или не значимо изменяться.

Ключевые слова. А, В, С-диапазоны, дозы, маркеры, двухвыборочный тест, грибы, растительное сырье, свойства, хранение

Финансирование. Работа выполнена по государственному заданию Федерального исследовательского центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, тема FNEN-2019-00011.

Для цитирования: Показатели качества *Agaricus bisporus* после обработки УФ-излучением / В. В. Кондратенко [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 762–774. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2404>

Quality Indicators of *Agaricus bisporus* after Ultraviolet Treatment



Vladimir V. Kondratenko^{ORCID}, Natalia E. Posokina*^{ORCID},
Natalia I. Fedyanina^{ORCID}, Olga V. Karastoyanova^{ORCID},
Nadezhda V. Korovkina^{ORCID}

All-Russian Research Institute of Canning Technology^{ROR}, Vidnoe, Russia

Received: 28.03.2022
Revised: 13.05.2022
Accepted: 07.06.2022

*Natalia E. Posokina: Labtech45@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7857-6785>
Vladimir V. Kondratenko: <https://orcid.org/0000-0002-0913-5644>
Natalia I. Fedyanina: <https://orcid.org/0000-0002-1665-5445>
Olga V. Karastoyanova: <https://orcid.org/0000-0001-7247-7519>
Nadezhda V. Korovkina: <https://orcid.org/0000-0002-4108-5835>

© V.V. Kondratenko, N.E. Posokina, N.I. Fedyanina,
O.V. Karastoyanova, N.V. Korovkina, 2022



Abstract.

Ultraviolet treatment increases the shelf life of plant products. It inhibits the changes in the quality indicators of raw materials that are responsible for storage capacity. The research objective was to establish qualitative indicators for champignons (*Agaricus bisporus*) after ultraviolet treatment.

Fresh champignons were placed in plastic trays and sealed in plastic bags. The samples were treated with ultraviolet radiation in ranges A, B, and C. After that, they were stored in a refrigerator at $4 \pm 2^\circ\text{C}$ for 16 days, i.e., until the end of storage period. The quality indicators underwent a paired two-sample test, which defined the equality/inequality of variances in replicates and equality/inequality of means at a given error probability (α).

The obtained indicators characterized the degradation of mushroom plant tissue after ultraviolet treatment during storage: texture, moisture content, weight loss, soluble solids, pH, lightness, and color. The authors developed a new approach to determine significant changes in the quality indicators and estimated probability values. For each range, they established the most effective dose at $\alpha = 0.05$ and 0.1. All the indicators proved significant for range A samples at $327.8\text{--}800.0 \text{ J/m}^2$ and $\alpha = 0.05$; all indicators were significant except weight loss in the range from 219.5 to 800.0 J/m^2 at $\alpha = 0.1$. For range B samples, pH, color, and lightness were significant at $104.6\text{--}200.0 \text{ J/m}^2$ and $\alpha = 0.05$; all but mass loss and texture were significant at $172.2\text{--}200.0 \text{ J/m}^2$ and $\alpha = 0.1$. For range C samples, pH, color, and lightness were significant at $412.4\text{--}439.5 \text{ J/m}^2$ and $755.9\text{--}800.0 \text{ J/m}^2$ at $\alpha = 0.05$; all indicators were significant at $363.3\text{--}486.2 \text{ J/m}^2$ and $728.2\text{--}800.0 \text{ J/m}^2$ at $\alpha = 0.1$.

The new analytical method made it possible to determine the ranges of external effect intensity, in which the changes in the indicator were significant or insignificant.

Keywords. A, B, C-bands, doses, markers, two-sample test, mushrooms, plant materials, properties, storage

Funding. The research was part of state order from the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, project No. FNEN-2019-00011.

For citation: Kondratenko VV, Posokina NE, Fedyanina NI, Karastoyanova OV, Korovkina NV. Quality Indicators of *Agaricus bisporus* after Ultraviolet Treatment. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):762–774. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2404>

Введение

Существует взаимосвязь показателей качества и путей воздействия для снижения интенсивности процессов при длительном хранении объектов растительного происхождения. Поэтому необходимо выбрать наиболее лабильные показатели качества, которые с большей скоростью достигают своего

критического значения. Исследования были проведены на примере шампиньонов как объектов с небольшим сроком хранения.

Шампиньоны (*Agaricus bisporus*) являются наиболее распространенными культивируемыми грибами в мире и пользуются большой популярностью среди потребителей благодаря своим питательным

и органолептическим свойствам [1–3]. Качество шампиньонов определяется рядом факторов: цветом, текстурой, вкусом, pH, содержанием растворимых сухих веществ, влажностью, убылью массы и др. Данные факторы характеризуют хранимоспособность грибов и позволяют судить о лежкости при их хранении, транспортировке и т. п. [3–16].

Грибы являются скоропортящимся продуктом: им свойственна быстрая потеря качества сразу после сбора урожая. Это проявляется в потемнении и раскрытии шляпки, удлинении ножки, потере веса и изменении текстуры в связи с повышением интенсивности дыхания и др. [17–20]. Срок годности грибов *A. bisporus* составляет 3 суток при температуре 20–25 °С и до 8 суток в условиях охлаждения при 0–2 °С [21, 22].

В связи с этим снижение потерь от порчи и повышение микробиологической безопасности грибов является серьезной проблемой для увеличения их хранимоспособности. Одним из способов решения данной проблемы является фасовка грибов в полимерную упаковку для розничной торговли. Это обусловлено рядом преимуществ: эстетичный товарный вид, удобство выкладки и привлекательное оформление с возможностью предоставления полной информации о товаре [13, 23].

Полимерная упаковка, используемая для фасовки свежих шампиньонов, должна отвечать следующим требованиям:

- соответствовать требованиям действующих нормативных документов по санитарно-гигиеническим показателям;
- сохранять свои свойства в течение срока хранения продукции;
- быть устойчивой к воздействию низких температур и повышенной влажности, т. к. хранение продукции осуществляется в холодильных камерах;
- обладать селективной газопроницаемостью и требуемой паропроницаемостью, т. к. одним из условий сохранения продукции является создание внутри упаковки определенной газовой среды.

Для оптимизации существующих технологий и увеличения срока годности упакованной продукции применяется обработка растительного сырья физическими методами, а именно обработка ионизирующими излучениями (γ -излучение, ускоренные электроны, рентгеновское излучение), ультразвуком, ультрафиолетовым излучением и др. [2, 24–30].

Ультрафиолетовое (УФ) излучение является одним из видов электромагнитного излучения (длина волны от 100 до 400 нм). Диапазон облучения делится на типы: УФ-А (315–400 нм), УФ-В (280–315 нм), УФ-С (100–280 нм) и УФ-Ф (10–100 нм) [31]. В разных диапазонах спектра УФ-излучение имеет различную проникающую способность (максимальную в диапазоне УФ-А, наименьшую в диапазоне УФ-С).

Самым сильным бактерицидным действием обладает УФ-излучение в диапазоне С при длине волны 254 нм. Глубина проникновения составляет 35–50 мкм («6–10 слоев клеток») в зависимости от вида растительной ткани [32, 33].

Сырьё обрабатывают в упакованном виде, поэтому упаковочный материал должен быть проницаемым для ультрафиолетового излучения [34].

Факторы, связанные с реакцией растительного объекта, включают дозу облучения, скорость ее набора и условия окружающей среды во время облучения (температура, относительная влажность воздуха, состав газовой среды), а также количество жизнеспособных микроорганизмов на поверхности сырья.

Согласно литературным источникам и экспериментальным данным обработка УФ-излучением приводит к снижению потерь массы растительных объектов с сохранением их физико-химических и органолептических свойств, а также способствует активации защитных механизмов растительной клетки, которые приводят:

- к накоплению веществ с антибактериальными и антиокислительными свойствами, которые задерживают начало стадии созревания растительных объектов, позволяя предотвратить потери от порчи продукции [35];
- к синтезу полезных для здоровья соединений и трансформированию эргостерола в витамин D₂ [33, 36].

Важным моментом при обработке УФ-излучением является оптимально подобранный режим обработки: мощность дозы и время обработки в связи с проявлением термического эффекта УФ-излучения при его длительном воздействии. Отопление растительных объектов может приводить к ухудшению их органолептических свойств. Для расчета эффективной дозы УФ-излучения учитывают свойства источников излучения, их расположение относительно обрабатываемых объектов и плотность потока мощности.

В различных исследованиях описывается изменение качественных показателей шампиньонов в зависимости от обработки УФ-излучением [37–39]. Выбор исследуемых показателей является феноменологическим, т. е. основан на ранее проведенных научных исследованиях или на решении самих исследователей, поэтому такой выбор является условным. Таким образом, чтобы прийти к однозначности, необходимо выявить факторы (маркеры), являющиеся значимыми отклику грибов к физическому воздействию (ультрафиолетовому излучению). Для этого необходимо разработать унифицированный формализованный подход для их определения.

По данным литературных источников существуют работы, в которых подобраны подходы определения

химических и фито-маркеров для контроля качества растительного сырья [40–42].

Шампиньоны вида *A. bisporus* имеют отклик при обработке физическими методами, который отображается в изменении таких физиологических процессов, как интенсивность дыхания, транспирация, перевод запасующих компонентов и вовлечение их в процессы метаболизма. Это сказывается на потребительских свойствах, чувствительности к условиям хранения и продолжительности хранения. Таким образом, для установления режимов адекватной обработки необходимо контролировать отклик обрабатываемого объекта на саму обработку. Для нахождения оптимума режимов обработки необходимо выявление спектров значимых факторов (свойств), которые могут быть использованы в качестве маркеров, характеризующих деградацию растительной ткани.

Существуют разные способы определения значимых факторов. Одним из наиболее известных является метод Плакетта-Бермана, который основан на «отсеивании» незначимых факторов [43, 44]. Однако описанный метод отличается одним недостатком, поскольку основан на варьировании активных факторов внешнего воздействия, которые независимы друг от друга и их можно произвольно задавать в качестве условий эксперимента.

В данной работе стояла следующая задача: выявить лабильные факторы как свойства самого объекта. Качественные показатели грибов – факторы, связанные с самим объектом в единый комплекс, они не могут быть управляемыми (варьируемыми). Например, подбирая сырье (грибы) с определенной влажностью, нельзя задать значение других качественных показателей в значениях, необходимых для реализации метода Плакетта-Бермана. Поэтому был рассмотрен другой подход.

На основании существующей нормативной базы был принят условно действующий срок годности белых шампиньонов – 16 суток. Выбрали факторы, которые по литературным данным могут изменяться в результате целевой обработки. Провели обработку грибов различными дозами УФ-излучения в диапазонах А, В, С и заложили их на холодильное хранение вместе с необработанным контролем на 16 суток. Через 16 суток провели анализ выбранных факторов, после чего был проведен парный двухвыборочный тест с определением равенства или неравенства дисперсий в повторностях и равенства или неравенства средних при заданной вероятности ошибки [45, 46].

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали свежие плодовые тела промышленно культивируемого шампиньона двуспорового (*Agaricus bisporus*),

полученные из производственного комплекса «Дон Шампиньон» (Рязанская область). После съема они были транспортированы с сохранением температурного режима.

Предварительно отобранные охлажденные плодовые тела шампиньонов помещали в пластиковые лотки, запаиваемые в пакеты из полимерной пленки ВОРР. Характеристики пленки: толщина 40 мкм; газопроницаемость по кислороду – 1500 см³/м²/сут (справочные данные при атмосферном давлении и температуре 23 °С); паропроницаемость – 3,3 г/м²·24 ч·бар (38 °С, относительная влажность воздуха 90 %).

Образцы обрабатывали ультрафиолетовым излучением на экспериментальной бестеневой УФ-установке технологического стенда института с двумя парами УФ-ламп (мощностью 30 Вт каждая) в диапазоне С – с плотностью потока мощности 2,7×10³ Вт/м² в интервале доз от 100 до 800 Дж/м², в диапазоне А – с плотностью потока мощности 6,90×10³ Вт/м² в интервале доз от 100 до 800 Дж/м², в диапазоне В – с плотностью потока мощности 0,79×10³ Вт/м² в интервале доз от 40 до 200 Дж/м². В процессе обработки контролировали температуру внутри грибов с использованием термонарных датчиков компактного модуля E-Val Pro № 635456 (ELLAB, Дания), чтобы не допустить отепление и выпадение капельной влаги.

Упакованные и обработанные образцы помещали на хранение в холодильную камеру при температуре 4 ± 2 °С. Выемки образцов осуществляли по истечении 16 суток. Были проанализированы следующие показатели: текстура, влагосодержание, убыль массы, содержание растворимых сухих веществ, pH, светлота и цветовое отличие. Плотность потока мощности ультрафиолетового излучения во всех диапазонах контролировали комбинированным УФ-радиометром ТКА-ПКМ (ООО «Научно-техническое предприятие «ТКА», Россия). Консистенцию тканей шляпки плодовых тел в ее верхней точке вблизи вертикальной оси определяли пенетрометром цифровым плодовым FR-5120 (Тайвань). Концентрацию растворимых сухих веществ определяли по ГОСТ ISO 2173 на рефрактометре Аббе 1 ATAGO с подсветкой и дополнительной шкалой, убыль массы – гравиметрически, pH – потенциометрически по ГОСТ 26188-2016 с помощью pH-метра-иономера Эксперт-001 («Эконикс-эксперт», Россия) и комбинированного одноключевого электрода, влагосодержание – с помощью анализатора влажности Sartorius MA 35 (Германия) по ГОСТ 28561-90, цветовые характеристики – по ISO/CIE 11664-6:2014 с помощью ПО Photoshop CS5 и зеркального фотоаппарата Sony Alpha DSLR-A290.

Каждый эксперимент проводили в шестикратной повторности с отсеиванием статистически недостоверных данных.

Математическую обработку проводили с использованием оригинального программного обеспечения, прилагаемого к аналитическому оборудованию, а также специализированного программного обеспечения TableCurve 2D v.5.01 (SYSTAT Software Inc.), Wolfram Mathematica 10.4 и табличного процессора Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation) со встроенным языком программирования VBA.

Первоначально было рассмотрено изменение результатов двухвыборочного теста, где в качестве одной выборки выступал контроль при заданных условиях. Затем было отмечено уменьшение заданной вероятности ошибки (α), что способствует увеличению скорости определения неравенства средних и наоборот. В качестве интегрального анализа величины, характеризующей лабильность того или иного показателя сырья к внешнему воздействию, может выступать величина α в динамике на интервалах области определения значений, характеризующих внешнее воздействие. В качестве реперного значения принимается максимально приемлемая величина $\alpha = 0,05$ и для сравнения $\alpha = 0,1$. Расчет выполняли численным методом с использованием функции «поиск решений» табличного процессора Microsoft Excel. Двухвыборочный тест позволяет оперировать выборками как с одинаковыми, так и с различающимися дисперсиями. В связи с этим данный подход может быть адекватно использован даже с учетом выбросов статистических погрешностей.

Таким образом, для последовательности доз УФ-излучения были определены точечные (дискретные) значения минимально допустимых α . Затем для получения непрерывной картины мы аппроксимировали полученные значения в виде функции от дозы облучения $\alpha = f(D)$.

Если значение показателя α будет меньше порогового, то вероятность ошибки суждения определяет, что в данной точке для данного показателя среднее по выборкам отличается друг от друга. Следовательно, исследуемый показатель является маркерным и наоборот.

Для определения порогового значения α был рассчитан критерий приведения показателей Q :

$$Q = \frac{t_p}{t_{T(2\alpha)}} \quad (1)$$

где t_p – расчетное значение критерия t -Стьюдента; $t_{T(2\alpha)}$ – табличное значение критерия t -Стьюдента на предмет равенства средних.

Данный критерий является динамической величиной и при прочих равных условиях является функцией от α , где α – это заданная вероятность ошибки.

Для расчета критерия Q были определены средние значения показателей качества (x_0 и x_i), дисперсии по каждой паре (S_0 и S_i) и количество повторностей n_0 и

n_i для каждой дозы облучения на 16 сутки хранения соответственно.

Затем было определено расчетное значение критерия Фишера (F) в зависимости от величины дисперсии:

при $S_0 > S_i$ величина данного критерия выражается следующим образом:

$$F_p = \frac{S_0}{S_i} \quad (2)$$

при $S_0 > S_i$

$$F_p = \frac{S_i}{S_0} \quad (3)$$

Степени свободы (m) определяются в зависимости от количества повторностей и от величины дисперсии: при $S_0 > S_i$:

$$m_1 = n_0 - 1 \quad (4)$$

при $S_0 > S_i$:

$$m_1 = n_i - 1 \quad (5)$$

при $S_0 > S_i$:

$$m_2 = n_i - 1 \quad (6)$$

при $S_0 > S_i$:

$$m_2 = n_0 - 1 \quad (7)$$

Табличное значение критерия Фишера определяется с помощью встроенной функции

$$F_T = F_{(\alpha; m_1; m_2)} \quad (8)$$

если $F_p \leq F_T$, то равенство дисперсий $\left(\frac{S_0}{S_i}\right)$ случайно и наоборот.

Затем проводилось определение расчетного значения критерия t -Стьюдента в зависимости от величины критерия Фишера:

при $F_p \leq F_T$ его значение рассчитывается по формуле:

$$t_p = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_0|}{S \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_0}}} \quad (9)$$

где S – несмещенная оценка дисперсии, выраженная следующим образом:

$$S = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot S_1^2 + (n_0 - 1) \cdot S_0^2}{n_1 + n_0 - 2}} \quad (10)$$

при $F_p > F_T$ значение критерия t -Стьюдента можно рассчитать:

$$t_p = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_0|}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (11)$$

Табличное значение критерия t -Стьюдента на предмет равенства средних устанавливается в зависимости от величины критерия Фишера при $F_p \leq F_T$:

$$t_{T(\alpha)} = \begin{cases} t(\alpha; n_1 + n_0 - 2) \\ t(\alpha; z) \end{cases} \quad (12)$$

при $F_p > F_T$:

$$t_{T(2\alpha)} = \begin{cases} t(2\alpha; n_1 + n_0 - 2) \\ t(2\alpha; z) \end{cases} \quad (13)$$

где z – коэффициент корреляции при условии $\overline{x_1} > \overline{x_0}$:

$$\frac{1}{z} = \frac{c^2}{n_1 - 1} + \frac{(c-1)^2}{n_0 - 1} \quad (14)$$

где коэффициент c может быть выражен:

$$c = \frac{\frac{S_1^2}{n_1}}{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_0^2}{n_0}} \quad (15)$$

при $\overline{x_0} > \overline{x_1}$:

$$\frac{1}{z} = \frac{c^2}{n_0 - 1} + \frac{(c-1)^2}{n_1 - 1} \quad (16)$$

где коэффициент c выражается:

$$c = \frac{\frac{S_0^2}{n_0}}{\frac{S_0^2}{n_0} + \frac{S_1^2}{n_1}} \quad (17)$$

Таким образом, при расчете критерия Q в случае $t_p > t_{T(\alpha)}$ дисперсии не равны ($S_0 \neq S_1$) при заданном α ($\alpha = 0,05$). Следовательно, значения средних статистически существенно не равны $\overline{x_1} \neq \overline{x_0}$ или неравенство между ними статистически значимо, а при $t_p \leq t_{T(2\alpha)}$ разница между ними статистически не значима ($\overline{x_1} \approx \overline{x_0}$).

Величина α , при которой $Q = 1$ является пограничной, т. е. при ее дальнейшем увеличении можно будет утверждать о статистически значимом неравенстве и о наличии статистически значимого различия сравниваемых величин.

Результаты и их обсуждение

Особенностью разработанного подхода является возможность аналитического определения диапазонов интенсивности внешнего воздействия (в данном случае доз УФ-излучения), при которых анализируемый показатель (или фактор) является значимым или незначимым. На основании этого можно аргументированно принимать решение о целесообразности анализа тех или иных факторов, характеризующих обрабатываемый объект, по которым однозначно можно судить о значимом отклике.

Применяя данный подход, мы определили диапазон доз для каждого из факторов, при которых они

являются значимыми по отношению к воздействию с учетом нативной вариативности биологического материала.

Для последовательности доз УФ-излучения были определены точечные (дискретные) значения минимально допустимых вероятностей ошибок α . Для получения непрерывной картины аппроксимировали полученные значения в виде функции от дозы облучения $\alpha = f(D)$.

В результате обработки полученных данных определили расчетные вероятности ошибки для белых шампиньонов после 16 суток хранения относительно исходных значений для каждого показателя качества, определяемого в экспериментах при УФ-излучении в диапазонах А, В и С (табл. 1).

Показатель содержания растворимых сухих веществ незначительно изменяется в зависимости от дозы УФ-излучения для всех исследуемых диапазонов. Показатель влажности незначительно изменяется при обработке УФ-излучением только в диапазоне А. Такой разброс значений расчетных вероятностей ошибок связан с высокой дисперсностью качественных показателей биологически неоднородного объекта исследования.

Для получения непрерывной картины значения α по каждому качественному показателю были аппроксимированы в виде функции от дозы облучения $\alpha = f(D)$ для каждого вида излучения. Для УФ-излучения в диапазоне А, В и С динамика расчетных значений α представлена на рисунках 1–3 соответственно.

На основании полученных данных построены графики, обобщающие диапазон доз, значимо влияющих на изменение качественных показателей для каждого вида УФ-излучения при заданных вероятностях ошибок ($\alpha = 0,05$ и $0,1$). Графики приведены на рисунке 4.

Обработка белых шампиньонов УФ-излучением в диапазоне А приводит к значимому изменению

Таблица 1. Вероятности ошибки для белых шампиньонов после 16 суток хранения относительно исходных значений для каждого показателя качества

Table 1. Error probabilities for champignons on storage day 16 vs. initial values for each quality indicator

Показатель качества	α в экспериментах		
	УФ-А	УФ-В	УФ-С
Текстура	1,44E-10	6,3E-21	1,3556E-06
pH	1,05E-05	0,00102	5,96E-10
Влажность	0,072825	0,03661	0,01620108
Растворимые сухие вещества	0,412098	0,36382	0,0777033
Убыль массы	0,000546	0,00105	0,00015612
Цветовое отличие	9,13E-15	5,1E-14	1,5868E-15
Светлота	7,63E-10	0,00075	1,112E-18

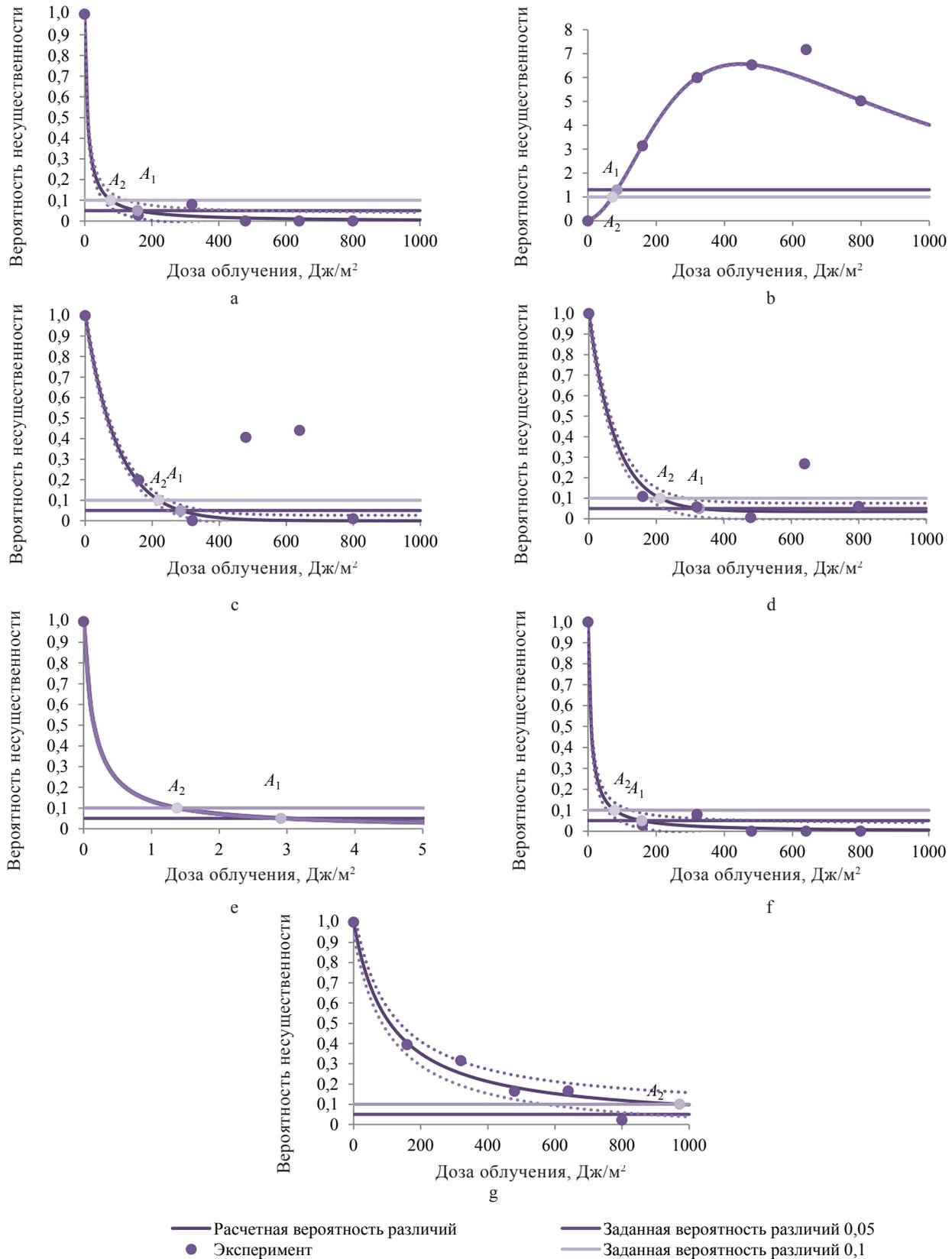


Рисунок 1. Динамика расчетных значений α при обработке белых шампиньонов УФ-излучением в диапазоне А: а – текстура; б – рН; с – влажность; д – растворимые сухие вещества; е – цветное отличие; ф – светлота; г – убыль массы

Figure 1. Calculated values α during ultraviolet treatment of champignons in range A: а – texture; б – pH; с – moisture; д – soluble solids; е – color; ф – lightness; г – weight loss

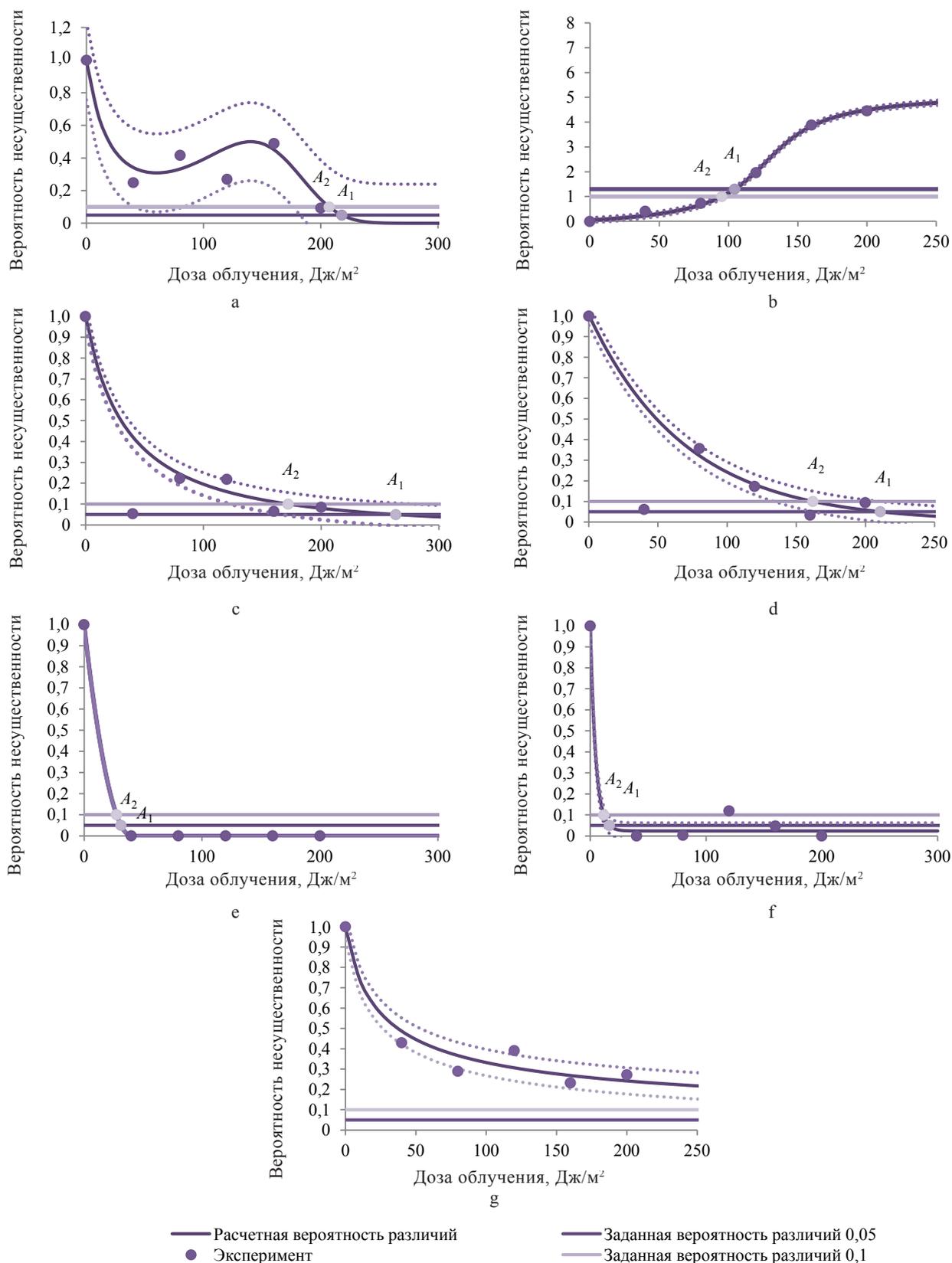


Рисунок 2. Динамика расчетных значений α при обработке белых шампиньонов УФ-излучением в диапазоне В: а – текстура; б – рН; с – влажность; д – растворимые сухие вещества; е – цветное отличие; ф – светлота; г – убыль массы

Figure 2. Calculated values α during ultraviolet treatment of champignons in range B: a – texture; б – pH; с – moisture; д – soluble solids; е – color; ф – lightness; г – weight loss

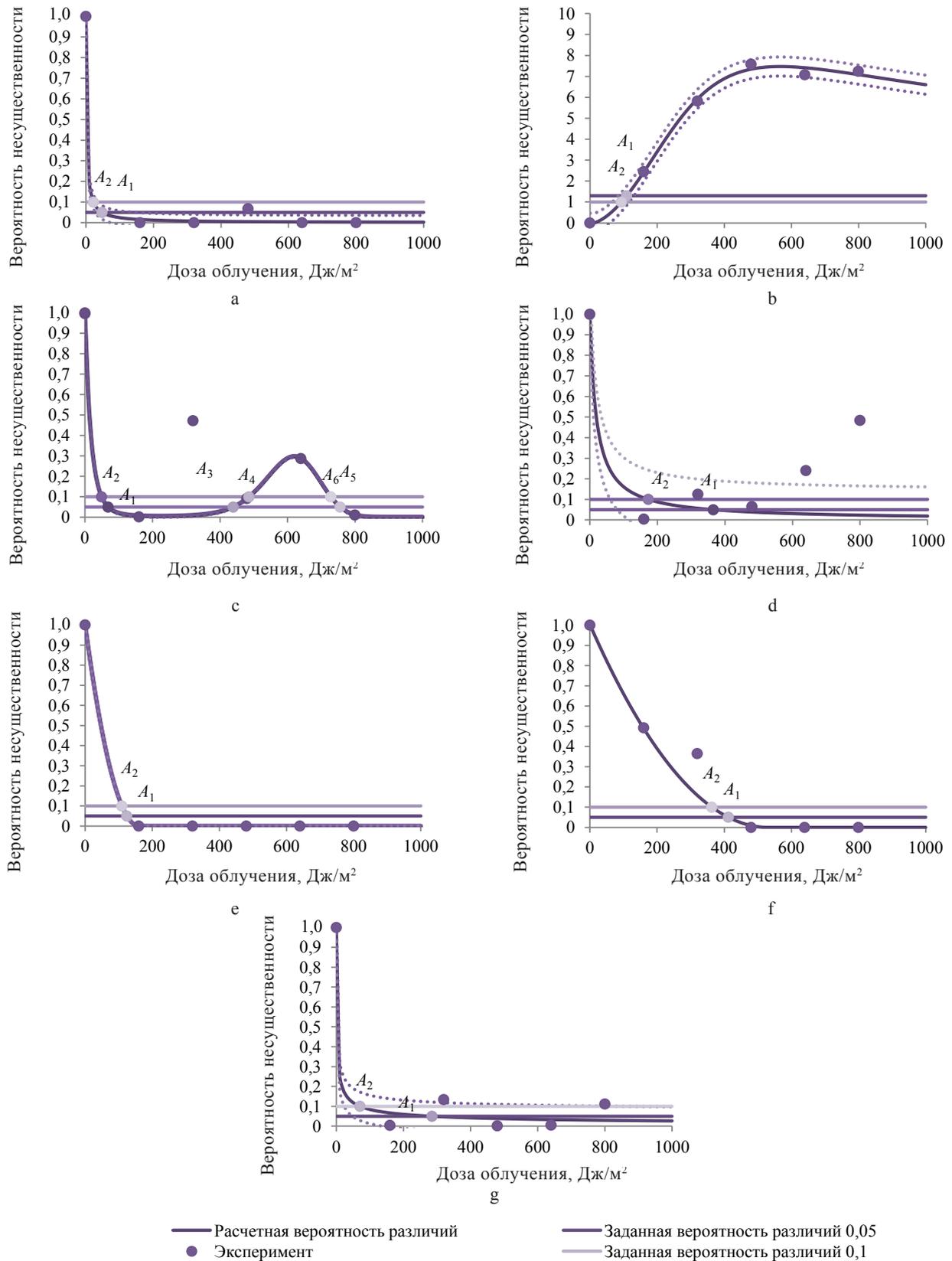


Рисунок 3. Динамика расчетных значений α при обработке белых шампиньонов УФ-излучением в диапазоне С: а – текстура; б – рН; с – влажность; д – растворимые сухие вещества; е – цветное отличие; ф – светлота; г – убыль массы

Figure 3. Calculated values α during ultraviolet treatment of champignons in range C: a – texture; b – pH; c – moisture; d – soluble solids; e – color; f – lightness; g – weight loss

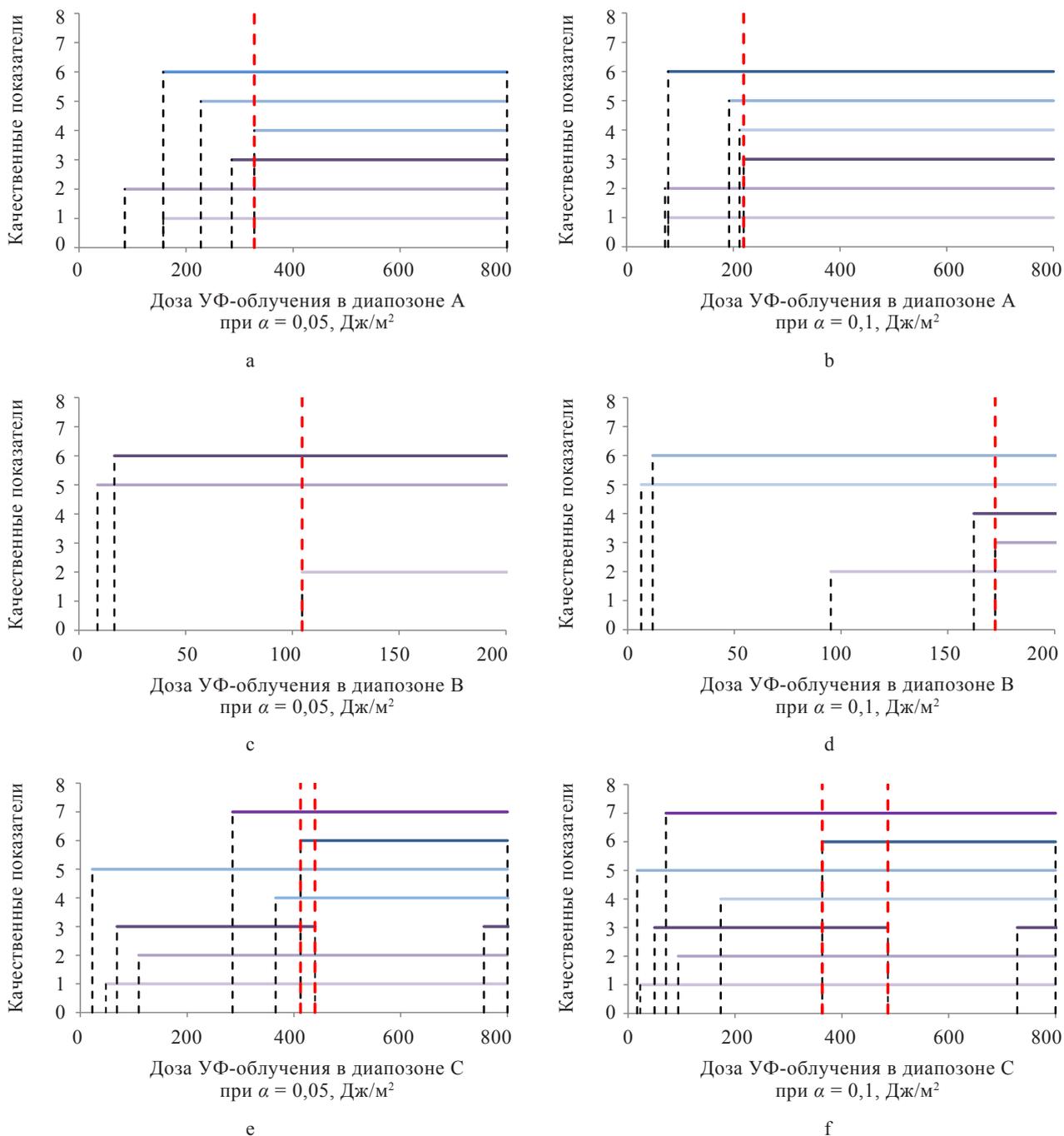


Рисунок 4. Диапазоны доз, значимо влияющих на изменение качественных показателей белых шампиньонов в результате обработки УФ-излучением при заданных значениях вероятности ошибки: а – текстура; б – рН; с – влажность; д – растворимые сухие вещества; е – цветное отличие; ф – светлота

Figure 4. Dose ranges that change the quality indicators of champignons after ultraviolet treatment at different error probability values: а – texture; б – pH; с – moisture; д – soluble solids; е – color; ф – lightness

всех исследуемых показателей, кроме убыли массы, при $\alpha = 0,05$ и $0,1$; в диапазоне В – к значимому изменению показателей рН, цветового отличия и светлоты при $\alpha = 0,05$, при $\alpha = 0,1$ к таким показателям относятся все, кроме текстуры и убыли массы; в диапазоне

С – к значимому изменению всех исследуемых показателей.

Определен диапазон доз, значимо влияющих на изменение исследуемых качественных показателей белых шампиньонов для каждого вида УФ-излучения (табл. 2).

Таблица 2. Диапазоны доз, значимо влияющих на изменение исследуемых качественных показателей белых шампиньонов

Table 2. Dose ranges that change the quality indicators of champignons

Вид излучения	А	Границы диапазона доз, Дж/м ²	
		от	до
УФ-А	0,05	327,8	800,0
	0,10	219,5	800,0
УФ-В	0,05	104,6	200,0
	0,10	172,2	200,0
УФ-С	0,05	412,4	439,5
		755,9	800,0
	0,10	363,3	486,2
		728,2	800,0

Обработка УФ-излучением в диапазоне В из-за малого значения плотности потока мощности ($0,79 \times 10^3$ Вт/м²) осуществляется за более продолжительный временной промежуток. Обработка большими дозами (более длительная экспозиция) приводит к отоплению сырья более чем на 2 °С. Это приведет к нарушению температурного режима хранения. Таким образом, обработка белых шампиньонов УФ-излучением в диапазоне В является нецелесообразной.

Выводы

В результате исследования был разработан эффективный подход к определению значимо изме-

няющихся показателей качества растительных объектов на примере белых шампиньонов *Agaricus bisporus*.

Были определены значимо изменяющиеся показатели качества свежих белых шампиньонов, прошедших обработку УФ-излучением, после 16 суток хранения при температуре 4 °С относительно необработанного контроля.

При использовании данного подхода определен диапазон доз для каждого из исследуемых показателей качества шампиньонов, при котором целевые показатели являются маркерными по отношению к применяемому виду УФ-обработки.

Критерии авторства

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с публикацией данной статьи.

Contribution

All the authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for information published in this article.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

- Blumfield M, Abbott K, Duve E, Cassettari T, Marshall S, Fayet-Moore F. Examining the health effects and bioactive components in *Agaricus bisporus* mushrooms: A scoping review. Journal of Nutritional Biochemistry 2020;84. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108453>
- Yan M, Yuan B, Xie Y, Cheng S, Huang H, Zhang W, et al. Improvement of postharvest quality, enzymes activity and polyphenoloxidase structure of postharvest *Agaricus bisporus* in response to high voltage electric field. Postharvest Biology and Technology 2020;166. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111230>
- Djekic I, Vunduk J, Tomašević I, Kozarski M, Petrovic P, Niksic M, et al. Application of quality function deployment on shelf-life analysis of *Agaricus bisporus* Portobello. LWT. 2017;78:82–89. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.036>
- Fedyanina NI, Karastoyanova OV, Korovkina NV. Methods for determining color characteristics of vegetable raw materials. A review. Food Systems. 2021;4(4):230–238. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-4-230-238>
- Nasiri M, Barzegar M, Sahari MA, Niakousari M. Efficiency of Tragacanth gum coating enriched with two different essential oils for deceleration of enzymatic browning and senescence of button mushroom (*Agaricus bisporus*). Food Science and Nutrition. 2019;7(4):1520–1528. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1000>
- Huang Q, Qian X, Jiang T, Zheng X. Effect of chitosan and guar gum based composite edible coating on quality of mushroom (*Lentinus edodes*) during postharvest storage. Scientia Horticulturae. 2019;253:382–389. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.062>
- Djekic I, Vunduk J, Tomašević I, Kozarski M, Petrovic P, Niksic M, et al. Total quality index of *Agaricus bisporus* mushrooms packed in modified atmosphere. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2016;97(9):3013–3021. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8142>
- Lin X, Sun D-W. Research advances in browning of button mushroom (*Agaricus bisporus*): Affecting factors and controlling methods. Trends in Food Science and Technology. 2019;90:63–75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.007>

9. Tarafdar A, Shahi NC, Singh A. Color assessment of freeze-dried mushrooms using Photoshop and optimization with genetic algorithm. *Journal of Food Process Engineering*. 2018;43(1). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12920>
10. Nakilcioğlu-Taş E, Ötleş S. Kinetics of colour and texture changes of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) coated with chitosan during storage at low temperature. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*. 2020;92(2):1–15. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020181387>
11. Song Y, Hu Q, Wu Y, Pei F, Kimatu BM, Su A, *et al.* Storage time assessment and shelf-life prediction models for postharvest *Agaricus bisporus*. *LWT*. 2018;101:360–365. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.020>
12. Khan ZU, Aisikaer G, Khan RU, Bu J, Jiang Z, Ni Z, *et al.* Effects of composite chemical pretreatment on maintaining quality in button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*. 2014;95:36–41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.04.001>
13. Salamat R, Ghassemzadeh HR, Ranjbar F, Jalali A, Mahajan P, Herppich WB, *et al.* The effect of additional packaging barrier, air moment and cooling rate on quality parameters of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food Packaging and Shelf Life*. 2020;23. <https://doi.org/10.1016/j.foodpack.2019.100448>
14. Lu Y, Zhang J, Wang X, Lin Q, Liu W, Xie X, *et al.* Effects of UV-C irradiation on the physiological and antioxidant responses of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during storage. *International Journal of Food Science Technology*. 2016;51(6):1502–1508. <https://doi.org/10.1111/ijfst.13100>
15. Zhang K, Pu Y-Y, Sun D-W. Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review. *Trends in Food Science Technology*. 2018;78:72–82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.012>
16. Yan J, Ban Z, Luo Z, Yu L, Wu Q, Li D, *et al.* Variation in cell membrane integrity and enzyme activity of the button mushroom (*Agaricus bisporus*) during storage and transportation. *Journal of Food Science and Technology*. 2020;58(5):1655–1662. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04674-1>
17. Diamantopoulou PA, Philippoussis AN. Cultivated mushrooms: Preservation and processing. In: Hui YH, Özgül Evranuz E, editors. *Handbook of vegetable preservation and processing*. CRC Press; 2015. pp. 495–525. <https://doi.org/10.1201/b19252-26>
18. Jiang T. Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*. 2013;76:91–97. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.005>
19. Xu Y, Tian Y, Ma R, Liu Q, Zhang J. Effect of plasma activated water on the postharvest quality of button mushrooms, *Agaricus bisporus*. *Food Chemistry*. 2016;197:436–444. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.144>
20. Saniewski M, Falandysz J, Zalewska T. ¹³⁷Cs and ⁴⁰K activity concentrations in edible wild mushrooms from China regions during the 2014–2016 period. *Foods and Raw Materials*. 2022;10(1):86–96. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-86-96>
21. Ding Y, Zhu Z, Zhao J, Nie Y, Zhang Y, Sheng J, *et al.* Effects of postharvest brassinolide treatment on the metabolism of white button mushroom (*Agaricus bisporus*) in relation to development of browning during storage. *Food and Bioprocess Technology*. 2016;9(8):1327–1334. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1722-1>
22. Gao M, Feng L, Jiang T. Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. *Food Chemistry*. 2014;149:107–113. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.073>
23. Taghizadeh M, Gowen A, Ward P, O'Donnell CP. Use of hyperspectral imaging for evaluation of the shelf-life of fresh white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored in different packaging films. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2010;11(3):423–431. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.01.016>
24. Fernandes A, Barreira JCM, Günaydi T, Alkan H, Antonio AL, Oliveira MBPP, *et al.* Effect of gamma irradiation and extended storage on selected chemical constituents and antioxidant activities of sliced mushroom. *Food Control*. 2017;72:328–337. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.044>
25. Joshi B, Moreira RG, Omac B, Castell-Perez ME. A process to decontaminate sliced fresh cucumber (*Cucumis sativus*) using electron beam irradiation. *LWT*. 2018;91:95–101. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.01.034>
26. Alonso M, Palou L, Ángel del Río M, Jacas J-A. Effect of X-ray irradiation on fruit quality of clementine mandarin cv. “Clemenules”. *Radiation Physics and Chemistry*. 2007;76(10):1631–1635. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2006.11.015>
27. Dellarosa N, Frontuto D, Laghi L, Dalla Rosa M, Lyng JG. The impact of pulsed electric fields and ultrasound on water distribution and loss in mushrooms stalks. *Food Chemistry*. 2017;236:94–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.105>
28. Bredihin SA, Andreev VN, Martekha AN, Schenzle MG, Korotkiy IA. Erosion potential of ultrasonic food processing. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(2):335–344. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-335-344>
29. Lagnika C, Zhang M, Nsor-Atindana J, Bashari M. Effects of ultrasound and chemical treatments on white mushroom (*Agaricus bisporus*) prior to modified atmosphere packaging in extending shelf-life. *Journal of Food Science and Technology*. 2012;51(12):3749–3757. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0904-8>
30. Xiao K, Liu Q, Wang L, Zhang B, Zhang W, Yang W, *et al.* Prediction of soluble solid content of *Agaricus bisporus* during ultrasound-assisted osmotic dehydration based on hyperspectral imaging. *LWT*. 2020;122. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109030>

31. Riazantseva KA, Sherstneva NE. Traditional and Innovative uses of ultraviolet treatment in the dairy industry. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):390–406. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2372>
32. Lei J, Li B, Zhang N, Yan R, Guan W, Brennan CS, et al. Effects of UV-C treatment on browning and the expression of polyphenol oxidase (PPO) genes in different tissues of *Agaricus bisporus* during cold storage. Postharvest Biology and Technology. 2018;139:99–105. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.022>
33. Kalaras MD, Beelman RB, Elias RJ. Effects of postharvest pulsed UV light treatment of white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) on vitamin D₂ content and quality attributes. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011;60(1):220–225. <https://doi.org/10.1021/jf203825e>
34. Shishkina NS, Karastoyanova OV, Korovkina NV, Fedyanina NI. Complex technology for storing plant products using UV radiation. Vsyo o Myase. 2020;(5S):407–411. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-407-411>
35. Wu X, Guan W, Yan R, Lei J, Xu L, Wang Z. Effects of UV-C on antioxidant activity, total phenolics and main phenolic compounds of the melanin biosynthesis pathway in different tissues of button mushroom. Postharvest Biology and Technology. 2016;118:51–58. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.03.017>
36. Ko JA, Lee BH, Lee JS, Park HJ. Effect of UV-B exposure on the concentration of vitamin D₂ in sliced shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) and white button mushroom (*Agaricus bisporus*). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008;56(10):3671–3674. <https://doi.org/10.1021/jf073398s>
37. Kondratenko VV, Fedyanina NI, Karastoyanova OV. Change of the fresh mushroom texture in the process of refrigerated storage after processing with UV radiation. Izvestiya Vuzov. Food Technology. 2020;377–378(5–6):89–93. (In Russ.). <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.5-6.21>
38. Fedyanina NI, Karastoyanova OV, Korovkina NV. Study of the dynamics of the qualitative indicator of champignons during storage after treatment with UV radiation in the a range. Food Industry. 2021;(9):56–57. (In Russ.). <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.9.9.024>
39. Guan W, Fan X, Yan R. Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, microbial loads, and quality of button mushrooms. Postharvest Biology and Technology. 2012;64(1):119–125. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.05.017>
40. Liu C, Cheng Y, Guo D, Zhang T, Li Y, Hou W, et al. A new concept on quality marker for quality assessment and process control of Chinese medicines. Chinese Herbal Medicines. 2017;9(1):3–13. [https://doi.org/10.1016/s1674-6384\(17\)60070-4](https://doi.org/10.1016/s1674-6384(17)60070-4)
41. Rivera-Mondragón A, Ortíz OO, Bijttebier S, Vlietinck A, Apers S, Pieters L, et al. Selection of chemical markers for the quality control of medicinal plants of the genus *Cecropia*. Pharmaceutical Biology. 2017;55(1):1500–1512. <https://doi.org/10.1080/13880209.2017.1307421>
42. Zhang X, Zhang S, Gao B, Qian Z, Liu J, Wu S, et al. Identification and quantitative analysis of phenolic glycosides with antioxidant activity in methanolic extract of *Dendrobium catenatum* flowers and selection of quality control herb-markers. Food Research International. 2019;123:732–745. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.05.040>
43. Ma L, Chen H, Liu F, Qi J, Pei J, Qian H. Application of Plackett-Burman design in screening casein and prebiotics for the production of ace inhibitory peptides from cow milk fermented by *L. bulgaricus* LB6. Food Technology. 2019;XXIII(2):93–100.
44. Valmorida JS, Castillo-Israel KAT. Application of Plackett-Burman experimental design in the development of muffin using adlay flour. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018;102(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/102/1/012081>
45. Bartolucci AA, Singh KP, Bae S. Robustness and ruggedness. In: Bartolucci AA, Singh KP, Bae S, editors. Introduction to statistical analysis of laboratory data. John Wiley & Sons; 2015. pp. 213–234. <https://doi.org/10.1002/9781118736890.ch8>
46. Fetisov EA, Semipyatnyy VK, Petrov AN, Galstyan AG. Planning and analysis of the results of technological experiments. Moscow: Stalingrad; 2015. 98 p. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>
<https://elibrary.ru/DSBTLC>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект



Е. А. Молибога*^{ORCID}, Е. В. Сухостав^{ORCID},
О. А. Козлова^{ORCID}, А. В. Зинич^{ORCID}

Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина^{ORCID}, Омск, Россия

Поступила в редакцию: 23.06.2022
Принята после рецензирования: 30.08.2022
Принята к публикации: 06.09.2022

*Е. А. Молибога: ea.moliboga@omgau.org,
<https://orcid.org/0000-0001-7226-5962>
Е. В. Сухостав: <https://orcid.org/0000-0002-7559-9914>
О. А. Козлова: <https://orcid.org/0000-0002-5422-219X>
А. В. Зинич: <https://orcid.org/0000-0003-2265-5633>

© Е. А. Молибога, Е. В. Сухостав, О. А. Козлова,
А. В. Зинич, 2022



Аннотация.

Развитие маркетинговых технологий и трансформирующаяся модель поведения потребителей оказывают влияние на современный рынок продуктов питания. Большое внимание уделяется качеству и составу продуктов питания, а также наличию у них функциональных свойств. Целью данной работы являлся анализ международного и российского рынка функционального питания с определением потребительского спроса на новые виды специализированной продукции. Объектом исследования являлся потребительский спрос на рынке функциональных продуктов питания. Основные методы: сравнение, группировка и систематизация данных. Анализ строился на материалах российских и зарубежных исследований с 2018 по 2022 гг. Также рассматривались национальный проект РФ «Демография», проект «Здоровое питание» и Стратегия повышения качества пищевой продукции до 2030 г. Основными базами данных, используемыми при поиске научной литературы, явились eLibrary, Scopus, Киберленинка и Библиотека РФФИ.

Анализ показал, что ключевыми факторами развития рынка функционального питания являются стремление населения к заботе о здоровье и поддержанию иммунной системы. Особенно на это повлияла пандемия COVID-19. Основными трендами современного рынка продуктов питания являются приоритет «здоровых» продуктов, увеличение белковой составляющей в рационе питания и сокращение потребления сахара. Лидерами указанного рынка выступают Япония и США. Эксперты прогнозируют общий мировой рост рынка функционального питания. В России это поддерживается решениями на государственном уровне.

Анализ тенденций в области функционального питания подтверждает мнение о том, что в ближайшее время этот рынок станет наиболее перспективным и конкурентоспособным во всем мире. Потребительский спрос на данную продукцию растет, что подтверждается исследованиями российских и зарубежных компаний. Объем спроса в мире на продукцию функционального питания к 2027 г. составит около 17 трлн руб. Понимая роль исследований в данной сфере для укрепления процессов импортозамещения, учеными Омского аграрного университета ведется активная научная и практическая работа с целью повышения конкурентоспособности отечественной пищевой промышленности на мировом рынке и активного продвижения продукции функционального питания.

Ключевые слова. Пищевые продукты, здоровое питание, потребители, спрос, рынок, импортозамещение

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (РНФ)^{ORCID}, № 22-26-20108, <https://rscf.ru/project/22-26-20108>

Для цитирования: Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект / Е. А. Молибога [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 775–786. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>

Functional Food Market Analysis: Russian and International Aspects



Elena A. Moliboga*^{ORCID}, Elizaveta V. Sukhostav^{ORCID},
Oksana A. Kozlova^{ORCID}, Alla V. Zinich^{ORCID}

P.A. Stolypin Omsk State Agrarian University^{ORCID}, Omsk, Russia

Received: 23.06.2022
Revised: 30.08.2022
Accepted: 06.09.2022

*Elena A. Moliboga: ea.moliboga@omgau.org,
<https://orcid.org/0000-0001-7226-5962>
Elizaveta V. Sukhostav: <https://orcid.org/0000-0002-7559-9914>
Oksana A. Kozlova: <https://orcid.org/0000-0002-5422-219X>
Alla V. Zinich: <https://orcid.org/0000-0003-2265-5633>

© E.A. Moliboga, E.V. Sukhostav, O.A. Kozlova, A.V. Zinich, 2022



Abstract.

The modern food market is undergoing a period of rapid development following the changes in marketing technologies and consumer behavior patterns. Nowadays, people pay more attention to the quality and composition of food products, as well as their functional properties. The present article reviews the international and Russian market of functional foods in order to define the consumer demand for new specialized products.

The methods included data comparison, grouping, and systematization. The analysis involved Russian and foreign papers published in 2018–2022 and registered in Scopus, eLibrary, Cyberleninka, and the Library of the Russian Foundation for Basic Research. It also covered the National Demography Project, the Healthy Nutrition Project, and the Strategy for Improving the Quality of Food Products through 2030.

Consumers' growing interest in improving their health and immune system proved to be the key factor in the functional food market. The COVID-19 pandemic intensified such trends as the priority of healthy, high-protein, and low-sugar foods. Japan and the USA are the current leaders on this market. Russia supports healthy food policy at the state level.

The functional food market is likely to become the most promising and competitive sector of global food economy. Consumer demand for these products is steadily growing: the volume of demand for functional food products will reach 17 trillion rubles by 2027. However, Russian food science needs more research in this area to catalyze import substitution. The Omsk Agrarian University has numerous projects that are meant to increase the competitiveness of the domestic functional food industry.

Keywords. Food products, healthy eating, consumers, demand, market, import substitution

Funding. The research was funded by the Russian Science Foundation grant (RSF)^{ORCID}, grant No. 22-26-20108, <https://rscf.ru/project/22-26-20108>

For citation: Moliboga EA, Sukhostav EV, Kozlova OA, Zinich AV. Functional Food Market Analysis: Russian and International Aspects. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):775–786. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>

Введение

Развитие технологий на рынке пищевой продукции как системы противостояния технологическим вызовам, с которыми будет сталкиваться человечество в ближайшие двадцать лет, осуществляется на базе платформы FoodNet – национальной стратегической инициативы.

В результате проведенных исследований и регулярных форсайт-сессий установлено, что рынок пищевой продукции будет развиваться не только в условиях увеличения численности населения, но и

с учетом изменений образ жизни и культуры потребления людей, следствием чего станет рост числа различных заболеваний [1, 2]. Ученые отмечают смещение тренда структуры заболеваемости населения в сторону роста распространенности социально значимых неинфекционных заболеваний, связанных с нарушениями питания и обмена веществ, т. е. избыточная масса тела и ожирение у детей и взрослых. В результате этого увеличивается количество исследований по оценке роли в питании человека ряда пищевых и биологически активных веществ

и взаимосвязи питания и здоровья [3, 4]. Речь идет о растущем интересе к продуктам функционального назначения, снижающим риск заболеваний, которые связаны с питанием и образом жизни.

Вопросы повышения качества и ценности продуктов питания, приносящих пользу организму человека, волнуют население на протяжении многих десятилетий: от «Зеленой революции», начавшейся в 40-х годах прошлого века с созданием новых технологий в сельском хозяйстве, и до сегодняшней пандемии COVID-19, ставшей отправной точкой новой волны интереса к теме здоровья и здорового питания.

Функциональные продукты питания представляют собой отдельный блок продуктов с обогащенным или улучшенным составом, которые приносят пользу здоровью человека через систему питания на регулярной основе. В мире, где основными диетическими лозунгами становятся «low-fat» и «sugar free», население все больше внимания уделяет составу и свойствам потребляемой им продукции, особенно в условиях «быстрой жизни», для которой характерна замена полноценного приема пищи частыми перекусами [5]. Усиливающиеся тенденции урбанизации, изменение образа жизни людей и большая осведомленность о полезных свойствах функционального питания будут стимулировать рост рынка функциональных продуктов питания в ближайшие годы. По оценкам DISCOVERY Research Group, объем российского рынка продуктов здорового питания к 2023 г. достигнет отметки 1 трлн руб., в то время как мировой рынок будет расти еще большими темпами и к 2027 г. достигнет 17 трлн руб. [6].

Большую роль в развитии мирового рынка здорового питания играют цифровые технологии: начиная от широкого применения средств автоматизации управления интеллектуальной собственностью и заканчивая цифровыми системами управления производством продуктов питания и сырьевой сферы [7–9]. Реалии современного мира показали, что любое предприятие на рынке должно быть гибким, т. е. способным переключаться от больших объемов поставок на партии меньшего количества, вплоть до индивидуальных заказов. Риски подобных изменений производственных процессов можно минимизировать, сосредоточив свои усилия на цифровизации и «Индустрии 4.0».

В этой связи актуален комплекс мер по профилактике нарушений баланса функционирования организма человека и использованию специализированных функциональных продуктов. Это имеет чрезвычайно важное социально-экономическое значение как для отдельного человека, так и для всей системы экономических отношений.

Целью данной работы являлся анализ международного и российского рынка функционального питания с определением потребительского спроса на новые виды специализированной продукции.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступил потребительский спрос на зарубежном и отечественном рынке функциональных продуктов питания, который позволит сформировать новые категории продуктов здорового питания.

Для достижения цели исследования использовали комплекс взаимодополняющих методов: сравнения, группировки, сопоставления и систематизации данных на основе вторичных данных.

Методологической основой послужили фундаментальные труды и прикладные исследования отечественных и зарубежных специалистов в области развития рынка функционального питания, среди которых можно отметить А. Н. Мартинчик, Ж. Б. Мусатова, Ю. С. Бойцова, А. Ю. Попова, В. А. Тутельяна, Д. Б. Никитюк, И. В. Сандракова, M. Shimizu, A. Kanagasundram, R. M. John, W. G. Stevenson и др.

Исследования проведены на основе кабинетного метода с использованием данных открытых источников и собственных разработок с фокусировкой на таком виде исследования, как разведочное исследование (экспресс-экспертиза). Оно направлено на изучение общей структуры рынка, проведение первичного анализа ситуации и тенденций и определение целевых сегментов потребителей. Вторичное исследование включает в себя повторный анализ, интерпретацию или пересмотр ранее собранных данных, а также экспертные мнения в открытом доступе относительно разных ракурсов решения проблемы.

Данный тип исследования оптимален при проведении сравнительного анализа международных рынков. Были проанализированы тенденции развития рынка продуктов здорового питания в России и мире (с выделением особенностей европейского, азиатского и американского рынков), а также оценено понимание потребителями его категорий. В работе представлен опыт российских исследователей в сфере разработки, пропаганды и развития идей здорового питания.

Рабочей гипотезой исследования является предположение о том, что у потребителей во всем мире из-за изменяющихся факторов внешней среды, последствий пандемии COVID-19 и ухудшения экологической ситуации растет интерес к продуктам функционального питания. Однако потребительский спрос не является равномерным на международном рынке. Развитые страны ориентируют потребителей на включение в свой рацион питания функциональных продуктов разных ассортиментных групп.

Авторы руководствовались следующими вопросами при анализе ситуации на рынке: – какие факторы формируют спрос на продукты здорового питания?

- какие основные тенденции в изменении системы здорового питания можно выделить с учетом современных инновационных разработок?
- оказывают ли влияние разработанная государственная политика и принятые законодательные инициативы на формирование потребительского спроса?
- какие барьеры или сдерживающие факторы не позволяют увеличивать потребительский спрос на продукты функционального питания?
- какие специфичные особенности потребления продуктов здорового питания имеются в разных странах?
- какие требования предъявляют к продуктам здорового питания потребители (высокое содержание белка, низкое содержание сахара и жира, без глютена и т. д.)?
- прогнозируется ли увеличение спроса на продукты здорового питания и какой категории?

Данные вопросы позволяют обеспечить комплексный подход к изучению проблем формирования рынков функционального питания как в России, так и за рубежом, а также обозначить направления дальнейших исследований.

Информационную базу составили внешние вторичные данные, которые представлены в материалах российских и зарубежных аналитических центров, результаты исследований, освещенные в отраслевых отчетах международных исследовательских и консалтинговых компаний, таких как NielsenIQ, KPMG, Deloitte, Euromonitor International, GfK Roper Consulting, Discovery research group, Mintel и др., отчеты государственных

служб и органов, нормативно-правовые документы. В обзор были включены материалы исследований за последние 5 лет, в том числе на английском языке. Дополнительно в работе рассматривались национальные проекты РФ «Демография», проект Роспотребнадзора «Здоровое питание» и Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г.

Результаты и их обсуждение

Пространство розничной торговли все чаще наполняется товарами, имеющими на упаковке словосочетания «органические продукты», «безглютеновое питание», «вегетарианство», «веганство» и «детокс-продукты». Тенденция на «натуральность» прослеживается в фирменном стиле брендов пищевой промышленности и в интерьере заведений общественного питания и специализированных розничных магазинов. По данным национального проекта «Демография», можно выделить следующие тренды рынка продуктов питания:

1. Акцент на продукты питания, способствующие поддержанию сил и иммунитета организма человека. По данным аналитического центра «НАФИ» (рис. 1), около половины россиян обращают внимание на состав и качество приобретаемых продуктов, отдавая предпочтение натуральному составу и местному производителю. Однако тенденцию на «эко», «био» и «органическую» продукцию поддерживает лишь каждый седьмой покупатель.

2. Рост потребления продуктов с содержанием белка. Во всем мире отмечается устойчивая тенденция к увеличению доли растительного белка в



Рисунок 1. Факторы, оказывающие влияние на выбор продуктов питания, % от всех опрошенных

Figure 1. Factors that affect food choice, % respondents

рационе, в то время как животный белок употребляется все реже [10]. В большинстве регионов России наблюдается дефицит белков в рационе питания (рис. 2), тогда как углеводная составляющая превышает норму (по данным проекта Роспотребнадзора «Здоровое питание») [11].

3. Минимизация потребления или отказ от продуктов с высоким содержанием сахара. Потребители все больше обращают внимание на состав продукта, а производители стремятся снизить уровень «плохих» питательных веществ, одним из которых является сахар.

В 2019 г. компания «Euromonitor International» провела исследование потребителей, придерживающихся правильного питания. Одним из наиболее популярных ответов было: «Я пытаюсь ограничить потребление сахара», что говорит о важности данного направления. Представители розничной торговли видят перспективу своего роста через привлечение производителей натуральных продуктов на свое полочное пространство: каждый второй ритейлер (48 %) сосредоточен на развитии категории здорового питания [12].

Компания «Deloitte» отмечает, что сегодня, наряду с такими характеристиками товара на рынке, как цена и качество, все большую роль начинают играть ассоциации на тему «здоровье и здоровый образ жизни». Потребитель стремится к повышению собственной осведомленности в вопросе «что именно я потребляю в пищу», что отражается на стиле жизни.

В связи с этим целесообразно рассмотреть тенденции международного развития рынка продуктов питания.

Европейский рынок. Большинство жителей европейских стран стремится к минимизации потребления сахара, что отражено в исследовании потребителей компанией «New Nutrition Business». По мнению эксперта по продуктам питания и напиткам New Nutrition Business, «Сахар сейчас занимает место диетического демона, место которое ранее жир занимал 20 лет назад». На европейском рынке широко представлены продукты в категории «закуски», «сокосодержащие напитки», «кондитерские изделия» и «жевательные резинки», в которых минимизировано или полностью отсутствует добавление сахара [13].

Около 50 % потребителей Германии разделяют позицию, согласно которой основополагающим фактором при принятии решения о покупке продуктов питания является низкий уровень содержания сахара. Представители рынка Великобритании, составляющие 51 % потребителей, отмечают наличие на полках магазинов продуктов, имеющих в своем составе высокий уровень сахара природного происхождения, но промаркированных «без сахара», что вводит в заблуждение и не располагает к покупке. Помимо этого, на рынке Великобритании эксперты фиксируют снижение продаж на 10 % в год в категории фруктовых йогуртов также по причине содержания сахара. К 2022 г. общественное здравоохранение Англии и Ирландии планирует сокращение потребления сахара на 20 % (до базового уровня 2015 г.).

Азиатский рынок. До определенного времени можно было констатировать, что рынок здорового питания в Китае растет медленнее, чем в ведущих странах. Китайцы не предьявляли высокого интереса

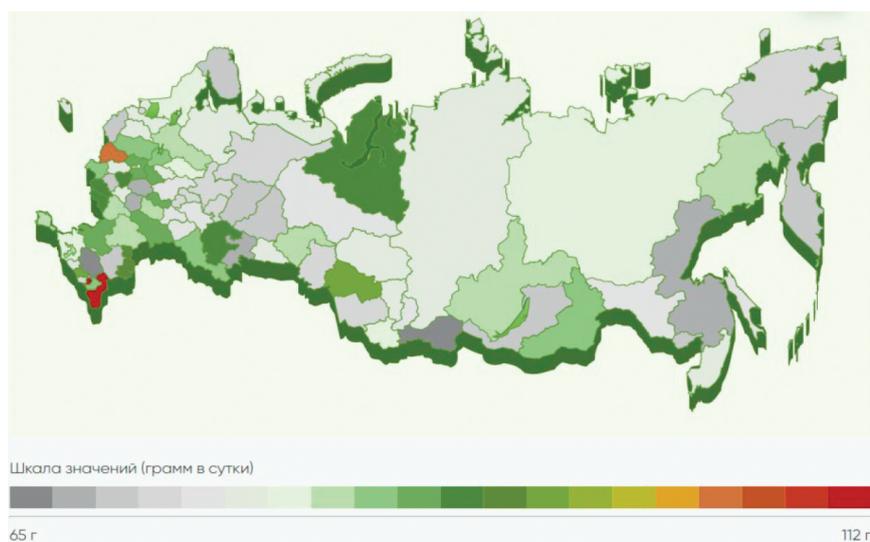


Рисунок 2. Среднее потребление белков на человека в сутки в регионах России

Figure 2. Average daily protein intake per person in Russian regions

к продуктам здоровой пищи и не стремились к минимизации жиров, сахара или других составляющих продуктов питания. Сегодня эксперты говорят о растущей популярности здорового образа жизни в Китае, что ведет к внимательному отношению потребителей к качеству продукции и к росту спроса на натуральные и свежие продукты [14].

Центром сосредоточения информации о здоровом питании в Китае является Шанхай. Благодаря обширной информационной политике региона растет уровень осведомленности потребителей и степень доверия, что приводит к соответствующему росту потребления здоровой пищи среди жителей [15]. Основными потребителями здорового питания в Китае выступают два сегмента: молодежь поколения Z и Y и женщины, работающие в офисе.

Обращая внимание на численность населения Китая, которая составляет 1300 млн человек, и на заинтересованность руководящих органов страны в повышении интереса граждан к здоровому питанию, следует отметить, что Китай представляет собой крупный рынок для реализации импорта продуктов здорового питания из других стран. Это открывает широкие возможности для иностранных производителей в данном направлении.

Япония занимает с давних времен лидирующие позиции по вопросам принятия системы продуктов здорового питания, обогащенных полезными элементами. Здесь сочетаются политика государства и местных производителей и желание потребителей обеспечивать организм полезной пищей.

Американский рынок. Вопросы положительных изменений в жизни общества через реализацию программ здорового питания, а именно снижение содержания сахара в продуктах ежедневного рациона, актуальны для американского рынка.

В исследовании А. Kanagasundram и др. выяснено, что сокращение содержания сахара на 20 % в готовых продуктах и на 40 % в напитках может предотвратить 2,48 млн случаев сердечно-сосудистых заболеваний, 490 тыс. смертей от этих заболеваний и 750 тыс. случаев диабета в США для одного поколения [16]. Помимо улучшения жизни отдельного гражданина, снижение уровня потребления сахара будет иметь благоприятный характер и для области здравоохранения, и для экономики страны в целом.

Российский рынок. По данным Nielsen, российский рынок демонстрирует увеличение уровня внимания потребителей (67 %) к здоровым гастрономическим привычкам. Около 40 % потребителей стремятся сократить потребление жиров и сахара. Высокий показатель (51 %), демонстрирующий стремление к ограничению в продуктах сахара, отмечен по результатам опроса GfK Roper Consulting, проведенного в постпериод COVID-19. Подобная постепенная трансформация привычек питания оказывает влияние на поведение потребителей в

процессе совершения покупок, что проявляется в следующем:

- 74 % покупателей в России обращают внимание на состав перед покупкой;
- 70 % готовы платить больше за продукты, не содержащие нежелательные компоненты.

Анализ динамики продаж натуральных товаров в России свидетельствует об усилении позиций приверженцев здорового питания, несмотря на то, что за аналогичный период реальные доходы россиян не увеличились, а цены на подобные продукты превышают аналоги [17, 18]. В исследовании Nielsen говорится о том, что тренд на внимание к здоровью и безопасности продуктов будет сочетаться с экономичным потреблением, т. е. потребитель готов взять меньшее количество более дорогостоящего товара, а не большое количество товара с низкой ценой, если уверен в его натуральности и пользе для организма.

В рамках изучения рассматриваемых вопросов целесообразно затронуть аспекты участия государства [19]. В России утверждена Стратегия повышения качества пищевой продукции до 2030 г. Она направлена на обеспечение полноценного питания, профилактику заболеваний, увеличение продолжительности жизни и повышение ее качества, стимулирование развития производства и обращения на рынке пищевой продукции надлежащего качества. Это является основой для формирования национальной системы управления качеством пищевой продукции. В 2020 г. Роспотребнадзором утверждена Концепция создания обучающих просветительских программ по вопросам здорового питания. В ней большое внимание уделяется осознанному отношению потребителей к своему здоровью и здоровью близкого окружения.

В ходе анализа рынка было замечено отсутствие единой терминологии дефиниции «здоровое питание». Тем не менее в качестве общей характеристики отметим тезис о важности натуральности продуктов, относящихся к категории «здоровое питание».

Термин «здоровое питание», утвержденный Всемирной организацией здравоохранения, означает, что питание должно обеспечивать рост, нормальное развитие и жизнедеятельность человека. Такие продукты должны быть натуральными, прошедшими одну или несколько стадий технологической обработки. Они предназначены для систематического употребления в пищу всеми возрастными группами населения, а также обеспечивают физиологические потребности организма человека в пищевых веществах и энергии и не оказывают прямого или потенциального отрицательного воздействия на нормальное протекание физиологических процессов. В Словаре современного английского языка Лонгмана (Longman Dictionary of Contemporary English) термин «здоровое питание» имеет следующие значение – это

«пища, содержащая только натуральные вещества, полезная для здоровья». В Кембриджском словаре (Cambridge Dictionary) дано следующее определение: «здоровое питание – продукты, которые полезны, так как не содержат химикатов и слишком много сахара и жира».

Стремление покупателей заботиться о своем здоровье находит отражение и в предложениях торговых сетей. Все чаще на прилавках магазинов появляются фермерские натуральные товары, растительное молоко, товары без ГМО и прочее [20–22].

С точки зрения формирования категорий продуктов питания, имеющих отношение к здоровому питанию, можно встретить следующие понятия: диабетическое питание, диетическое питание и функциональное питание.

Словосочетания «диабетическое питание» и «диетическое питание» более часто употребляются и поэтому знакомы потребителю. Сегменты, формируемые данными категориями продуктов питания, можно считать узконаправленными. Потребитель без наличия каких-либо медицинских показаний не имеет желания приобретать диабетические продукты. Несмотря на возможную полезность таких продуктов для поддержания баланса здоровья человека, не страдающего данным недугом, покупка диабетических продуктов может означать признание на подсознательном уровне возможного заболевания. Помимо этого, категория «диабетические продукты» имеет ярко выраженную с точки зрения мерчендайзинга зональность в большинстве розничных магазинов, что возвращает к сужению сегмента и нежеланию здорового человека обращать внимание на рассматриваемую категорию.

«Диабетическое питание» и «диетическое питание» имеют ассоциацию с «невкусными продуктами». Несмотря на выделенную тенденцию и стремление потребителей к здоровой натуральной пище, потребители часто не желают жертвовать вкусом ради здоровья.

Термин «физиологическое питание» имеет широкий охват. По данным Российской Диабетической Ассоциации, такое питание показано всем здоровым людям, но для людей с рядом заболеваний – диабетом, ожирением, атеросклерозом и артериальной гипертензией – такое питание жизненно необходимо.

Понятие «физиологическое питание» чаще используется в научной литературе, а не для информирования потребителя или выстраивания стратегии позиционирования продуктов питания. Поэтому для потребителя данный термин не несет ассоциативного ряда с какими-либо товарами и возвращает его к общим представлениям о здоровом образе жизни и здоровом питании.

На международном рынке все чаще звучит словосочетание «функциональное питание». Ро-

дона начальником рассматриваемой терминологии принято считать Японию, где в 1989 г. впервые в научной литературе был употреблен термин «функциональное питание». Под ним подразумевали продукты питания, в составе которых используются только натуральные вещества, способствующие благотворному функционированию всего организма человека [23].

Согласно ГОСТ 52349-2005 под функциональным питанием понимается специализированный пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, обладающий научно обоснованными и подтвержденными свойствами, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, предотвращающий или восполняющий имеющийся в организме человека дефицит питательных веществ, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в составе физиологически функциональных пищевых ингредиентов.

Среди преимуществ продуктов категории «функциональное питание» стоит выделить высокую усвояемость ингредиентов и пищевую ценность при минимальной калорийности.

Функциональное питание имеет различное восприятие на уровне государства, производителей, ритейлеров и потребителей в разных странах, что связано с историческими особенностями, уровнем развития страны, менталитетом, местными привычками потребления, уровнем дохода и осведомленности граждан той или иной страны. Тем не менее индустрия функционального питания может обладать правом на международный статус и высокий потенциал роста. Эксперты отмечают неоднородность развития рынка функциональных продуктов, в зависимости от страны и товарной категории, и ежегодный мировой рост, который по различным оценкам составляет в среднем от 8 до 15 % в год. Ожидается продолжение данной тенденции, что связано с неблагоприятной экологической обстановкой, демографическими изменениями, формированием у населения понимания отрицательного влияния на организм неправильного образа жизни и последствиями пандемии COVID-19.

Что касается отдельных представителей международного рынка функционального питания, то лидирующие позиции занимают Азия и США, демонстрируя ежегодный прирост оборотов на 15–20 %.

По оценке экспертов, в США ежегодно увеличивается выпуск продукции функционального питания на 15–20 %, что активно подкрепляется соответствующим позиционированием через рекламные кампании.

Лидером рынка остается Япония, т. к. около половины всей производимой в стране продукции

относится к функциональной. В США этот показатель варьируется от 25 до 30 %, а в России едва достигает 5 %.

Единственным государством, имеющим специальный закон о функциональном питании, является Япония. Здесь на полках магазинов можно увидеть готовые супы против нарушений кровоснабжения, шоколад против инфаркта миокарда и пиво против поражения клеток. В этой стране введена система регулирования функциональной пищи, называемая «Продукты с заявками на здоровье», которая состоит из двух категорий: «Продукты с заявками на функциональные свойства питательных веществ» и «Продукты для определенных видов использования для здоровья». Первые – это продукты, предназначенные для массового населения, которые могут обеспечить преимущества для здоровья без каких-либо жалоб на его ухудшение, вторые – продукты, одобренные медицинскими требованиями.

Японский опыт представляет собой интересную платформу для изучения рынка функциональных продуктов с точки зрения взаимодействия государства и производителей. В Японии внедрена система проверки новых продуктов функционально назначения на государственном уровне. Одной из причин создания этой системы является предоставление потребителям необходимой информации для выбора хорошего продукта из множества здоровых продуктов. В Японии подчеркивается необходимость обучения экспертов, которые смогут обеспечить качественное информирование населения о пользе функционального питания и отдельных продуктов, представленных на рынке в данной категории.

В России 1 июля 2021 г. на заседании Комитета Торгово-промышленной палаты по предпринимательству в здравоохранении и медицинской промышленности принято решение о формировании Реестра функциональных продуктов питания России. Создание данного Реестра для включения в него производимых и обращающихся на рынке пищевых продуктов питания, в том числе диабетических, может стать основой для формирования новых рыночно ориентированных подходов к созданию нормативно-правовой базы стимулирования развития этого сегмента рынка.

Термин «функциональная пища» или другие производные формулировки часто не являются знакомыми для потребителя. Это подтверждают результаты опросов, проведенных в ряде европейских стран. У потребителей возникает ощущение полезности при озвучивании данной формулировки, в результате чего возникает высокая степень согласия с концепцией функционального питания. Опираясь на данные исследования, отметим, что в Германии, Англии и Франции около 75 % потребителей не ориентируются в терминологии сферы функционального питания [13].

Часть функциональных ингредиентов, среди которых, витамины, клетчатка, кальций и железо, вызывают у потребителей доверие, ассоциацию с пользой для здоровья и побуждение к покупке из-за большого информирования об их положительном воздействии на организм человека. Другая часть ингредиентов функционального питания, к которым можно отнести флавоноиды, каротиноиды и жирные кислоты, не имеет длительной истории продвижения и информирования о своей пользе. В результате этого потребители не могут оценить воздействие данных ингредиентов на здоровье из-за низкого уровня их потребления.

Таким образом, понятие и принятие потребителем концепции «функциональное питание» имеет неразрывную связь со знанием о воздействии на здоровье ингредиентов, находящихся в составе продуктов функционального питания. Однако покупатели слабо ориентируются в ингредиентах, относящихся к функциональной пище, поэтому возникает проблема их низкой осведомленности.

Низкая степень осведомленности потребителей о составе и свойствах продуктов требует от производителей особых маркетинговых решений. Они могут быть реализованы через выстраивание работы с инфлюенсерами, в том числе на площадках социальных медиа, и экспертами в области фитнеса и питания, а также медицинскими и оздоровительными организациями [23].

Разработка инновационных продуктов функционального питания и выведение их на рынок требует пересмотра стратегического поведения многих компаний. В данном случае можно выделить три ключевые стратегии: формирование партнерских отношений с ключевыми поставщиками ингредиентов или исследовательскими центрами; поглощение и слияние крупных производителей с небольшими узкоспециализированными компаниями по производству уникальных продуктов функционального питания; дифференциация собственных ассортиментных линеек за счет имеющихся в компании разработок.

Особенностью маркетинговых мероприятий по выведению функциональных продуктов на рынок является необходимость использования акцента на образовательный маркетинг с пояснением ценности и пользы данных продуктов, которые оказываются более дорогими по стоимости. В данном случае желательно использовать два подхода к представлению продукта потребителям. Первый подход ориентирован на здоровый образ жизни, поэтому покупка продуктов осуществляется через каналы розничной торговли, где функциональные продукты сочетаются с существующими продуктами и дают право выбора потребителю. Второй подход предназначен для целевой аудитории, воспринимающей функциональные продукты как составную часть лечения.

Для повышения коммуникационного эффекта необходимо использовать акценты на консультациях врача и положительных отзывах пациентов, а каналы сбыта будут расширены за счет аптечных сетей и специализированных магазинов здорового питания.

Учитывая современные тенденции развития рынка продуктов для здорового питания, сотрудниками Омского государственного аграрного университета ведется активная работа по изучению и продвижению идей здорового питания, а также проводятся маркетинговые и технологические исследования. Разработана комплексная технология производства продуктов питания, особое внимание в которой уделено сохранности нативных свойств молока и химического состава белков, витаминов и минеральных веществ. Продукты, выработанные в рамках реализации комплексной технологии, отличаются высоким качеством, пищевой ценностью, безопасностью и содержанием специальных пищевых веществ: незаменимых аминокислот, жирных кислот, витаминов, биофлавоноидов и пищевых волокон, которые хорошо усваиваются разными возрастными группами. Комплексная технология производства рекомендуется для молочных предприятий с полным циклом переработки животного и растительного сырья. Практической реализацией данной концепции стала разработка профессора Омского ГАУ Е. А. Молибога трех новых видов плавленых сыров («Диетический», «Семейный» и «Туристский») с разным содержанием жира в сухом веществе (20, 40 и 60 % соответственно) и количеством (до 40 %) чеддеризованной сырной массы из обезжиренного молока [24, 25]. Всего разработано более 35 технологий пищевой продукции с заданным составом и свойствами, полностью отвечающих современным требованиям парадигмы о здоровом питании. На большинство данных технологий получены патенты на изобретение, а также зарегистрированы нормативно-технические документы для внедрения.

Научная концепция, представленная в статье, заключается в новых научно-обоснованных технологических решениях, внедрение которых внесет вклад в решение социальных проблем и развитие молочной промышленности страны. На основании результатов экспериментальных исследований были проведены промышленные апробации на ведущих пищевых предприятиях Омского региона: ООО «ВНИМИ-Сибирь» (г. Омск), ООО «Ястро» (г. Омск), ЗАО «Любинский молочно-консервный завод» (г. Омск, Омская область), ЗАО «СоюзМолоко» (г. Омск) и ООО «Омский завод плавленых сыров» (г. Омск, Полтавский район). Результаты исследований внедрены в образовательный процесс Омского государственного аграрного университета при подготовке бакалавров и магистров по следующим

направлениям: 19.03.03, 19.04.03 – продукты питания животного происхождения, 19.03.02, 19.04.03 – продукты питания из растительного сырья.

Проблеме организации производства безопасных молочных продуктов для функционального питания посвящены фундаментальные и прикладные научные труды отечественных ученых: А. Г. Храмцова, И. А. Евдокимова и А. Д. Лодыгина (Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь), В. Д. Харитоновна (Московский технологический институт мясной и молочной промышленности, г. Москва), Л. А. Остроумова, А. Ю. Просекова, И. А. Смирновой и И. В. Буяновой (Кемеровский государственный университет, г. Кемерово), Ю. Я. Свириденко (Российская академия наук, г. Москва), И. С. Хамагаевой (Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ), В. М. Позняковского (Кузбасская ГСХА, г. Кемерово), Л. А. Забодаловой (Международный научный центр «Биотехнология третьего тысячелетия», г. Москва), Н. И. Дунченко (Российский государственный аграрный университет МСХА имени К. А. Тимирязева, г. Москва), А. А. Майорова (Сибирское отделение Российской академии наук, г. Барнаул), Н. Б. Гавриловой (Омский государственный аграрный университет, г. Омск), а также зарубежных ученых Д. Килкаст, П. Субраманиам, Р. Стеле, Г. Гибсон и др.

Большая научная и практическая ценность данных исследований подтверждается активными проектными перспективами коллектива Омского ГАУ. В 2022 г. начата реализация гранта Российского научного фонда по теме «Научное обоснование биотехнологического подхода к глубокой переработке природного органического сырья для перехода к высокопродуктивному и экологически чистому производству конкурентоспособных функциональных продуктов питания». Ведется сотрудничество с ГК «Эфко» по реализации научно-исследовательской работы «Научно-технологическое обоснование производства продуктов антидиабетической направленности на основе белков с интенсивным сладким вкусом». За последние 5 лет было реализовано более 10 наукоемких проектов на общую сумму более 7,5 млн руб.

Необходимость дальнейших исследований в данной области подтверждается актуальностью вопросов импортозамещения с обеспечением государственной поддержки отдельных секторов агропродовольственного сектора [26].

Таким образом, анализ международных и российских тенденций в области здорового питания в целом и функционального питания в частности позволяет сделать вывод о том, что в ближайшие годы рынок функциональных продуктов питания может занять позицию одного из перспективных и конкурентоспособных на мировом пространстве.

Выводы

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что в 2020-х гг. рост востребованности здоровых продуктов будет являться основным трендом развития рынка продуктов питания. Лидерами по приросту данного рынка являются азиатские страны, в первую очередь Япония. В США также уделяют большое внимание вопросам потребления продукции, обладающей функциональными свойствами. В России данный рынок только начинает свое развитие, но уже объем спроса на продукцию функционального назначения составляет более триллиона рублей. Проведенный анализ мирового рынка функционального питания позволяет сделать вывод о том, что спрос на функциональные продукты будет неуклонно расти благодаря увеличению числа потребителей, заботящихся о своем здоровье, и к 2027 г. составит более 17 трлн руб. Все больше потребителей обращает внимание на состав продуктов, их экологичность и соответствие требованиям здорового питания, а также повышает свою осведомленность в этом вопросе. Это определяет актуальность исследований и разработок в сфере здорового питания.

Меры, предпринимаемые правительствами разных стран, и ответы производителей и представителей розничной торговли на изменение модели поведения потребителей, выражающейся в изменении вкусовых предпочтений, способствуют повышению перспективы развития здорового питания и введению в рацион продуктов, входящих в категорию «функциональное питание» на регулярной основе. Вопросы выведения новых функциональных продуктов на рынок – это совместная работа исследователей и производителей. В данной ситуации решения по разработке новых видов специализированной продукции, принимаемые производителями, и маркетинговые решения со стороны бизнеса соотносятся и имеют единое направление с решениями, принимаемыми на государственном уровне. Это говорит о прогнозируемом повышении уровня спроса на продукты в категории «функциональное питание» в случае дальнейшего изучения данного вопроса, в том числе через регулярную коммуникацию с потенциальными потребителями, и увеличении уровня

их информированности и осведомленности через различные маркетинговые каналы.

Проведенные аналитические и экспериментальные исследования свидетельствуют о потенциале российской науки для развития отечественной индустрии функционального питания.

Критерии авторства

Е. А. Молибога – руководство проектом, разработка дизайна исследования и получение экспериментальных данных. О. А. Козлова и Е. В. Сухостав – проведение сравнительного анализа на основе кабинетных исследований рынка функциональных продуктов в России и мире. А. В. Зинич – кабинетные исследования рынка здорового питания.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность Российскому научному фонду за предоставленную возможность проведения полноценного цикла экспериментальных исследований, направленных на развитие конкурентоспособных продуктов питания.

Contribution

E.A. Moliboga supervised the project, developed the research design, and obtained the experimental data. O.A. Kozlova and E.V. Sukhostav performed the comparative analysis of domestic and foreign functional food markets. A.V. Zinich performed the desk research of the healthy food market.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to the Russian Science Foundation for the opportunity to conduct a full cycle of experimental studies aimed at developing competitive food products.

References/Список литературы

1. Bukharev AG, Gavrilova NB, Kriger OV, Chernopolskaya NL. Fermented cream for curd fortified with probiotic cultures: Biotechnological aspects. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(4):664–673. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-664-673>
2. Agalarova EG, Gunko YuA, Kusakina ON, Cherednichenko OA, Dotdyeva ZS. The national technological initiative *FoodNet Market: Regional perspectives*. In: Bogoviz AV, editor. *The challenge of sustainability in agricultural systems*. Volume 2. Cham: Springer; 2021. pp. 527–534. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72110-7_58
3. Popova AYu, Tutelyan VA, Nikityuk DB. 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*. 2021;90(4):6–19. (In Russ.). <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>

4. Statsenko ES, Litvinenko OV, Korneva NYu, Shtarberg MA, Borodin EA. New technology for functional dessert production based on soy and pumpkin. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(2):351–360. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-351-360>
5. Mohammed NK, Ragavan H, Ahmad NH, Hussin ASM. Egg-free low-fat mayonnaise from virgin coconut oil. *Foods and Raw Materials*. 2022;10(1):76–85. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-76-85>
6. Analytical report of DISCOVERY Research Group. Analysis of the healthy food market in Russia [Internet]. [cited 2022 May 25]. Available from: <https://drgroup.ru/2230-analiz-rynka-zdorovogo-pitanija.html> [Аналитический отчет DISCOVERY Research Group. Анализ рынка продуктов здорового питания в России. URL: <https://drgroup.ru/2230-analiz-rynka-zdorovogo-pitanija.html> (дата обращения: 25.05.2022).].
7. Salimov RI, Mingaleev GF, Snegurenko AP, Koroleva EV, Volkov AT. Digital tools to support innovations and businesses. *CEUR Workshop Proceedings: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference Information Technologies and Intelligent Decision Making Systems*; 2021; Moscow. Moscow; 2021.
8. Zscheischler J, Brunsch R, Rogga S, Scholz RW. Perceived risks and vulnerabilities of employing digitalization and digital data in agriculture – socially robust orientations from a transdisciplinary process. *Journal of Cleaner Production*. 2022;358. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132034>
9. Nasirahmadi A, Hensel O. Toward the next generation of digitalization in agriculture based on digital twin paradigm. *Sensors*. 2022;22(2). <https://doi.org/10.3390/s22020498>
10. Prosekov A, Babich O, Kriger O, Ivanova S, Pavsky V, Sukhikh S, *et al.* Functional properties of the enzyme-modified protein from oat bran. *Food Bioscience*. 2018;24:46–49. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.05.003>
11. Martinchik AN, Mikhailov NA, Keshabyants EE, Kudryavtseva KV. The study of the informativeness and reliability of the healthy eating index for assessing of dietary peculiarity and eating behavior of Russian population. *Problems of Nutrition*. 2021;90(5):77–86. (In Russ.). <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-77-86>
12. Prospects for the FMCG in 2021: NielsenIQ survey of 100+ top managers [Internet]. [cited 2022 May 25]. Available from: <https://nielseniq.com/global/ru/insights/analysis/2021/kakim-budet-fmkg-v-2021-godu-issledovanie-nielseniq-sredi-100-top-menedzherov> [Каким будет FMCG в 2021 году: исследование NielsenIQ среди 100+ топ-менеджеров. URL: <https://nielseniq.com/global/ru/insights/analysis/2021/kakim-budet-fmkg-v-2021-godu-issledovanie-nielseniq-sredi-100-top-menedzherov> (дата обращения: 25.05.2022).].
13. Boitsova YuS, Alenin IP. Analysis of the market and marketing opportunities of functional products in Europe. *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*. 2020;(5–1):19–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.17513/vaael.1108>
14. China food market: opportunities for Russian companies [Internet]. [cited 2022 May 25]. Available from: https://rceb.ru/wp-content/uploads/2021/08/rynok-prodovolstviya-knr-vozmozhnosti-dlya-rossijskih-kompanij_doklad-kpmg.pdf [Рынок продовольствия КНР: возможности для российских компаний. URL: https://rceb.ru/wp-content/uploads/2021/08/rynok-prodovolstviya-knr-vozmozhnosti-dlya-rossijskih-kompanij_doklad-kpmg.pdf (дата обращения: 25.05.2022).].
15. Fu Zh, Napalkova AA. Health food market research in China. *Innovative Technologies in Science and Education*. 2015;4(4):449–455. [Фу Ж., Напалкова А. А. Исследование рынка продуктов здорового питания Китая // Инновационные технологии в науке и образовании. 2015. Т. 4. № 4. С. 449–455.].
16. Kanagasundram A, John RM, Stevenson WG. Sustained Monomorphic ventricular tachycardia in nonischemic heart disease: Arrhythmia-substrate correlations that inform the approach to ablation. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*. 2019;12(11). <https://doi.org/10.1161/CIRCEP.119.007312>
17. Musatova ZhB. Consumer behavior trends' influence on the development and regulation of the healthy food market. *Journal Marketing MBA. Marketing management firms*. 2019;10(4):248–262. (In Russ.). [Мусатова Ж. Б. Влияние трендов потребительского поведения на развитие и регулирование рынка продуктов питания для здорового образа жизни // Журнал Маркетинг MBA. Маркетинговое управление предприятием. 2019. Т. 10. № 4. С. 248–262.].
18. Karamushko GV, Khatko ZN, Navasardyan NKh. Analysis of the healthy food market in the Russian Federation and the republic of Adygea. *New Technologies*. 2020;16(6):106–115. (In Russ.). <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2020-16-6-106-115>
19. Stukach V, Pomogaev V, Zinich A, Anikina N. Social protection: Regional infrastructure of food assistance distribution. *Espacios*. 2017;38(43).
20. Sandrakova IV, Reznichenko IYu. Health food consumers research. *Practical Marketing*. 2019;274(12):22–27. (In Russ.). [Сандракова И. В., Резниченко И. Ю. Исследование потребителей продуктов здорового питания // Практический маркетинг. 2019. Т. 274. № 12. С. 22–27.].
21. Sukhikh SA, Astakhova LA, Golubtsova YuV, Lukin AA, Prosekova EA, Milenteva IS, *et al.* Functional dairy products enriched with plant ingredients. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(2):428–438. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-428-438>

22. Zaushintsena AV, Bryukhachev EN, Belashova OV, Asyakina LK, Kurbanova MG, Vesnina AD, *et al.* Extracts of *Rhodiola rosea* L. and *Scutellaria galericulata* L. in functional dairy products. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(1):163–170. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-1-163-170>
23. Shimizu M. Functional food in Japan: Current status and future of gut-modulating food. *Journal of Food and Drug Analysis*. 2012;20:213–216.
24. Gavrilova NB, Shchetinin MP, Moliboga EA. Modern state and prospects of the development of production of specialized foodstuffs for athletes. *Problems of Nutrition*. 2017;86(2):100–106. (In Russ.). [Гаврилова Н. Б., Щетинин М. П., Молибога Е. А. Современное состояние и перспективы развития производства специализированных продуктов для питания спортсменов // Вопросы питания. 2017. Т. 86. № 2. С. 100–106.]
25. Demidova VA, Gavrilova NB, Moliboga EA. Innovative aspects of biotechnology of soft curd enriched with functional ingredients. *Food Industry*. 2018;(3):28–31. (In Russ.). [Демидова В. А., Гаврилова Н. Б., Молибога Е. А. Инновационные аспекты биотехнологии мягкого творога, обогащенного функциональными ингредиентами // Пищевая промышленность. 2018. № 3. С. 28–31.]
26. Zaitseva OP, Kozlova OA, Blinov OA, Novikov YuI, Golova EE. The potential volume of government support for a region's agricultural sector in a climate of import substitution. *Journal of Social Sciences Research*. 2018;2018(3):392–399. <https://doi.org/10.32861/jssr.spi3.392.399>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2406>
<https://elibrary.ru/FSFSDH>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Определение летучих органических примесей в виски методом газовой хромато-масс-спектрометрии



Н. В. Шелехова*^{ORCID}, Т. М. Шелехова^{ORCID},
Л. И. Скворцова^{ORCID}, Н. В. Полтавская^{ORCID}

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии^{FCR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 21.03.2022
Принята после рецензирования: 12.04.2022
Принята к публикации: 03.05.2022

*Н. В. Шелехова: 4953610101@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7735-2942>
Т. М. Шелехова: <https://orcid.org/0000-0003-3851-4034>
Л. И. Скворцова: <https://orcid.org/0000-0002-0737-0624>
Н. В. Полтавская: <https://orcid.org/0000-0003-1266-523X>

© Н. В. Шелехова, Т. М. Шелехова, Л. И. Скворцова,
Н. В. Полтавская, 2022



Аннотация.

Совершенствование методологии аналитического контроля качества и безопасности спиртных напитков является важной задачей и требует разработки нового подхода, обеспечивающего повышенную достоверность идентификации химического состава сложных многокомпонентных объектов. Наиболее перспективным инструментальным методом для решения обозначенной проблемы является газовая хромато-масс-спектрометрия, что определило цель исследования. Объектами исследования являлись виски отечественного и зарубежного производства, спиртные напитки и 40 % водно-спиртовые модельные растворы. Аналитические исследования проводили на хроматографической системе Маэстро 7820A GC с масс-селективным детектором Agilent Technologies 5975 Series MCD и автоматическим пробоотборником G4513A. Хроматографическое разделение осуществляли на капиллярной колонке высокой полярности FFAP. В рамках расширения аналитических возможностей метода газовой хромато-масс-спектрометрии для дифференцированного и высокоточного определения летучих органических примесей виски подобрали параметры хроматографического разделения и масс-спектрометрического детектирования. Границы относительной погрешности измерений в диапазоне от 1,0 до 10 мг/дм³ не превышают 25 %, в диапазоне от 10 до 500 мг/дм³ – 18 %. С применением подобранных режимных параметров исследовали состав целевых летучих органических примесей спиртных напитков. Анализ образцов виски различного географического происхождения показал, что наибольшая доля к общей сумме обнаруженных летучих примесей приходится на изоамилол 34,84–58,08 %, уксусную кислоту 17,31–26,76 % и изобутанол 12,50–21,28 %. Доля остальных идентифицированных химических соединений незначительна: изоамилацетат 0,34–0,86 %, 1-бутанол 0,13–0,39 %, 1-пентанол 0,03–0,06 %, этиллактат 0,40–11,20 %, этилкаприлат 0,16–2,74 %, фурфурол 1,40–6,44 %, этиллаурат 0,18–14,60 %, этиллаурат 0,74–2,97 % и 2-фенилэтанол 1,75–2,39 %. Максимальное суммарное содержание летучих органических примесей (2040,30 мг/дм³) обнаружили в яблочном самогоне, минимальное (392,16 мг/дм³) – в невыдержанном ромовом дистилляте.

Был предложен новый экспресс-метод, позволяющий без пробоподготовки и с высокой степенью достоверности дифференцированно определять качественный и количественный состав 12 летучих органических компонентов в виски за 17 мин. Данный способ может быть применен для идентификации и определения массовых концентраций летучих органических примесей в чаче, роме, текиле, бренди, самогоне и выдержанных и невыдержанных ромовых и зерновых дистиллятах.

Ключевые слова. Спиртные напитки, газовая хромато-масс-спектрометрия, идентификация, качество, безопасность, летучие органические примеси

Финансирование. Исследования проведены за счет средств субсидии на выполнение государственного задания (тема № 041020220006).

Для цитирования: Определение летучих органических примесей в виски методом газовой хромато-масс-спектрометрии / Н. В. Шелехова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 787–796. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2406>

Gas Chromatography-Mass Spectrometry of Volatile Organic Impurities in Whiskey



Nataliya V. Shelekhova*^{ID}, Tamara M. Shelekhova^{ID},
Liubov I. Skvortsova^{ID}, Natalya V. Poltavskaya^{ID}

All-Russian Scientific Research Institute of Food Biotechnology^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 21.03.2022
Revised: 12.04.2022
Accepted: 03.05.2022

*Nataliya V. Shelekhova: 4953610101@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7735-2942>
Tamara M. Shelekhova: <https://orcid.org/0000-0003-3851-4034>
Liubov I. Skvortsova: <https://orcid.org/0000-0002-0737-0624>
Natalya V. Poltavskaya: <https://orcid.org/0000-0003-1266-523X>

© N.V. Shelekhova, T.M. Shelekhova, L.I. Skvortsova,
N.V. Poltavskaya, 2022



Abstract.

Alcoholic beverages are complex multicomponent objects. Their quality and safety control is a serious analytical task that requires new, more accurate instrumental methods, e.g., chromatography-mass spectrometry.

The research involved domestic and foreign whiskey, other alcoholic beverages, and 40% water-alcohol model solutions. The analytical studies were carried out on a Maestro 7820A gas chromatograph GC with an Agilent Technologies 5975 Series MCD mass selective detector, a G4513A autosampler, and a high polarity FFAP capillary column.

The research revealed the optimal parameters of chromatographic separation and mass spectrometric detection. The relative measurement error remained below 25% in the range of 1.0–10 mg/dm³ and 18% in the range of 10–500 mg/dm³. These modes were used to study the composition of the volatile organic impurities. The largest proportion of the total volatile impurities was 34.84–58.08% isoamylol, 17.31–26.76% acetic acid, and 12.50–21.28% isobutanol. Other chemical compounds were not so abundant: 0.34–0.86% isoamyl acetate, 0.13–0.39% 1-butanol, 0.03–0.06% 1-pentanol, 0.40–11.20% ethyl lactate, 0.16–2.74% ethyl caprylate, 1.40–6.44% furfural, 0.18–14.60% ethyl caprate, 0.74–2.97% ethyl laurate, and 1.75–2.39% 2-phenylethanol. The maximal total content of volatile organic impurities was 2040.30 mg/dm³: it was registered in apple samogon. The minimal total content of volatile organic impurities was 392.16 mg/dm³ in the unaged rum distillate sample. The new method proved highly accurate in determining the qualitative and quantitative composition of twelve volatile consumable components in whiskey. The procedure took 17 min; it can be applied to mass concentrations of volatile impurities in such alcoholic beverages as grape-brandy, rum, tequila, brandy, samogon, rum, and various distillates.

Keywords. Alcoholic beverages, gas chromatography-mass spectrometry, identification, quality, safety, volatile organic impurities

Funding. The research was part of a state task, topic No. 041020220006.

For citation: Shelekhova NV, Shelekhova TM, Skvortsova LI, Poltavskaya NV. Gas Chromatography-Mass Spectrometry of Volatile Organic Impurities in Whiskey. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):787–796. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2406>

Введение

Виски – алкогольный напиток, получаемый из зерновых дистиллятов с последующей выдержкой в дубовых бочках. Контроль качества виски в РФ является обязательным: продукт должен соответствовать требованиям ГОСТ 33281-2015. В последние годы ассортимент виски расширился, в результате чего появилось большое количество фальсификаций. Поэтому совершенствование

методологии аналитического контроля спиртных напитков требует разработки нового подхода, обеспечивающего не только расширение перечня нормируемых показателей, но и повышенную достоверность идентификации [1, 2].

В ходе биотехнологических процессов биокаталитической и биосинтетической трансформации полимеров исходного сырья в этанол, кроме целевого продукта – этилового спирта, образуются

побочные продукты метаболизма дрожжей: высшие спирты, эфиры, кислоты, альдегиды и другие химические соединения [3–5]. В связи с этим важное место в изучении закономерностей биотехнологических процессов броидильных производств занимают исследования, направленные на изучение обмена веществ дрожжей и факторов, оказывающих влияние на образование побочных метаболитов [6, 7]. В технологии дистиллированных напитков исследованиям в данном направлении отводится большая роль [8–11]. Поэтому для повышения информативности исследований особое внимание необходимо уделять разработке новых высокоточных инструментальных методик определения химического состава спиртных дистиллированных напитков и созданию новых цифровых технологий интеллектуальной обработки результатов измерений [12, 13].

Для исследования пищевой продукции широко применяются методы капиллярного электрофореза, газовой хроматографии и газовой хромато-масс-спектрометрии [14–16]. Среди методов, положительно зарекомендовавших себя для идентификации и количественного определения химического состава многокомпонентных сложных смесей, необходимо выделить метод газовой хромато-масс-спектрометрии. Данный метод сочетает газовую хроматографию и масс-спектрометрию и позволяет проводить селективный анализ химических соединений [17, 18]. Масс-селективный детектор может рассматриваться как разновидность ионизационного детектора [19–21]. Качественный анализ в масс-спектрометрии обеспечивает идентификацию аналитов по соотношению массы к заряду их отдельных ионов и масс-спектрам в целом. Масс-спектрометрия признана «золотым стандартом» в криминалистике для решения экспертных задач в области судебно-медицинской идентификации психотропных веществ и в судебной токсикологии для поиска наркотиков в биологических образцах подозреваемых. Метод газовой хромато-масс-спектрометрии при скрининге различных объектов является надежным способом идентификации.

Создание новых подходов к идентификации алкогольной продукции, позволяющих исключить ложноположительные результаты первичного исследования, является актуальной, важной и своевременной аналитической задачей. Для решения поставленной задачи наиболее перспективен метод газовой хромато-масс-спектрометрии, который может быть применен в качестве референтного метода анализа при определении летучих компонентов в составе спиртных напитков.

Цель исследования – разработка нового способа селективной и высокоточной идентификации и определения массовых концентраций летучих химических соединений спиртных напитков.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования выступили образцы виски отечественного и зарубежного производства, а также чача, ром, текила, бренди, самогон и выдержанные и невыдержанные ромовые и зерновые дистилляты. Также к объектам относятся модельные растворы, содержащие изобутанол, изоамилол, изоамилацетат, уксусную кислоту, фурфурол, этиллактат, этилкаприлат, этилкапринат, этиллаурат, 1-бутанол, 1-пентанол и 2-фенилэтанол с объемной долей веществ 0,01 %. В качестве растворителя использовали 40 % водно-спиртовой раствор. Образцы анализировали в двух повторностях.

Исследование проводили методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием в режиме ионизации электронным ударом. Масс-спектрометрический детектор калибровали с применением перфтортрибутиламина в соответствии с рекомендацией производителя оборудования. Идентификацию аналитов проводили на основании сравнения полученных и библиотечных масс-спектрометрических данных библиотеки NIST 11.

Исследование выполняли на хроматографической системе Маэстро 7820А GC (Россия, США), укомплектованной масс-селективным детектором Agilent Technologies 5975 Series MCD (США) и автоматическим пробоотборником G4513А. Хроматографическое разделение проводили на капиллярной колонке высокой полярности FFAP (США) с неподвижной фазой полиэтиленгликоль, модифицированный нитротерефталевой кислотой, с рабочим диапазоном температур от 60 до 240/250 °С. В качестве подвижной фазы использовали инертный газ гелий (He) высокой степени очистки 99,9 %. Для регистрации и обработки аналитических сигналов применяли специализированное программное обеспечение, входящее в комплект рабочей станции.

Результаты и их обсуждение

По результатам первого этапа исследования, посвященного анализу научной литературы, сформулирована и обоснована аналитическая задача, методы и средства измерений, вспомогательные устройства и реактивы, установлен порядок идентификации летучих веществ в виски, выбраны целевые аналиты. При выборе целевых аналитов предпочтение отдавалось наиболее характерным для спиртных дистиллированных напитков, которые могут быть использованы в качестве маркеров подлинности. По результатам теоретических исследований сформирован список веществ, подлежащих идентификации методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием.

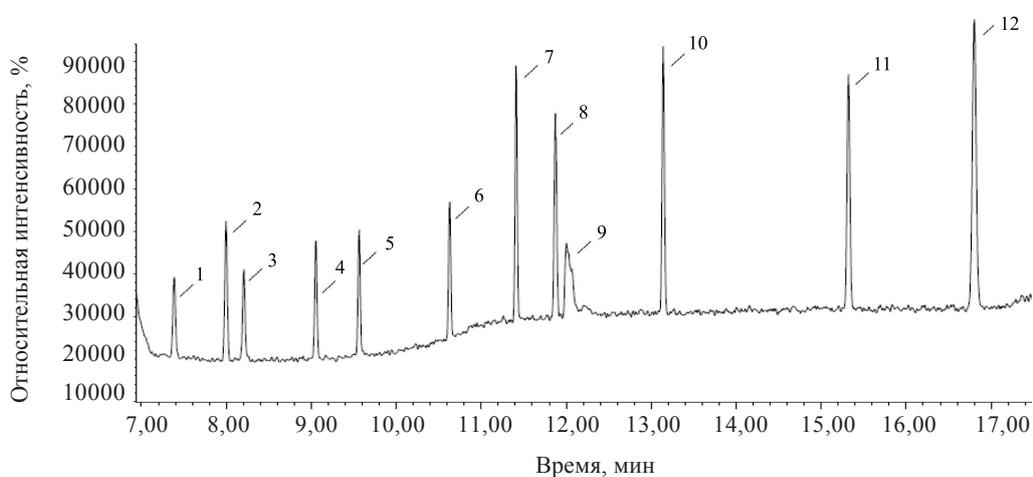
Следующий этап исследования посвящен выбору условий хроматографирования. В ходе исследования составлены модельные растворы, содержащие изобутанол, изоамилацетат, 1-бутанол, изоамилол,

1-пентанол, этиллактат, этилкаприлат, фурфурол, уксусную кислоту, этилкаприлат, этиллаурат и 2-фенилэтанол с объемной долей веществ 0,01 %.

В поисках оптимальных условий целевого анализа летучих органических примесей варьировали температуру узла ввода в пределах 110–220 °С, подачу газа через колонку в диапазоне от 0,7 до 1,0 мл/мин, температурные установки интерфейса 150–250 °С, объем анализируемой пробы в диапазоне 0,1–0,5 мкл и другие параметры. На этапе подбора режимов термостатирования варьировали начальную температуру от 60 до 240 °С, скорость нагрева от 5 до 50 °С/мин и количество этапов программы от 1 до 4. Для выбора условий регистрации хромато-

грамм изучали масс-спектры целевых компонентов. Варьировали параметры режима сбора данных в диапазоне 10–600 а.е.м и параметры режима электронного удара в диапазоне 60–85 эВ. Наиболее подходящие параметры подбирали таким образом, чтобы добиться максимального разрешения пиков и интенсивности сигнала.

Экспериментально установлено, что оптимальными режимами работы газового хроматографа и масс-селективного детектора для идентификации целевых летучих органических примесей являются: гелий в качестве подвижной фазы, скорость пропускания через колонку 0,8 мл/мин, инжектор 150 °С, термостат 100 °С, ожидание в течении 1 мин, подъем



1 – изобутанол; 2 – изоамилацетат; 3 – 1-бутанол; 4 – изоамилол; 5 – 1-пентанол; 6 – этиллактат; 7 – этилкаприлат; 8 – фурфурол; 9 – уксусная кислота; 10 – этилкаприлат; 11 – этиллаурат; 12 – 2-фенилэтанол

Рисунок 1. Хроматограмма модельного раствора

Figure 1. Chromatogram of the model solution

Таблица 1. Перечень идентифицированных компонентов

Table 1. Components identified

№	Время удерживания, мин	Идентифицированный компонент	Молекулярная формула	Совпадение экспериментального и библиотечного масс-спектров, %	Регистрационный номер CAS
1	7,514	Изобутанол	$C_4H_{10}O$	78,4	78-83-1
2	8,031	Изоамилацетат	$C_7H_{14}O_2$	69,3	29732-50-1
3	8,123	1-бутанол	$C_4H_{10}O$	98,5	71-36-3
4	9,120	Изоамилол	$C_5H_{12}O$	74,1	123-51-3
5	9,684	1-пентанол	$C_5H_{12}O$	82,7	71-41-0
6	10,825	Этиллактат	$C_5H_{10}O_3$	64,9	97-64-3
7	11,593	Этилкаприлат	$C_{10}H_{20}O_2$	71,8	106-32-1
8	11,991	Фурфурол	$C_5H_4O_2$	85,6	64-19-7
9	12,108	Уксусная кислота	$C_2H_4O_2$	70,0	98-01-1
10	13,187	Этилкаприлат	$C_{12}H_{24}O_2$	66,2	110-38-3
11	15,331	Этиллаурат	$C_{14}H_{28}O_2$	89,9	106-33-2
12	16,829	2-фенилэтанол	$C_8H_{10}O$	92,3	60-12-8

15 °С/мин до 220 °С, температура трансферной линии 180 °С, температура ионного источника 180 °С, электронный удар 70 эВ, сбор данных в режиме полного сканирования m/z 20–500 а.е.м., электронный умножитель 3×10^5 , объем инъекции 0,2 мкл, деление потока 1:20, задержка на выход растворителя 7 мин. Общее время цикла составляет 17 мин. Хроматограмма модельного раствора в подобранных условиях представлена на рисунке 1.

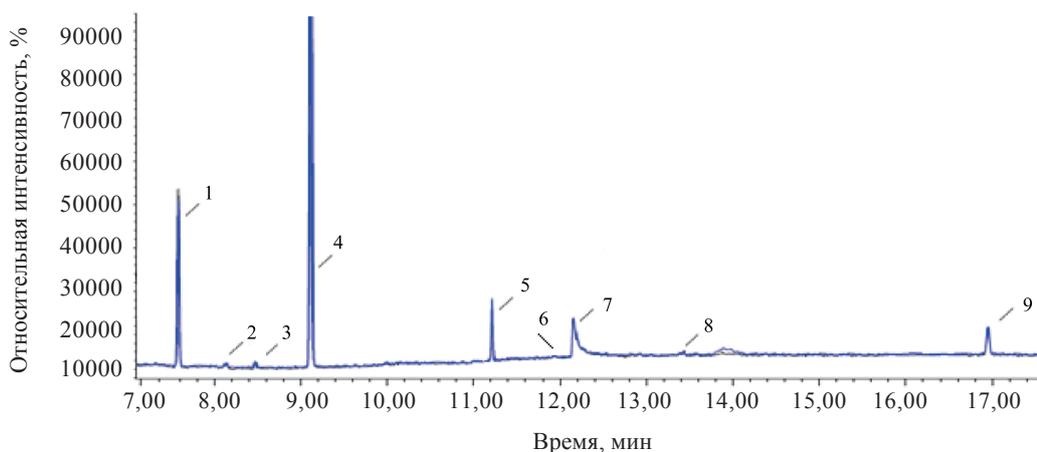
Использование режима ионизации электронным ударом дало возможность получить богатые фрагментами масс-спектры, позволяющие провести надежную идентификацию аналитов. Вещество считали идентифицированным при условии, если значение величины совпадения масс-спектров с данными библиотеки NIST 11 для первого кандидата в списке идентификации составляло не менее 65 %. В ходе экспериментальных исследований на модельных растворах определены порядок выхода и время удерживания целевых компонентов (табл. 1).

При анализе сложных многокомпонентных сред воздействие некоторых компонентов матрицы пробы может негативно сказываться на селективности определения и достоверности идентификации. В ходе эксперимента по изучению влияния матрицы на качественное и количественное определение целевых аналитов проведены серии анализов, состоящих из 10 последовательных вводов каждого исследуемого образца спиртных напитков. Анализ полученных хроматограмм показал, что матрица пробы не препятствует хроматографическому разделению и идентификации целевых аналитов, нулевая линия стабильна, дрейф времени удерживания, вызванный повторными вводами анализируемых проб, отсутствует, формы и площади пиков сохраняются на

протяжении всего периода испытания. Совмещенные хроматограммы 1-го и 10-го вводов образца виски представлены на рисунке 2.

Экспериментально подтверждено, что площади пиков на масс-хроматограммах позволяют проводить не только достоверную дифференцированную идентификацию, но и определение массовой концентрации для каждого компонента. В целях установления линейной зависимости использовали приготовленные растворы с концентрациями веществ 1, 10 и 500 мг/дм³. Оценили высоту и площадь хроматографических пиков с использованием программного обеспечения, входящего в состав хроматографической системы. С применением метода наименьших квадратов создали градуировочные графики. Установлено, что коэффициент корреляции (R^2) составлял не менее чем 0,98. Чем ближе значение R^2 к 1, тем выше корреляционная зависимость. Полученные в ходе настоящего эксперимента уравнения зависимости площади хроматографического пика от концентрации вещества характеризуются линейностью во всем диапазоне концентраций: от 1,0 до 500 мг/дм³. В качестве иллюстрации на рисунке 3 представлен график градуировочной зависимости для изоамилола.

В ходе работ рассчитали метрологические характеристики. Установлено, что границы относительной погрешности результатов измерений массовых концентраций летучих органических примесей в диапазоне от 1,0 до 10 мг/дм³ составляют не более 25 %, в диапазоне от 10 до 500 мг/дм³ – 18 %. Экспериментально подтверждено, что предложенный подход может быть использован для определения массовых концентраций летучих органических примесей в виски.



1 – изобутанол; 2 – изоамилацетат; 3 – 1-бутанол; 4 – изоамилол; 5 – этилкаприлат; 6 – фурфурол; 7 – уксусная кислота; 8 – этилкапринат; 9 – 2-фенилэтанол

Рисунок 2. Совмещенные хроматограммы 1-го и 10-го вводов образца виски

Figure 2. Combined chromatograms of injections 1 and 10: whiskey sample

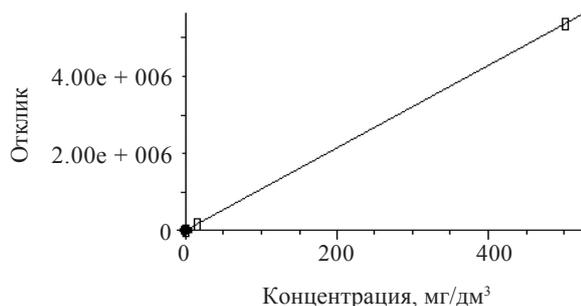


Рисунок 3. График градуировочной зависимости для изоамилола

Figure 3. Calibration curve for isoamylol

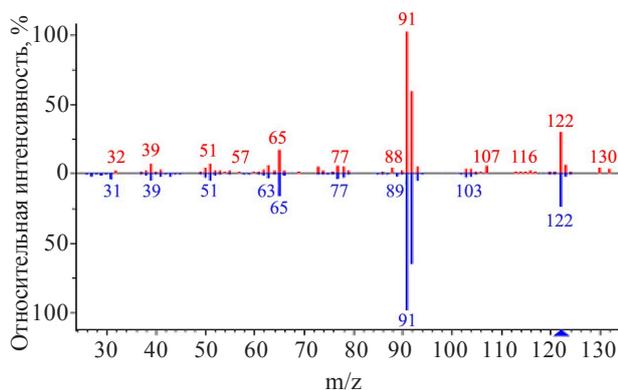


Рисунок 4. Экспериментальный (отображен сверху) и библиотечный (отображен внизу) масс-спектры 2-фенилэтанола, совпадение 92,3 %

Figure 4. Experimental (top) and library (bottom) mass spectra of 2-phenylethanol: 92.3% agreement

При реализации метода ГХ-МС традиционно идентификацию анализов проводят путем сопоставления полученного масс-спектра с масс-спектрами коммерческих баз данных, наличие которых упрощает процедуру идентификации. Условия регистрации оказывают влияние на вид масс-спектров и на результаты поиска по масс-спектрам библиотек.

На следующем этапе исследования в подобранных условиях проведен сравнительный анализ масс-спектров целевых анализов модельного раствора. На рисунке 4 представлено сопоставление масс-спектра 2-фенилэтанола, полученного в ходе настоящего исследования, и масс-спектра 2-фенилэтанола библиотеки спектров NIST 11.

Сравнительный анализ полученных в ходе настоящего исследования масс-спектров чистых веществ и масс-спектров стандартной библиотеки NIST 11 показал, что наиболее значимые отличия наблюдались не в наборе пиков фрагментарных ионов, а в значениях их интенсивностей.

Таким образом, в результате теоретических и экспериментальных исследований установлена возможность идентификации и количественного определения изобутанола, изоамилола, изоамилацетата, уксусной кислоты, фурфурола, этиллактата, этилкаприлата, этилкаприната, этиллаурата, 1-бутанола, 1-пентанола и 2-фенилэтанола в виски с применением подобранных режимов хроматографирования. В ходе работы исследовали состав летучих органических примесей виски, в том числе производства Ирландии, Чехии, Канады, Шотландии, Японии и США (табл. 2).

Анализ данных таблицы 2 показал, что сумма массовых концентраций идентифицированных летучих органических примесей варьировалась в широком диапазоне: от 312,96 до 4455,97 мг/дм³. Установлено, что по качественному химическому составу исследованные образцы сопоставимы. Однако массовые концентрации идентифицированных анализов отличались.

Наибольшие различия в качественном и количественном составе летучих органических примесей были найдены в образце Hunter Rye (Канада), где идентифицированы самые низкие массовые концентрации 1-бутанола, изоамилола, этиллактата, уксусной кислоты, фурфурола и 2-фенилэтанола. Кроме того, в образце не были обнаружены изоамилацетат, 1-пентанол, этилкаприлат, этилкапринат и этиллаурат.

Технологии производства виски разных стран различаются. Например, законодательство Канады допускает введение в состав напитка ароматизаторов. Поэтому найденные различия могут быть обусловлены особенностями процессов производства.

Органолептические характеристики виски обусловлены сочетанием ароматов химических соединений, среди которых присутствуют фурфулол, эфиры, высшие спирты и другие компоненты. Высокий потенциал количественной оценки химических соединений виски позволяет использовать их в качестве идентификаторов качества исходного сырья. Энантиовые эфиры могут выступать в качестве маркеров подлинности, количественное содержание фурфурола в напитках может увеличиваться в процессе выдержки в контакте с древесиной дуба. Кроме этого, в процессе выдержки дистиллятов в контакте с древесиной дуба происходят химические реакции с образованием различных соединений [1, 10]. Набор массивов экспериментальных данных для выявления закономерностей и оценки корреляционных зависимостей содержания летучих органических примесей в спиртных напитках может служить основой для разработки математической модели идентификации подлинности виски на основе методов искусственного интеллекта.

Процентное содержание летучих органических примесей в анализируемом образце рассчитывали

Таблица 2. Состав летучих компонентов виски

Table 2. Composition of volatile components in whiskey

Идентифицированный компонент, мг/дм ³	Виски					
	Lambay (Ирландия)	Gold Cock (Чехия)	Hunter Rye (Канада)	Kentucky Gentleman (США)	Black Label (Шотландия)	Iwai (Япония)
Изобутанол	470,99 ± 84,78	556,79 ± 100,22	Не обнаружен	491,51 ± 88,47	401,06 ± 72,19	224,03 ± 40,32
Изоамилацетат	22,19 ± 3,99	15,11 ± 2,71	Не обнаружен	12,05 ± 2,17	9,76 ± 2,44	5,45 ± 1,36
1-бутанол	10,41 ± 2,60	3,54 ± 0,89	1,04 ± 0,26	4,32 ± 1,08	7,44 ± 1,86	3,36 ± 0,84
Изоамилол	1369,00 ± 246,40	1849,00 ± 332,80	95,16 ± 17,12	2006,00 ± 361,10	656,69 ± 118,20	514,67 ± 92,64
1-пентанол	1,30 ± 0,33	1,42 ± 0,36	Не обнаружен	1,980 ± 0,495	Не обнаружен	Не обнаружен
Этиллактат	29,12 ± 5,24	500,44 ± 90,07	1,81 ± 0,45	15,01 ± 2,70	15,48 ± 2,78	11,15 ± 2,01
Этилкаприлат	18,10 ± 3,25	62,74 ± 11,29	Не обнаружен	5,50 ± 1,38	51,73 ± 9,31	5,85 ± 1,46
Уксусная кислота	446,47 ± 80,36	974,16 ± 175,34	198,45 ± 35,72	753,35 ± 135,60	348,23 ± 62,68	309,30 ± 55,67
Фурфурол	99,48 ± 17,90	286,91 ± 51,64	6,87 ± 1,71	47,73 ± 8,59	33,46 ± 6,02	38,66 ± 6,95
Этилкапринат	11,15 ± 2,01	95,09 ± 17,11	Не обнаружен	6,01 ± 1,50	275,14 ± 49,52	5,24 ± 1,31
Этиллаурат	24,32 ± 4,37	32,85 ± 5,91	Не обнаружен	Не обнаружен	57,97 ± 10,43	10,68 ± 2,67
2-фенилэтанол	76,70 ± 13,80	77,92 ± 14,02	9,63 ± 2,40	64,19 ± 11,55	28,10 ± 5,06	27,57 ± 4,96

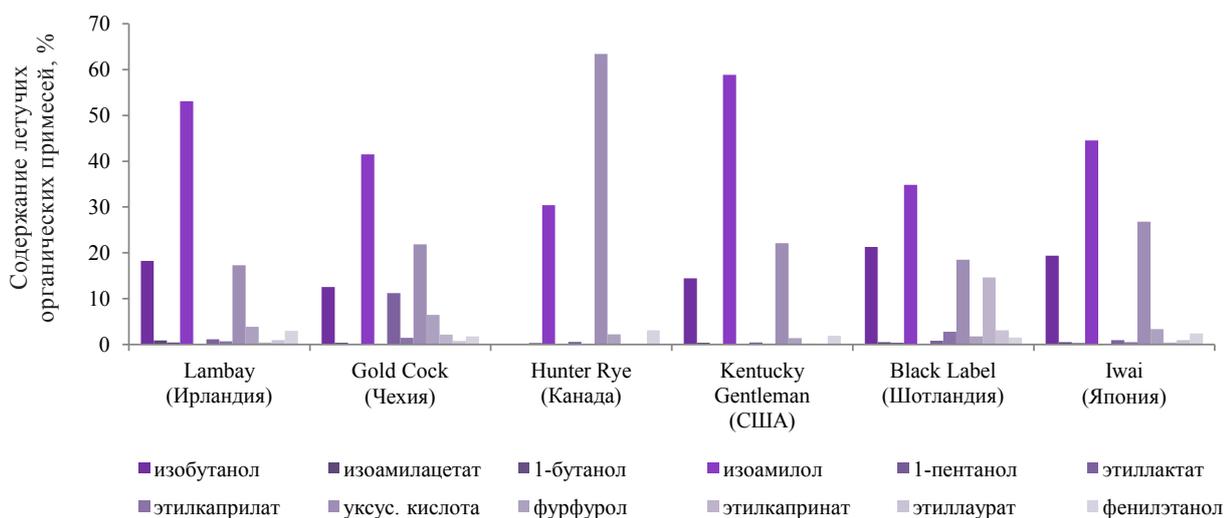


Рисунок 5. Содержание летучих органических примесей в исследованных образцах

Figure 5. Content of volatile organic impurities in all samples

как соотношение массовой концентрации индивидуального аналита к сумме идентифицированных примесей (рис. 5).

Анализ результатов позволил выявить отличия в составе образца виски Hunter Rye, в котором обнаружена самая низкая доля изоамилола (30,4 %) и самая высокая доля уксусной кислоты (63,4 %). Доля 1-бутанола составила 0,3 %, этиллактата – 0,6 %, фурфурола – 2,2 %, 2-фенилэтанола – 3,1 %. Высокие концентрации уксусной кислоты могут оказывать негативное влияние на органолептическую оценку спиртного напитка. В составе остальных исследованных образцов наибольшая доля к общей

сумме обнаруженных летучих примесей приходится на изоамилол 34,84–58,08 %, уксусную кислоту 17,31–26,76 % и изобутанол 12,50–21,28 %. Доля остальных идентифицированных химических соединений менее значительна: изоамилацетат 0,34–0,86 %, 1-бутанол 0,13–0,39 %, 1-пентанол 0,03–0,06 %, этиллактат 0,40–11,20 %, этилкаприлат 0,16–2,74 %, фурфурол 1,40–6,44 %, этилкапринат 0,18–14,60 %, этиллаурат 0,74–2,97 % и 2-фенилэтанол 1,75–2,39%.

В последние годы потребители стали проявлять большой интерес к таким спиртным напиткам, как ром, текила и самогон, поэтому исследование их химического состава представляет научный и

Таблица 3. Состав летучих органических примесей спиртных напитков

Table 3. Composition of volatile organic impurities in alcoholic beverages

Идентифицированный компонент, мг/дм ³	Спиртные напитки					
	Чача (Грузия)	Ромовый дистиллят невыдержанный (Доминикана)	Ром (Ямайка)	Текила (Мексика)	Бренди (Россия)	Яблочный самогон (Армения)
Изобутанол	115,62 ± 20,81	1,29 ± 0,32	169,15 ± 30,44	220,95 ± 39,77	278,23 ± 50,08	144,57 ± 26,02
Изоамилацетат	1,08 ± 0,27	Не обнаружен	1,09 ± 0,27	Не обнаружен	2,38 ± 0,60	Не обнаружен
1-бутанол	3,20 ± 0,80	4,50 ± 1,13	2,56 ± 0,64	4,15 ± 1,04	11,43 ± 2,05	46,40 ± 8,35
Изоамилол	1153,50 ± 207,60	258,02 ± 46,44	484,11 ± 87,14	609,26 ± 109,66	1249,90 ± 225,00	979,67 ± 176,34
1-пентанол	2,19 ± 0,55	Не обнаружен	0,54 ± 0,14	Не обнаружен	Не обнаружен	1,03 ± 0,26
Этиллактат	67,47 ± 12,14	8,69 ± 2,17	1,900 ± 0,475	107,96 ± 19,43	95,60 ± 17,2	476,70 ± 85,8
Этилкаприлат	Не обнаружен	3,83 ± 0,957	2,130 ± 0,532	5,77 ± 1,44	16,95 ± 3,05	4,45 ± 1,11
Уксусная кислота	123,49 ± 22,22	108,46 ± 19,52	15,21 ± 2,74	192,63 ± 34,67	102,96 ± 18,53	139,83 ± 25,16
Фурфурол	Не обнаружен	7,37 ± 1,84	10,08 ± 2,52	54,64 ± 9,83	27,21 ± 4,89	134,11 ± 24,14
Этилкапринат	Не обнаружен	Не обнаружен	9,90 ± 2,48	25,77 ± 4,64	14,18 ± 2,55	92,82 ± 16,70
Этиллаурат	Не обнаружен	Не обнаружен	3,350 ± 0,837	Не обнаружен	Не обнаружен	Не обнаружен
2-фенилэтанол	7,46 ± 1,86	Не обнаружен	3,96 ± 0,99	16,09 ± 2,89	5,48 ± 1,37	20,72 ± 3,73

практический интерес. Подобранные режимы хроматографического разделения и масс-спектрометрического детектирования для определения летучих органических примесей опробованы на образцах чачи, рома, текилы, бренди, самогона и выдержанных и невыдержанных ромовых и зерновых дистиллятах, произведенных в Грузии, Доминиканке, Ямайке, Мексике, России и Армении. В ходе исследования получены новые экспериментальные данные о составе спиртных напитков с применением метода газовой хроматографии и масс-селективного детектирования (табл. 3).

Наибольшее суммарное содержание летучих органических примесей (2040,30 мг/дм³) обнаружено в яблочном самогоне (Армения), наименьшее (392,16 мг/дм³) – в невыдержанном ромовом дистилляте (Доминикана). Отличия в качественном и количественном составе идентифицированных аналитов объясняются различиями в исходном сырье и технологическими приемами производства.

В ходе исследования экспериментально подтверждена возможность селективного определения изобутанола, изоамилола, изоамилацетата, уксусной кислоты, фурфурола, этиллактата, этилкаприлата, этилкаприната, этиллаурата, 1-бутанола, 1-пентанола и 2-фенилэтанола в виски, чаче, роме, текиле, бренди и самогоне методом газовой хромато-масс-спектрометрии без пробоподготовки. Установлено, что предложенный подход может быть применен для определения качественного и количественного состава летучих соединений в выдержанных и невыдержанных ромовых и

зерновых дистиллятах. Таким образом, возможность достоверной идентификации и количественного анализа летучих органических примесей на базе метода газовой хромато-масс-спектрометрии будет способствовать развитию технологий производства спиртных напитков и выявлению фальсификаций.

Результаты, полученные в ходе настоящего исследования с применением метода газовой хроматографии с масс-селективным детектированием, не противоречат и согласуются с данными о химическом составе дистиллированных напитков, полученных с применением метода газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием. Одним из преимуществ предложенного подхода к определению летучих органических примесей в спиртных напитках является потенциал масс-спектрометрии для идентификации аналитов, который позволяет проводить идентификацию не только по времени удерживания, но и путем сравнения библиотечных и экспериментальных масс-спектров.

Выводы

На основе метода газовой хромато-масс-спектрометрии предложен новый способ качественного и количественного определения изобутанола, изоамилола, изоамилацетата, уксусной кислоты, фурфурола, этиллактата, этилкаприлата, этилкаприната, этиллаурата, 1-бутанола, 1-пентанола и 2-фенилэтанола в чаче, виски, роме, текиле, бренди, самогоне и выдержанных и невыдержанных ромовых и зерновых дистиллятах, отличающийся от известных экспрессностью, отсутствием пробоподготовки и высокой степенью надежности идентификации.

Подобраны условия хроматографического разделения и спектрометрического детектирования для 12 наиболее характерных для спиртных напитков летучих органических примесей за 17 мин. Установлено, что границы относительной погрешности измерений в диапазоне от 1,0 до 500 мг/дм³ не превышают 25 %.

Предложенный подход может быть рекомендован для разработки аттестованной методики определения массовой концентрации летучих органических примесей в спиртных напитках методом газовой хромато-масс-спектрометрии для использования в качестве референтного метода анализа.

Критерии авторства

Исследование было задумано, реализовано, проанализировано и описано авторами коллективно.

Рукопись вычитана и принята в представленной версии как окончательная всеми авторами.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The study was designed, implemented, analyzed, and described by all the authors, who contributed to manuscript revision, read, and approved the final version.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Rudakov OB, Nikitina SYu. Trends in the analytical quality control of the potable ethanol. *Analytics and Control*. 2017;21(3):180–196. (In Russ.). <https://doi.org/10.15826/analitika.2017.21.3.010>
2. Shelekhova NV, Shelekhova TM, Skvortsova LI, Poltavskaya NV. Modern condition and prospects of development of quality control of alcohol products. *Food Industry*. 2019;(4):117–119. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10059>
3. Rimareva LV, Overchenko MB, Serba EM, Ignatova NI, Shelekhova NV. Influence of phytolytic and proteolytic enzymes on conversion of wheat and corn grain polymers. *Agricultural Biology*. 2021;56(2):374–383. (In Russ.). <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2021.2.374eng>
4. Oganesyants LA, Krikunova LN, Dubinina EV, Shvets SD. Evaluation of the fermentation activators use prospects in the technology of corneliancherries distillates. *Polzunovskiy Vestnik*. 2020;(3):24–30. (In Russ.). [Оценка перспектив применения активаторов брожения в технологии дистиллятов из плодов кизила / Л. А. Оганесянц [и др.] // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 24–30.].
5. Rimareva LV, Serba EM, Overchenko MB, Shelekhova NV, Ignatova NI, Pavlova AA. Enzyme complexes for activating yeast generation and ethanol fermentation. *Foods and Raw Materials*. 2022;10(1):127–136. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-127-136>.
6. Marzi Khosrowshahi E, Ghalkhani M, Afshar Mogaddam MR, Farajzadeh MA, Sohoul E, Nemati M. Evaluation of MXene as an adsorbent in dispersive solid phase extraction of several pesticides from fresh fruit juices prior to their determination by HPLC-MS/MS. *Food Chemistry*. 2022;386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132773>
7. Dubinina EV, Krikunova LN, Trofimchenko VA, Tomgorova SM. Comparative evaluation of the cornel berry fermentation methods in the production of distillates. *Beer and Beverages*. 2020;(2):45–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10020>
8. Borodulin DM, Reznichenko IYu, Prosin MV, Shalev AV. Comparative analysis of extraction methods in distilled drinks production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;640(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022060>
9. Borodulin DM, Shalev AV, Safonova EA, Prosin MV, Golovacheva YaS, Vagaytseva EA. Development of new mash filters for craft beer brewing. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(4):630–641. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-630-641>
10. Nikitina SYu, Shahov SV, Gordienko AS. Experience in implementing a new technology for the joint production of rectified ethyl alcohol and alcohol distillate from fermented grain raw materials. *Beer and Beverages*. 2020;(4):10–15. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10037>
11. Bessonov VV, Bogachuk MN, Bokov DO, Makarenko MM, Malinkin AD, Sokurenko MS, *et al.* Databases of the chemical composition of foods in the era of digital nutrition science. *Problems of Nutrition*. 2020;89(4):211–219. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10058>
12. Mizanbekova SK, Bogomolova IP, Shatohina NM. Prospects for digital and innovative technologies in management competitiveness of enterprises. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(2):372–382. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-2-372-382>

13. Buglass AJ. Handbook of alcoholic beverages: Technical, analytical and nutritional aspects. John Wiley & Sons; 2011. 1208 p. <https://doi.org/10.1002/9780470976524>
14. Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuz'mina EI, Sviridov DA. Use of modern instrumental analysis methods for establishing geographical place of wine products origin. *Beer and Beverages*. 2019;(4):59–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2019-10002>
15. Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuzmina EI, Ganin MYu. Isotopes of carbon, oxygen, and hydrogen ethanol in fruit wines. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(4):717–725. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-717-725>
16. Cui Y, Lai G, Wen M, Han Z, Zhang L. Identification of low-molecular-weight color contributors of black tea infusion by metabolomics analysis based on UV-visible spectroscopy and mass spectrometry. *Food Chemistry*. 2022;386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132788>
17. Shelekhova NV, Shelekhova TM. Study of an ethanol extract of oak wood by capillary electrophoresis, gas chromatography, and chromatography-mass spectrometry. *Sorption and Chromatography Processes*. 2021;21(6):868–878. (In Russ.). [Шелехова Н. В., Шелехова Т. М. Исследование этанольного экстракта древесины дуба методами капиллярного электрофореза, газовой хроматографии, хромато-масс-спектрометрии // Сорбционные и хроматографические процессы. 2021. Т. 21. № 6. С. 868–878.].
18. Lebedev AT. Mass spectrometry in organic chemistry. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy; 2003. 493 p. (In Russ.). [Лебедев А. Т. Масс-спектрометрия в органической химии. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. 493 с.].
19. Su D, He J-J, Zhou Y-Z, Li Y-L, Zhou H-J. Aroma effects of key volatile compounds in Keemun black tea at different grades: HS-SPME-GC-MS, sensory evaluation, and chemometrics. *Food Chemistry*. 2022;373. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131587>
20. Pavlidis DE, Mallouchos A, Ercolini D, Panagou EZ, Nychas G-E. A volatilomics approach for off-line discrimination of minced beef and pork meat and their admixture using HS-SPME GC/MS in tandem with multivariate data analysis. *Meat Science*. 2019;151:43–53. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.01.003>
21. Zaikin VG, Borisov RS. Review. Mass spectrometry as the most important analytical basis for a number of omics sciences. *Mass Spectrometry*. 2021;18(1):4–31. (In Russ.). [Заикин В. Г., Борисов Р. С. Обзор. Масс-спектрометрия как важнейшая аналитическая основа ряда омических наук // Масс-спектрометрия. 2021. Т. 18. № 1. С. 4–31.].

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2408>
<https://elibrary.ru/GDNTTU>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Оценка методов получения топленых животных жиров



Е. А. Вечтомова*, О. В. Козлова, М. М. Орлова

Кемеровский государственный университет , Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 28.03.2022
Принята после рецензирования: 07.06.2022
Принята к публикации: 05.07.2022

*Е. А. Вечтомова: vechtomowa.lena@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6842-4537>
О. В. Козлова: <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

© Е. А. Вечтомова, О. В. Козлова,
М. М. Орлова, 2022



Аннотация.

Увеличение объемов производства функциональных продуктов питания делает актуальным поиск нового нетрадиционного сырья и подбор способов его переработки. Особый интерес представляют способы получения биологически активных веществ липидной природы из ценного сырья, полученного от животных охотничьего промысла (медведя, барсука, сурка и бобра). Цель обзора заключалась в анализе и оценке существующих методов получения топленого жира из жира-сырца.

Объектами анализа являлись данные научных статей, патентов и исследований по вопросу извлечения липидной фракции из сырья животного происхождения с 2017 по 2021 гг. В работе рассматривались различные способы извлечения жиров. Проводились систематизация, анализ и описание.

Были рассмотрены существующие способы извлечения липидных компонентов, которые могут быть применены в процессе вытопки жира из нетрадиционного сырья животного происхождения, а также показаны их преимущества и недостатки. При использовании «сухого» способа вытопки нагрев жировой ткани осуществляется кондуктивным методом, что приводит к окислительным процессам и снижению качества готового продукта. «Мокрый» способ извлечения жира осуществляется путем взаимодействия жира-сырца с греющим агентом – водой или острым паром, что при варьировании температуры и продолжительности воздействия позволяет сохранить свойства и качество продукта. «Мокрые» способы вытапливания являются наиболее эффективными, т. к. позволяют получить готовый продукт высокого качества и повысить выход ценных липидных компонентов. С целью ускорения технологического процесса при «мокром» методе воздействия возможно использование биокаталитического способа. Результаты исследования могут быть использованы при разработке схем получения биологически активных веществ липидной природы из ценного дорогостоящего сырья, полученного от животных охотничьего промысла.

Ключевые слова. Жир, жир-сырец, вытопка, качество, животные охотничьего промысла

Для цитирования: Вечтомова Е. А., Козлова О. В., Орлова М. М. Оценка методов получения топленых животных жиров // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 797–806. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2408>

Evaluation of Methods for Obtaining Rendered Animal Fats



Elena A. Vechtomova*^{ORCID}, Oksana V. Kozlova^{ORCID}, Maria M. Orlova

Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: 28.03.2022
Revised: 07.06.2022
Accepted: 05.07.2022

*Elena A. Vechtomova: vechtomowa.lena@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6842-4537>
Oksana V. Kozlova: <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

© E.A. Vechtomova, O.V. Kozlova, M.M. Orlova, 2022



Abstract.

The increase of functional food production makes the search for new non-traditional raw materials and the selection of methods for their processing relevant. Methods for obtaining biologically active substances of a lipid nature from valuable raw materials extracted from hunting animals (bear, badger, marmot and beaver) are of particular interest. The purpose of this review is to analyze the existing methods of obtaining rendered fat from raw fat and evaluate them.

The objects of analysis were the data of scientific articles, patents and studies on the extraction of the lipid fraction from raw materials of animal origin from 2017 to 2021. In the work, various methods for extracting fats were considered. Their systematization, analyze, and description were carried out, indicating the advantages and disadvantages.

The considered methods for extracting lipid components can be used in the process of rendering fat from non-traditional raw materials of animal origin. When using the dry rendering method, the heating of adipose tissue is carried out by the conductive method, which leads to oxidative processes and a decrease in the quality of the finished product. The wet rendering method is carried out by interacting raw fat with a heating agent – water or live steam, which, by varying the temperature and duration of exposure, allows to preserve the properties and quality of the product.

Wet rendering methods are the most effective. These methods allow to obtain a high-quality finished product, as well as to produce the maximum yield of valuable lipid components of raw materials. To accelerate the technological process with the wet method of exposure, it is possible to use a biocatalytic method. The results of the research can be used in the development of schemes for obtaining biologically active substances of a lipid nature from valuable expensive raw materials extracted from hunting animals.

Keywords. Fat, raw fat, rendering, quality, hunting animals

For citation: Vechtomova EA, Kozlova OV, Orlova MM. Evaluation of Methods for Obtaining Rendered Animal Fats. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):797–806. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2408>

Введение

Жиры – это органические соединения сложного химического состава, добываемые из животного и растительного сырья. Несмотря на природу сырьевого источника, из которого получен жир, по химической природе все жиры состоят из глицерина и различных жирных кислот. Именно состав и свойства жирных кислот определяют физические, физико-химические и биологические свойства жиров. Биологическая роль животных жиров охотничьего промысла связана с уникальным составом полиненасыщенных жирных кислот (арахионовая, линолевая и линоленовая), который формируется благодаря разнообразному рациону животного [1]. Но биологическая роль жиров не ограничивается жирно-кислотным составом. Огромное значение имеют содержащиеся

в нем различные сопутствующие жироподобные компоненты, такие как фосфатиды, стеролы и витамины групп А, D, Е и В (В₁, В₂, В₃, В₁₂).

Актуален вопрос поиска новых сырьевых ресурсов для получения биологических субстанций, обладающих функциональными свойствами [2, 3]. В связи с этим дериваты животных охотничьего промысла представляют особый интерес [4].

Свойства медвежьего жира зависят от ареала обитания медведя, а также от времени года, в которое было убито животное. Было установлено, что жир, добытый в год высокой урожайности ягод, обладает более высокой устойчивостью при хранении, т. к. ягода является природным антиокислителем. Жир северных медведей Европейской части России обладает способностью продолжительное время

сохранять свое качество при хранении, но его состав отличается от жира медведей, проживающих на территории Северного Кавказа или Камчатки. Факторами, влияющими на данную способность, являются качество природных кормовых баз и чистота вод.

В медвежьем жире мононенасыщенные жирные кислоты составляют 50 %, основная доля которых приходится на олеиновую кислоту – более 46 %. К насыщенным жирным кислотам относятся миристиновая, пальмитиновая и стеариновая. Медвежий жир представляет собой источник полезных веществ, таких как холин, тритерпеновые аминокликозиды, белки, тимусамины, гепатимины, церабрамины, панаксозиды, железо, кальций и медь. Данный вид сырья характеризуется высокой калорийностью: при сгорании 1 г жира выделяется более 9,3 ккал энергии. Благодаря данным веществам медвежий жир применяется при лечении широкого спектра заболеваний: нарушения в деятельности центральной нервной системы, заболевания репродуктивных органов, высокая утомляемость, ожоги, патологии бронхолегочной системы и др.

Бобровый жир схож с жирами других животных. Высокое йодное число говорит о большом содержании в нем жизненно важных ненасыщенных жирных кислот. Бобровый жир светло-коричневого цвета получают из перетопленного сала животного. Особенностью бобрового жира является его способность сохранять в своем составе большую часть полезных компонентов, которые получило животное благодаря экологически чистому рациону. Липиды жировой ткани бобра содержат жирные кислоты длиной цепи от 12 до 22 атомов углерода. Зафиксировано большое содержание альфа-линоленовой кислоты (в среднем 20 %) и суммы n-3 жирных кислот (в среднем 20,45 %).

В народной медицине бобровый жир получил применение благодаря своим противовоспалительным и антибактериальным свойствам. Его применяют при многих дерматологических заболеваниях. Также он способен уменьшить боль при ушибах и растяжениях суставов и улучшить тонус при восстановлении организма после заболевания.

Отличительной особенностью жира сурка является его способность сохранять свою консистенцию, не затвердевая на морозе. Жир сурка имеет уникальный состав, в котором присутствуют витамины (в том числе Д и К, а также каротин), гормоны и бактерицидные вещества. Цвет от чисто-белого до кремово-желтого. В летнее время года в жире сурка содержится гораздо меньше воды, чем в зимнее. Методом хромато-масс-спектрометрии в его составе идентифицировано 36 высокомолекулярных жирных кислот. В максимальном количестве содержатся пальмитиновая,

пальмитолеиновая, олеиновая, вакценовая, линолевая и линоленовая кислоты. Установлено присутствие полиненасыщенных жирных кислот.

Жир сурка применялся в народной медицине при лечении легких и дыхательных путей. Ручной массаж грудной клетки с применением жира сурка помогает эффективно вылечиться от простуды, кашля, ангины, воспаления легких и ОРЗ. Также его применяют при различных кожных заболеваниях и для устранения ран и ожогов. Исследования доказали, что жир обладает бактерицидными свойствами. Жир сурка используется в качестве эффективного средства, оказывающего противовоспалительные действия и способствующего укреплению иммунитета.

Благодаря схожести с медведем жир барсука обладает аналогичными свойствами. Состав барсучьего жира разнообразен. В него входят витамины групп А, Е, В (В₂, В₆, В₁₂) и кислоты: линолевая и другие из класса омега-3, линоленовая из класса омега-6 и олеиновая из класса омега-12. Официального применения в медицине не зафиксировано. Но в народной медицине жир барсука нашел широкое применение, особенно при заболеваниях дыхательной системы [5].

Для употребления животного жира человеком он должен отвечать следующим требованиям: обладать лечебной ценностью, отличаться высоким качеством, иметь отличные органолептические свойства (цвет, запах, вкус, консистенция), а также быть устойчивым к порче в процессе хранения и транспортировки. Органолептические показатели соответствуют компонентам, которые были накоплены в процессе жизнедеятельности. Плохое качество жира выражается в его прогоркании. Основными факторами, приводящими к данному процессу, являются нарушение процессов хранения, а также неправильный выбор способа переработки сырья. При повышении температуры выше 42 °С происходит увеличение скорости распада гидроперекисей, что приводит жир в негодность. Благодаря низкому содержанию влаги (0,1–0,3 %) белки присутствуют в небольшом количестве, а углеводы отсутствуют. Увеличивается устойчивость не только к процессам окисления, но и к биологической порче. Однако для достижения этого необходимо правильно подготавливать продукт к вытопке и контролировать чистоту промываемой воды. Одним из важных требований является качество проведения процесса вытопки. Необходимо учесть свойства каждого вида жира и провести вытопку при определенной температуре и продолжительности, а также обеспечить ее чистоту от микробиологических и физических загрязнений в целях предотвращения порчи в процессе хранения и попадания в организм человека инородных тел [6].

Целью работы являлись систематизация и оценка методов получения топленого жира из жира-

сырца, выявление наиболее эффективного способа извлечения и сохранения в процессе вытопки ценных липидных компонентов, а также определение качества готового продукта.

Объекты и методы исследования

К основному сырью в производстве нетрадиционных животных жиров можно отнести жировую ткань зимоспящих млекопитающих. В связи с этим по виду сырья, из которого получена жировая ткань, жир-сырец может быть классифицирован следующим образом: медвежий, сурчинный, бобровый и барсучий.

По месту локализации жировой ткани различают нутряной и подкожный жиры. Подкожный жир располагается под кожей зверя и локализуется в хребтовой и боковых частях туши, а также в брюшной полости животного. Он окружается прослойками мышечной и соединительной тканей, что затрудняет его извлечение и переработку. Подкожный жир представляет собой однородную структуру, практически лишенную прослоек мяса, и составляет наибольшую массу жира-сырца, которую извлекают из туши. Подкожный жир обладает высокой проникающей способностью [5]. Однако этот вид жира имеет более низкую температуру плавления и более высокую усвояемость организмом человека. По физическим свойствам подкожный жир-сырец незначительно уступает нутряному. Основными отличиями являются значения йодного числа и титра жирных кислот, а также температура плавления. В результате добычи подкожный и нутряной жиры объединяют и реализуют в виде купажа, что способствует получению сырья более высокого качества. Нутряной жир необходимо извлекать в короткие сроки после отстрела животного во избежание каталитических процессов разложения. Существует ряд способов для качественного извлечения нутряного жира с дальнейшей консервацией.

Количество жировой ткани в процентном соотношении к массе тела у разных животных отличается. Это связано с образом жизни особей различных видов [6, 7]. У сурка количество жировой ткани самое высокое, т. к. он раньше остальных впадает в спячку. Количество жира у зимоспящих животных неравномерно в течение года и может колебаться от 2 до 35 % с весны по осень. Медведи с большим запасом жира чаще встречаются в урожайные годы. Качество жира-сырца определяется возрастом особей: у детенышей и молодых особей жировая ткань представлена межмышечным жиром, а у половозрелых особей наиболее развит подкожный и нутряной жиры [8]. Качество непищевого топленого жира зависит от возраста особи и ее упитанности, а также определяется качеством жира-сырца [9].

Результаты и их обсуждение

Технологический процесс производства топленых жиров из жировой ткани зимоспящих животных может быть представлен в следующем виде (рис. 1).

Топленый жир вырабатывают из жировой ткани путем вытапливания и отделения от соединительной ткани до остаточного содержания массовой доли влаги, равной 0,1 %.

Учеными предложено огромное количество различных способов получения топленых жиров, отличающихся по производительности, эффективности и влиянию на физико-химические показатели получаемого продукта.

В мясной и мясоперерабатывающей промышленности наибольшее распространение получил тепловой метод извлечения жира, реализуемый путем вытопки, которая может осуществляться «сухим» или «мокрым» способами. В зависимости от аппаратного решения цеха вытопка может осуществляться в аппаратах периодического и/или непрерывного действия, работающих при атмосферном избыточном давлении или под вакуумом [8].

«Сухой» способ извлечения жира осуществляется путем кондуктивного нагрева жира-сырца с греющей поверхностью. Влага, содержащаяся в жировой ткани, испаряется, белки денатурируют, оболочки жировой ткани дегидратируют, становятся хрупкими и в дальнейшем разрушаются, жир под действием температуры расплавляется и выделяется из клеток. При этом способе значительная часть расплавленного жира адсорбируется поверхностью белковых частиц с образованием двух фаз: жидкой в виде расплавленного жира и твердой в виде шквары [9]. Увеличить выход топленого жира при «сухом» способе извлечения возможно только при физическом способе воздействия – прессовании или центрифугировании [10].

При использовании «мокрого» способа вытопки жировая ткань находится в контакте с греющим агентом – водой или острым паром [11]. В результате такого нагрева белки жировой ткани денатурируют, коллаген подвергается гидролитической деагрегации и гидролизу. Также происходит разрыв оболочек жировых клеток с высвобождением расплавленного жира, который переходит в раствор. При использовании «мокрого» способа вытопки получается система, состоящая из трех фаз: жира, бульона и шквары [12, 13].

Прогрессивным методом извлечения жира принято считать экстракцию под действием растворителей. Основным преимуществом данного метода воздействия является максимально полное, по сравнению с вытопкой, извлечение жира. Однако применение данного метода в промышленных условиях затруднительно, т. к. используется сложное оборудование, а также химические реагенты в качестве экстрагента. Основным недостатком такого

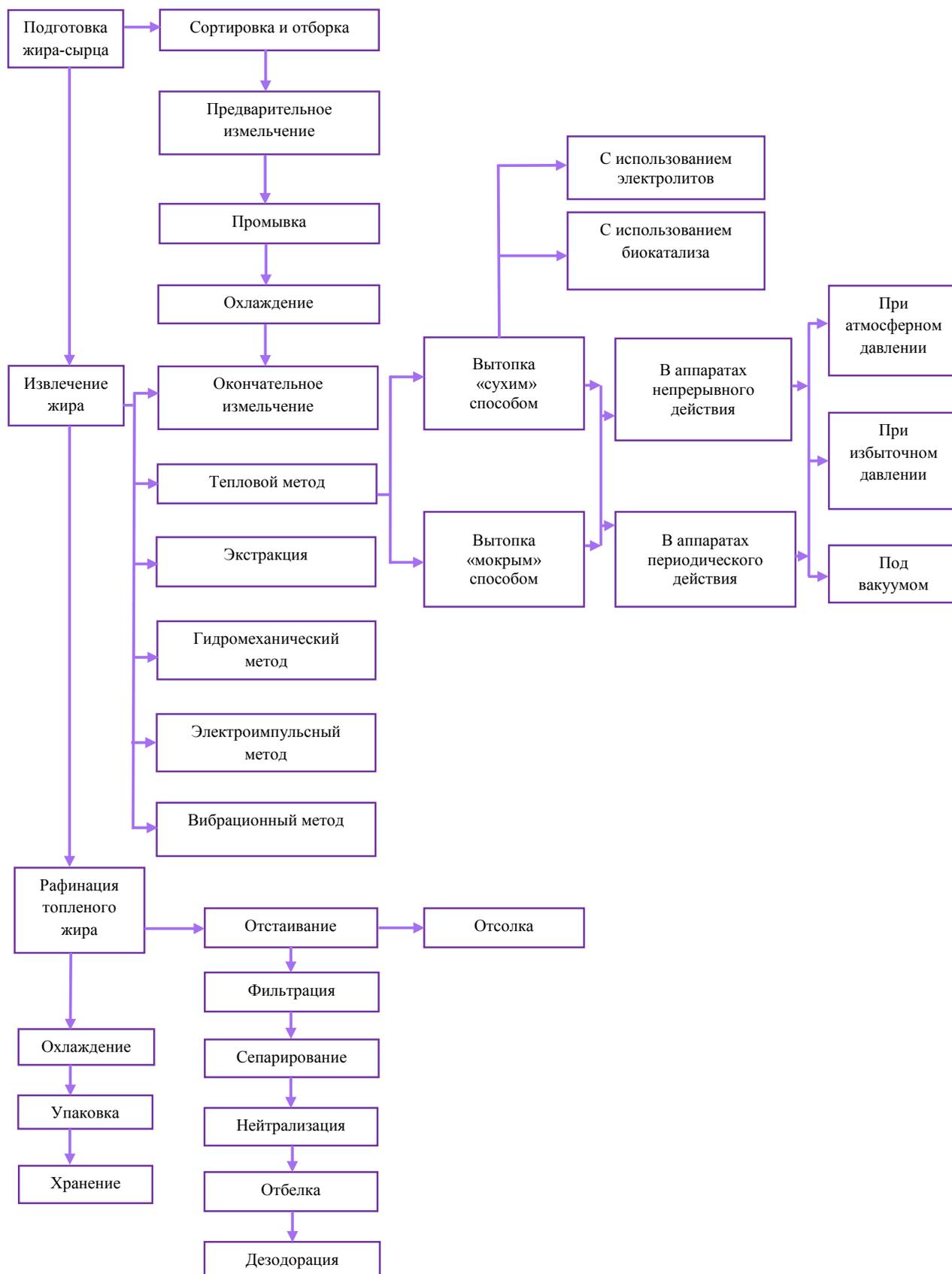


Рисунок 1. Векторная схема производства топленых животных жиров

Figure 1. Vector diagram of rendered animal fat production

метода экстракции является необходимость проведения отмывки полученного жира от остатков растворителя [14].

Прогрессивными также считают импульсные (гидромеханический и электроимпульсный) методы воздействия на жир-сырец, основанные на использовании кавитационных и гидравлических импульсов. Под действием данных импульсов разрушаются связи, удерживающие жировые клетки в составе тканей. Вибрационный метод представляет собой модификацию «мокрого» способа вытопки с воздействием на сырье механического перемешивания, вибрации и температуры. Однако в промышленности данные методы нашли применение только при получении жира из кости [15].

Известен способ вытапливания жира в полевых условиях. Для данного способа используют «паровые бани» или котлы открытого типа. Температуру в котлах поднимают до 180–200 °С, в результате чего происходит кипение жировой массы. Основным недостатком данного способа является то, что низкомолекулярные жирные кислоты способны улетучиваться, а высокомолекулярные полимеризоваться, тем самым приводя к снижению полезных свойств готового жира. При нагревании на «паровой бане» при температуре 50–80 °С жировая масса прогревается медленно. Активизируется действие фермента липазы, содержащегося в жировой массе, который нарушает состав жира, что приводит к ухудшению его свойств. Жир, вытопленный данным способом, может подвергаться окислению, что способствует порче. Использование высокой температуры нежелательно, т. к. слишком высокий нагрев может привести к подгоранию и прогорканию жира [16].

Одним из «мокрых» методов получения сырья является нагревание в импульсном аппарате с добавлением воды. Вытапливание проводят при температуре 70–98 °С с применением гидромеханических импульсов в соотношении воды и сырца 2:1 и 3:1. Водная среда помогает извлечь жировые частицы легко и в большом количестве. Недостатком данного метода является активация фермента липазы, которая приводит к порче готового продукта. Благодаря тому что белки способны растворяться в воде, а смешивание жира с водой не осуществляется, срок хранения топленого жира увеличивается [17, 18].

В. В. Колесниковым был опробован метод вытапливания жира в СВЧ-печи. Жир-сырец предварительно подвергался измельчению, а затем смешивался с водой в соотношении 2:3. Для обеспечения необходимого зазора для бурнокипящей жидкости емкость не заполняется полностью. В. В. Колесниковым было проведено большое количество опытов, которые показали, что стоит использовать посуду из стекла с наклонными, расширяющимися кверху стенками. Режим работы

агрегата максимальный (900 W), время кипячения – 15–20 мин. Средний выход жира составляет примерно 80 %, а показатели органолептической оценки соответствует норме [19].

Существует еще ряд способов вытапливания жира. Основной целью одной из технологий является обработка шквары. Полученная в результате вытапливания жира шквара обезвоживается до содержания массовой доли влаги 11–45 %, а затем обезжиривается. Для проведения данного метода и сохранения полезных свойств жиров и более полного их извлечения используется центрифуга отстойного типа.

Способ вытапливания пищевых жиров из мягкого животного сырья заключается в следующем. Технологический процесс начинается с предварительного прохождения стадии измельчения на коллоидной мельнице до 100–200 мк. После этого измельченная масса поступает в зону для нагрева, куда под давлением 1–1,1 атм. подают горячий воздух, нагретый до температуры 400–500 °С. Происходит снижение вязкости жира. Подхватываемый воздухом жир переносится в зону плавления. Осуществляется процесс смешивания горячего воздуха с жиром, затем реализуется равномерное снижение нагретого воздуха до температуры 90–100 °С, после чего выполняется перемещение жира в зону сушки. Там жир подвергается воздействию температуры 400–500 °С, что способствует качественному удалению примесей. После расплавления жир равномерно стекает в сепаратор, где проводится стадия отделения шквары от вытопленного жира. Заключительными стадиями при производстве топленого жира являются охлаждение и расфасовка продукта. При использовании данного способа жир получается хорошего качества, стойкий при хранении. Недостатком такого способа является длительность процесса [20].

С.-У. Ли и др. был разработан способ переработки жиросодержащего сырья животного происхождения. Метод заключается в рациональном использовании фузы для предотвращения загрязнения окружающей среды отходами производства. Одной из стадий является ее измельчение с последующим вытапливанием паром и центрифугированием. В процессе получается шквара и жировая суспензия, которая затем поступает на сепарацию с получением воды и фузы. Далее осуществляют нагрев фузы, консервацию формалином и сантохином в соотношении 1:3, и проводят процесс диспергирования, после чего переходят на стадии упаковки и охлаждения [21].

Существует ряд различных технологических решений при получении топленого жира, методы которых основаны на механическом и тепловом разрушении соединительных тканей. Известны и другие способы: экстрагирование, обработка химическими веществами (кислотами, щелочами),

электрохимический и микроволновый. Но все они имеют ряд недостатков: жесткие условия, низкая эффективность, высокие затраты. Одним из эффективных способов является вытопка жира при помощи электролита, который используется для водной фазы при мокром вытапливании.

Получение качественного топленого жира включает в себя ряд операций: предварительное измельчение жировой ткани (жира-сырца), процесс смешивания с жидкой средой – электролитом (католитом), термическая обработка, перемешивание на каждой стадии нагрева, отделение жира с последующим обезвоживанием путем отгонки при остаточном давлении 20 мм рт. ст. [22].

Существует способ получения пищевого жира с применением предварительного охлаждения. Процесс осуществляется в 2 стадии: вначале производят интенсивный нагрев до температуры 80–85 °С, а затем жировое сырье, подвергшееся извлечению, отправляют на следующую стадию – охлаждение. При предварительной температуре нагрева 56 °С не осуществляется процесс свертывания белков. Одной из ключевых особенностей данного метода является предварительное извлечение влаги из сырья. Данная стадия позволяет ускорить процесс вытопки, т. к. сырье с меньшим количеством влаги требует меньше времени. После окончания процесса вытопки жир сливают, а шквару подвергают сушке. При сушке шквары важно не допустить процесса ее подгорания. Для отделения остаточного жира шквару помещают на сито. Продолжительность нахождения шквары на сите зависит от количества жира, оставшегося в ней. Этот метод отличается высоким выходом продукта и его качеством, а также получением шквары хлопьевидной формы [23].

В мясной и мясоперерабатывающей промышленности производство топленых жиров реализуется на поточно-механизированных линиях отечественного и импортного производства, которые состоят из приемного бункера, волчка, плавильного котла, дезинтегратора, отстойной центрифуги, системы очистки и осветления, охладителей и накопительной емкости, независимо от способа извлечения жира. Некоторые единицы оборудования могут быть представлены в техническом решении, которое позволяет одновременно реализовывать несколько последовательных процессов.

Промышленная вытопка жиров занимает не более 10 мин и при использовании прогрессивных решений позволяет достичь выхода топленого жира около 85–90 % [24]. Однако при использовании вытопки для извлечения жира продолжительность процесса составляет от 40 до 90 мин с последующим осветлением в течение 3 ч. Ускорить вытопку позволяют способы интенсификации технологии за счет повышения температуры и давления. Вытопку

при избыточном давлении ведут при переработке малоценного неизмельченного сырья в автоклавах и вакуум-котлах.

Продолжительное воздействие воды, температуры и воздуха негативным образом сказывается на качестве готового продукта (низкие органолептические и физико-химические показатели) из-за глубоко и активно протекающих процессов гидролитического распада жиров [25].

Сырые топленые жиры, как и растительные масла, содержат большое количество примесей, находящихся во взвешенном (шквара, минеральные соли), эмульгированном и растворенном (свободные жирные кислоты, пигменты, фосфатиды, витамины, стерины, ферменты) состояниях. Процесс рафинации направлен на удаление вышеперечисленных примесей, что повышает биологическую ценность жиров.

Для предотвращения окислительных процессов и придания готовому продукту характерных реологических свойств топленый рафинированный жир охлаждают. Процесс ведут одно- или двухстадийным способом. При одностадийном охлаждении работа осуществляется в аппаратах непрерывного действия, препятствующих контакту готового продукта с воздухом, а температура топленого жира понижается до 38 °С. При двухстадийном способе проводят переохлаждение в ледогенераторах с понижением температуры готового продукта до 27 °С. После охлаждения жир отправляют на фасовку и хранение при пониженных температурах.

Использование известных схем переработки животных жиров, применяемых в промышленности, практически не реализуемо в условиях переработки животного сырья охотничьего промысла из-за сезонности добычи и ограниченности сырьевой базы. Основная цель переработки таких жиров – получение максимального выхода высококачественной продукции при минимальном воздействии на сырье [26].

Качественный топленый жир из нетрадиционных видов сырья должен удовлетворять следующим основным требованиям: характеризоваться лечебной ценностью, иметь отличные органолептические свойства (консистенцию, цвет, вкус, запах) и физико-химические показатели (качественный и количественный жирно-кислотный состав), обладать высокой устойчивостью к порче при хранении и транспортировке.

Для выработки топленых животных жиров, отвечающих всем вышеперечисленным требованиям, пригодны только высококачественное исходное сырье. Работы по подготовке сырья к извлечению жира ведут сразу после отстрела. В условиях охоты не представляется возможным провести полный цикл переработки жира, поэтому ограничиваются только теми операциями, которые исключают или минимизируют процессы, приводящие к

окислительной порче жиров. В течение часа после отстрела в условиях санитарно-гигиенического режима необходимо извлечь подкожный и нутряной жир, не допустив возможных загрязнений кровью, лимфой, частицами сосудистой сеточки, мышечной тканью и содержимым кишечника и/или освободив от них. После изъятия и предварительной очистки жировую ткань промывают в холодной воде при температуре близкой к 0 °С, предварительно измельчают, промывают повторно, измельчают до размера частиц 8–15 мм и замораживают. В дальнейшем замороженное сырье перерабатывают, не допуская полной дефростации [6].

Выводы

Для получения топленого жира необходимо использовать сырье высокого качества и учитывать место обитания животного. Главной особенностью при производстве таких продуктов является правильный подбор способов переработки, которые позволят сохранить состав исходного сырья, исключить возможность нежелательных окислительных процессов и предотвратить загрязнение продукта.

В данной работе были представлены два вида тепловых методов извлечения жиров. Проведя сравнительную оценку, можно сделать вывод о том, что «мокрый» способ является наиболее эффективным. При переработке сырья данным способом не будет происходить процессов окисления, что способствует сохранению свойств исходного сырья

и увеличивает качество готового продукта. При данном методе можно осуществить большой выход продукта. Использование «сухого» метода также имеет ряд преимуществ, одним из которых является быстрота получения продукта, но его качество будет ниже в сравнении с жиром, полученным «мокрым» способом. При «сухом» способе происходят окислительные процессы, приводящие к порче. Необходимо оптимизировать «мокрый» способ переработки путем внесения ферментных препаратов, ускоряющих распад белковых компонентов и обеспечивающих более эффективный выход липидной фракции.

Критерии авторства

О. В. Козлова руководила проектом Е. А. Вечтомова и М. М. Орлова отвечали за сбор и обработку литературы.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

O.V. Kozlova led the project. E.A. Vechtomova and M.M. Orlova were responsible for the collection and processing of literature.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References/Список литературы

1. Zimina MI, Sukhikh SA, Babich OO, Noskova SYu, Abrashina AA, Prosekov AYu. Investigating antibiotic activity of the genus bacillus strains and properties of their bacteriocins in order to develop next-generation pharmaceuticals. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(2):92–100. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-2-92-100>
2. Dyshlyuk L, Pavsky V, Ivanova S, Babich O, Prosekov A, Chaplygina T. The effect of postharvest ultraviolet irradiation on the content of antioxidant compounds and the activity of antioxidant enzymes in tomato. *Heliyon*. 2020;6(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03288>
3. Vasilevich FI, Gorbacheva MV, Sapozhnikova AI, Gordienko IM. Integrated, environmentally safe disposal (recycling) of secondary products and animal waste: innovative technical solutions. *Actual problems of veterinary medicine, zootechnics and biotechnology: Collection of scientific papers of the International educational-methodical and scientific-practical conference dedicated to the 100th anniversary of the founding of Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K.I. Skryabin; 2019; Moscow. Moscow: Moscow state Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K.I. Skryabin; 2019. p. 394–396. (In Russ.). [Комплексная экологически безопасная утилизация (рециклинг) вторичной продукции и отходов животного происхождения: инновационные технические решения / Ф. И. Василевич [и др.] // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологии: Сборник научных трудов Международной учебно-методической и научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня основания ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К. И. Скрябина. М., 2019. С. 394–396.]*
4. Volkov VV, Mezenova OYa, Hölling A, Grimm T. Promising developments of processing technologies for by-products of animal and plant origin using hydrolysis. *Baltic Maritime Forum: Materials of the VI International Baltic Maritime Forum; 2018; Kaliningrad. Kaliningrad: Kaliningrad State Technical University; 2018. p. 24–30. (In Russ.). [Перспективные направления переработки вторичного сырья животного и растительного происхождения с применением гидролиза / В. В. Волков [и др.] // Балтийский морской форум: Материалы VI Международного Балтийского морского форума. Калининград, 2018. С. 24–30.]*

5. Vostrikova NL, Kuznetsova OA, Kulikovskii AV. Methodological aspects of lipid extraction from biological matrices. Theory and Practice of Meat Processing. 2018;3(2):4–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-2-4-21>
6. Gorbacheva MV, Tarasov VE, Sapozhnikova AI. New technical solutions for the intensification of the process of fat extraction. Innovations in the food industry: Education, science, production: Materials of the 4th All-Russian scientific and practical conference; 2020; Blagoveshchensk. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University; 2020. p. 34–38. (In Russ.). [Горбачева М. В., Тарасов В. Е., Сапожникова А. И. Новые технические решения интенсификации процесса жирирования // Инновации в пищевой промышленности: образование, наука, производство: Материалы 4-й Всероссийской научно-практической конференции. Благовещенск, 2020. С. 34–38.].
7. Gorbacheva MV, Tarasov VE, Kalmanovich SA, Sapozhnikova AI. Ostrich fat production using electrolyzed fluid. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(1):21–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-21-31>
8. Gorbacheva MV, Tarasov VE, Sapozhnikova AI, Gordienko IM, Strepetova OA. Method of obtaining ostrich melted fat. Russia patent RU 2683559C1. 2019. [Способ получения топленого жира страуса: пат. 2683559C1 Рос. Федерация. № 2017146651 / Горбачева М. В. [и др.]; заявл. 28.12.2017; опубл. 28.03.2019; Бюл. № 10. 5 с.].
9. Gorbacheva MV, Tarasov VE, Tarasov SV, Sapozhnikova AI, Gordienko IM. Fat production line. Russia patent RU 2679711C1. 2019. [Линия получения жира страуса: пат. 2679711C1 Рос. Федерация. № 2018117880 / Горбачева М. В. [и др.]; заявл. 15.05.2018; опубл. 12.02.2019; Бюл. № 5. 9 с.].
10. Zhdankin GV, Samodelkin AG, Novikova GV, Belova MV, Gorbunov BI. Microwave technology for extracting fat from fat-containing raw materials. Russia patent RU 2636155C1. 2017. [Микроволновая технология извлечения жира из жиродержащего сырья: пат. 2636155C1 Рос. Федерация. № 2016150318 / Жданкин Г. В. [и др.]; заявл. 20.12.2016; опубл. 21.11.2017; Бюл. № 33. 11 с.].
11. Zhdankin GV, Novikova GV. Development of microwave installer for heat treatment of inedible slaughter waste. Perm Agrarian Journal. 2017;20(4):23–29. (In Russ.). [Жданкин Г. В., Новикова Г. В. Разработка сверхвысокочастотной установки для термообработки непищевых боенских отходов // Пермский аграрный вестник. 2017. Т. 20. № 4. С. 23–29.].
12. Zhdankin GV, Samodelkin AG, Novikova GV, Belova MV, Mikhajlova ED. Multi-module centrifugal ultrahigh-frequency plant for heat treatment of raw material of animal origin and separation of liquid fraction. Russia patent RU 2694179C2. 2019. [Многомодульная центробежная сверхвысокочастотная установка для термообработки сырья животного происхождения и отделения жидкой фракции: пат. 2694179C2 Рос. Федерация. № 2017108665 / Жданкин Г. В. [и др.]; заявл. 15.03.2017; опубл. 09.07.2019; Бюл. № 19. 19 с.].
13. Gorbacheva MV, Tarasov VE, Kalmanovich SA, Sapozhnikova AI. Electrochemical activation as a fat rendering technology. Foods and Raw Materials. 2021;9(1):32–42. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-32-42>
14. Kurzova AA, Knyazeva AS, Vostrikova NL. New standards for test methods of meat products. Vsyо о Myase. 2018;(3):28–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-3-28-31>
15. Novikov AM, Semenov AV. Principles of rendering animal fat parameters in a high-frequency electromagnetic field. Scientific and practical ways to improve environmental sustainability and socio-economic support of agricultural production: Proceedings of the international scientific and practical conference dedicated to the year of ecology in Russia; 2017; Solenoe Zaymische. Solenoe Zaymische: Caspian Research Institute of Arid Agricultural; 2017. p. 1278–1281. (In Russ.). [Новиков А. М., Семенов А. В. Обоснование параметров вытопки жиров животного происхождения в электромагнитном поле высокой частоты // Научно-практические пути повышения экологической устойчивости и социально-экономического обеспечения сельскохозяйственного производства: Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой году экологии в России. Солёное Займище, 2017. С. 1278–1281.].
16. Slobodchikova MN, Vasilyeva VT, Ivanov RV, Lebedeva UM. New aspects of non-waste use of secondary raw materials of horse breeding in Yakutia. Problems of Nutrition. 2018;87(4):87–92. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10046>
17. Khachatryan LR. Expertize of the quality of rendered animal fats. In: Temiraev VKh, Kudzaev AB, editors. Bulletin of scientific works of young scientists, graduate students, undergraduates and students of Gorsk State Agrarian University. Vladikavkaz: Gorsk State Agrarian University; 2018. pp. 365–367. (In Russ.). [Хачатурян Л. Р. Экспертиза качества топленых животных жиров // Вестник научных трудов молодых учёных, аспирантов, магистрантов и студентов ФГБОУ ВО «Горский государственный аграрный университет» / под ред. В. Х. Темираева, А. Б. Кудзаева. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет, 2018. С. 365–367.].
18. Cunha AF, Caetano NS, Ramalho E, Crispim A. Fat extraction from fleshings – optimization of operating conditions. Energy Reports. 2020;6:381–390. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.176>
19. Poruchikov D, Samarin G, Vasilyev A, Ershova I, Normova T, Aleksandrova GA, et al. UHF device introduction for animal raw material processing. Helix. 2020;10(3):64–68. <https://doi.org/10.29042/2020-10-3-64-68>

20. Jenkins B, Ronis M, Koulman A. LC–MS lipidomics: Exploiting a simple high-throughput method for the comprehensive extraction of lipids in a ruminant fat dose-response study. *Metabolites*. 2020;10(7). <https://doi.org/10.3390/metabo10070296>
21. Li C-Y, Wang B-W, Qin P-F, Ge W-H, Zhang M-A, Yue B, *et al.* Enzymatic centrifugation extraction of goose fat liver oil and its quality evaluation. *Food Research and Development*. 2018;39(10):72–81.
22. Sander A, Antonije Koščak M, Kosir D, Milosavljević N, Parlov Vuković J, Magić L. The influence of animal fat type and purification conditions on biodiesel quality. *Renewable Energy*. 2018;118:752–760. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.068>
23. Vasilevich FI, Gorbacheva MV, Tarasov VE, Sapozhnikova AI, Gordienko IM. Electro-activated ostrich fat melting: An innovative solution. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018;9(6):1615–1623.
24. Smirnov SO, Fazullina OF. Formula and technology development for obtaining biologically active natural food additives. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2018;48(3):105–114. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-105-114>
25. Alekseev GV, Egorova OA, Moldovanov D, Egorov AN. Spray drying of food suspensions: Upgrading capabilities. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(1):70–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-70-76>
26. Malyutina KV, Gurinovich GV. The study of composition and technological properties of pork of the fourth grade intended for commercial processing. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;46(3):61–66. (In Russ.). [Малютина К. В., Гуринович Г. В. Изучение состава и технологических свойств свинины четвертой категории, предназначенной для промышленной переработки // Техника и технология пищевых производств. 2017. Т. 46. № 3. С. 61–66.].

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2407>
<https://elibrary.ru/GEUWOO>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Оценка развития растительности техногенного отвала



Г. Я. Степанюк*^{ORCID}, А. В. Заушинцена^{ORCID}, С. С. Буренков^{ORCID},
С. В. Свиркова^{ORCID}, А. А. Гаврилов, М. А. Осинцева^{ORCID}

Кемеровский государственный университет^{ORCID}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 07.11.2022
Принята после рецензирования: 28.11.2022
Принята к публикации: 06.12.2022

*Г. Я. Степанюк: gstepanjuk@ngs.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-3035-9404>
А. В. Заушинцена: <https://orcid.org/0000-0003-4645-828X>
С. С. Буренков: <https://orcid.org/0000-0001-7591-1413>
С. В. Свиркова: <https://orcid.org/0000-0001-5707-4746>
М. А. Осинцева: <https://orcid.org/0000-0002-4045-8054>

© Г. Я. Степанюк, А. В. Заушинцена, С. С. Буренков,
С. В. Свиркова, А. А. Гаврилов, М. А. Осинцева, 2022



Аннотация.

Для обеспечения стабильного лесовозобновления на отвалообразованиях вскрышных пород угольных разрезов необходимо применять комплексные методики восстановления растительности. Оценка современного состояния нарушенных территорий связана с грамотной и четкой рекультивацией. Цель работы заключалась в изучении особенностей формирующейся растительности на территории природно-техногенных объектов.

Объектами исследования являлись пионерные группировки растительности, образованные летом 2021 г. на склоне угольного отвала и окружающего фонового пространства территории «Талдинский угольный разрез» (Кемеровская область – Кузбасс). Был проведен широкий спектр инженерно-геологических изысканий. В исследовании использовали комплекс методов общей геоботанической оценки территории, а также анализ видового состава растений, их таксономической, биоморфологической и экологической структуры. Для работы привлечены данные дистанционного зондирования.

Были представлены результаты маршрутных рекогносцировочных исследований на участках самозарастающих отвалов. Общее проективное покрытие на месте ненарушенной территории колеблется в пределах 70–75 %. Был отмечен мозаичный несомкнутый растительный покров. В рамках изучения лесных экосистем техногенного объекта обнаружили 101 вид растений, принадлежащих к 33 семействам. Максимальное видовое разнообразие выявлено в семействах *Asteraceae* (13 видов), *Fabaceae* (11 видов), *Poaceae* (8 видов), *Brassicaceae*, *Lamiaceae*, *Ranunculaceae* и *Rosaceae* (по 5 видов). В семействах растений *Apiaceae*, *Boraginaceae*, *Campanulaceae*, *Caryophyllaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Euphorbiaceae*, *Equisetaceae*, *Pinaceae*, *Plantaginaceae*, *Polygonaceae*, *Salicaceae* и *Scrophulariaceae* выделено по 2–4 вида. В работе проведено изучение и оценка растительности отвала угольного разреза «Талдинский». Данный отвал имеет характер техногенно нарушенного с признаками снижения видового и биоморфологического разнообразия, а также трансформации соотношения экологических групп и увеличения доли сорной растительности по сравнению с фоновым фитоценозом. Такой тип растительности соответствует первой стадии образования и развития флоры на техногенных территориях – стадии разреженной пионерной растительности.

Ключевые слова. Техногенный субстрат, рекультивация, нарушенные земли, биоремедиация, растительность, разрез, отвал, охрана окружающей среды

Финансирование. Работа ведется в рамках Распоряжения Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р, комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения» («Чистый уголь – зеленый Кузбасс») и мероприятия 3.1 «Экополигон мирового уровня технологий рекультивации и ремедиации» (соглашение № 075-15-2022-1200 от 28.09.2022 г.).

Для цитирования: Оценка развития растительности техногенного отвала / Г. Я. Степанюк [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 807–818. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2407>

Evaluating the Vegetation Development of Coal-Mine Dumps

 Galina Ya. Stepanyuk*, Alexandra V. Zaushintsena,
Sergey S. Burenkov, Svetlana V. Svirkova,
Alexandr A. Gavrilov, Maria A. Osintseva

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Received: 07.11.2022
Revised: 28.11.2022
Accepted: 06.12.2022

*Galina Ya. Stepanyuk: gstepanjuk@ngs.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-3035-9404>
Alexandra V. Zaushintsena: <https://orcid.org/0000-0003-4645-828X>
Sergey S. Burenkov: <https://orcid.org/0000-0001-7591-1413>
Svetlana V. Svirkova: <https://orcid.org/0000-0001-5707-4746>
Maria A. Osintseva: <https://orcid.org/0000-0002-4045-8054>

© G.Ya. Stepanyuk, A.V. Zaushintsena, S.S. Burenkov,
S.V. Svirkova, A.A. Gavrilov, M.A. Osintseva, 2022



Abstract.

Reforestation of overburden coal dumps requires new, complex reclamation methods. Competent and well-planned reclamation projects ensure a positive current-state evaluation of disturbed areas. The research objective was to describe the new vegetation that appears on natural areas after industrial disturbance.

The study involved pioneer plant communities that developed on a coal dump slope on the Taldinskiy coal field, Kuzbass, in the summer of 2021. The research involved a wide range of engineering and geological surveys, as well as a set of methods of geobotanical, taxonomic, biomorphological, and ecological analyses. The data were obtained by remote sensing.

The route reconnaissance of coal dumps with uncontrolled vegetation revealed the following results. The total plant cover on undisturbed areas had a mosaic pattern and ranged from 70 to 75%. The forest plant communities consisted of 101 plant species and 33 families. The maximal species diversity belonged to the following families: *Asteraceae* – 13 species, *Fabaceae* – 11 species, *Poaceae* – 8 species, *Brassicaceae*, *Lamiaceae*, *Ranunculaceae*, and *Rosaceae* – 5 species, *Apiaceae*, *Boraginaceae*, *Campanulaceae*, *Caryophyllaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Euphorbiaceae*, *Equisetaceae*, *Pinaceae*, *Plantaginaceae*, *Polygonaceae*, *Salicaceae*, and *Scrophulariaceae* – 2–4 species.

The Taldinskiy coal field dump was evaluated as a technogenically disturbed site with a low biomorphological and species diversity. It had a larger share of weeds, and its ratio of plant communities differed from the background phytocenosis. The type of vegetation corresponded to the first stage of plant development on technogenic areas and was defined as the stage of sparse pioneer vegetation

Keywords. Technogenic substrate, reclamation, disturbed lands, bioremediation, vegetation, open mine, dump, environmental protection

Funding. The research was part of a comprehensive scientific innovative program initiated by Russian Federation Government Decree No. 1144-r, May 11, 2022: “Developing and implementing new technologies in the E&P of solid minerals, industrial safety, bioremediation, and product development of deep coal processing: a consistent reduction of environmental impact and hazards” (Clean Coal – Green Kuzbass), Stage 3.1: An ecological test-site of world-class reclamation and remediation technologies (Agreement No. 075-15-2022-1200, September 28, 2022).

For citation: Stepanyuk GYa, Zaushintsena AV, Burenkov SS, Svirkova SV, Gavrilov AA, Osintseva MA. Evaluating the Vegetation Development of Coal-Mine Dumps. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):807–818. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2407>

Введение

С ростом промышленных предприятий увеличивается доля антропогенно-нарушенных земель, трансформируя условия существования объектов живой природы [1–3]. Это определяет

значимость изучения вопросов, связанных с влиянием породных отвалов на окружающую среду, и процессов формирования растительности в специфических эдафических условиях отвалов угледобывающих предприятий [4–6]. Натурные

наблюдения за состоянием растительных сообществ на нарушенных территориях позволяют оценить сукцессионный процесс формирующегося фитоценоза. Это полезно для разработки методов проведения биологической рекультивации антропогенно нарушенных земель и оценки их эффективности [7–10]. Особенно это актуально для территорий крупных горнопромышленных регионов, в том числе Кузбасса.

В научной литературе подчеркивается важность изучения процессов естественного возобновления растительности, закономерностей формирования и развития фитоценозов и динамики видового состава на нарушенных промышленностью территориях. Особое внимание отводится анализу особенностей восстановления растительных группировок на техногенных отвалах и определению устойчивости к негативным факторам окружающей среды [11].

Цель исследования – изучение степени деградации растительности и особенностей формирующейся растительности на территории техногенного объекта.

Объекты и методы исследования

Предметом исследования являлись пионерные группировки на склоне угольного отвала и окружающей фоновой территории разреза «Талдинский угольный разрез» (Прокопьевский муниципальный округ, Кемеровская область – Кузбасс), сформированные летом 2021 г. Данная территория относится к Алтае-Саянскому горно-таежному лесорастительному району, который входит в состав Южно-Сибирской горной лесорастительной зоны Российской Федерации [12].

«Талдинский угольный разрез» (рис. 1) был сдан в эксплуатацию в 1986 г. По данным компании «Кузбассразрезуголь», он является крупнейшим угледобывающим предприятием Кузбасса, практикующим открытый способ добычи полезных



Рисунок 1. «Талдинский угольный разрез» на спутниковом снимке

Figure 1. Taldinskiy coal mine field: satellite image

ископаемых. Разрез расположен в центральной части Ерунаковского геолого-экономического района Кемеровской области. Рельеф местности представлен четко выраженной холмистой поверхностью, изрезанной речной сетью. Перепады высотных отметок достигают от 60 до 150 м. В границах участка рельеф нарушен горными работами. Ландшафт района относится к слабозалесенной лесостепи. Почвенный покров района включает почвы (в скобках приведены названия почв по World Reference Base): оподзоленные черноземы (Grey-Luvic Phaeozems/Luvic Chernozems), темно-серые и серые лесные (Grey-Luvic Phaeozems), в понижениях рельефа – лугово-черноземные, черноземно-луговые (Gleyic Chernozems), луговые и лугово-болотные (Folic & Umbric Gleysols), в поймах рек – аллювиальные болотные (Fluvisols) [13]. Почвообразующие породы – лессовидные карбонатные глины и суглинки, делювиальные бескарбонатные глины и суглинки, аллювиальные отложения.

Согласно ботанико-географическому районированию Кемеровской области (по С. Д. Тивякову, 1984 г.) территория расположения рассматриваемого объекта относится к Инско-Томскому таежно-лесостепному району. На ненарушенной территории представлена лесная растительность в виде участков березовых, березово-осиновых и осиново-пихтовых лесов с единичными включениями ели. Присутствует луговая растительность с преобладанием злаково-разнотравных лугов. Южные и юго-западные склоны рек и логов обычно безлесые или залесены по вершинам логов. Северные склоны сильно залесены осинником и березняком с включениями хвойных пород [14].

Поверхность исследуемого отвала рекультивирована частично и находится в состоянии самозарастания после планирования горно-технического этапа рекультивационных работ. Уклон поверхности зарастающего отвала составляет 25–30°.

При изучении естественного возобновления растительного покрова на данной территории нами выполнены маршрутные рекогносцировочные исследования. Проводилась общая геоботаническая оценка территории. Описали видовой состав растений, определили общее проективное покрытие, отметили обилие видов, их высоту и фенологическую фазу. Уточнялись особенности распределения растительного покрова. В камеральных условиях осуществлялось определение видового состава, а также анализ его таксономической, биоморфологической и экологической структуры. Проводился анализ хозяйственного значения выявленных растений. Обилие видов оценивали глазомерным способом в соответствии со шкалой О. Друде. В качестве меры флористического сходства обследованных участков использовали коэффициент Жаккара, который вычисляли по формуле [15, 16]:

$$K_j = c / a + b - c \quad (1)$$

где K_j – коэффициент флористической общности (коэффициент Жаккара); a – число видов на первом участке; b – число видов на втором участке; c – число общих видов для обоих сравниваемых участков.

Индекс общности Чекановского-Сьеренсена рассчитывали по формуле:

$$I_{cs} = 2n \cdot 100 / N_1 + N_2 \quad (2)$$

где N_1 и N_2 – число видов на обследуемых участках; n – число видов, встречаемых на обеих территориях.

Видовые названия растений и данные о видах приведены в соответствии с определителем растений Кемеровской области и материалами открытого онлайн атласа и определителя растений «Плантариум» [17, 18].

Результаты и их обсуждение

В ходе маршрутных рекогносцировочных исследований на территории самозарастающих отвалов отмечен мозаичный несомкнутый растительный покров (рис. 2).

Всего обнаружено 34 вида высших сосудистых растений, принадлежащих к 16 семействам (табл. 1). Почти все они относятся к цветковым (*Magnoliophyta*). Исключение составляет только хвощ полевой (*Equisetum arvense* L.), который является представителем высших споровых растений из отдела хвощевидные (*Equisetophyta*).



Рисунок 2. Участок территории угольного отвала годичной давности

Figure 2. One-year-old coal dump site

Наибольшее число видов отмечено в семействе *Asteraceae* – 9. Остальные семейства представлены меньшей численностью: *Fabaceae* и *Poaceae* – 3, *Boraginaceae*, *Brassicaceae*, *Campanulaceae*, *Chenopodiaceae* и *Rosaceae* – 2, *Apiaceae*, *Equisetaceae*, *Euphorbiaceae*, *Lamiaceae*, *Onagraceae*, *Polygonaceae*, *Salicaceae* и *Scrophulariaceae* – 1.

Анализ данных позволил выделить в качестве доминирующего компонента формирующегося фитоценоза разнотравье с преобладанием представителей семейства *Asteraceae*.

Некоторые из выделенных видов относятся к типичным представителям растений, выявленных при проектировании филиала разреза на ненарушенной территории. Среди них *Chenopodium album* L., *Dactylis glomerata* L., *E. arvense* L., *Leucanthemum vulgare* Lam. и *Taraxacum officinale* Wigg.

Основная часть обнаруженных видов (91 %) – аборигенные, характерные для исторически сложившейся флоры данного района. Только 4 вида (*Lactuca serriola* L., *Pastinaca sylvestris* Mill., *Trifolium hybridum* L. и *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.) являются адвентивными и вошли в список Черной книги флоры Сибири (2016 г.) с разным статусом. Последние проявляются как виды, активно внедряющиеся в естественные сообщества (*T. hybridum* L. – статус 2), или как растения, расселяющиеся и натурализующиеся в нарушенных, полустественных и естественных местообитаниях (*T. inodorum* (L.) Sch. Bip. и *P. sylvestris* L. – статус 2, *L. serriola* L. – статус 3).

Таблица 1. Таксономический состав техногенного отвала

Table 1. Taxonomic composition of the coal dump

Семейство	Количество видов, шт.	Доля от общего числа видов, %
<i>Apiaceae</i>	1	2,9
<i>Asteraceae</i>	9	26,5
<i>Boraginaceae</i>	3	8,9
<i>Brassicaceae</i>	2	5,9
<i>Campanulaceae</i>	2	5,9
<i>Chenopodiaceae</i>	2	5,9
<i>Equisetaceae</i>	1	2,9
<i>Euphorbiaceae</i>	1	2,9
<i>Fabaceae</i>	3	8,9
<i>Lamiaceae</i>	1	2,9
<i>Onagraceae</i>	1	2,9
<i>Poaceae</i>	3	8,9
<i>Polygonaceae</i>	1	2,9
<i>Rosaceae</i>	2	5,9
<i>Salicaceae</i>	1	2,9
<i>Scrophulariaceae</i>	1	2,9
Всего	34	100,0

Согласно данным научной литературы первыми заселяют обнаженные пространства типичные сорные однолетники и двулетники. Эти растения неприхотливы, отличаются высокой воспроизводительной способностью и образуют пионерные группировки [11].

Растения на обследованном участке относятся к разнообразным жизненным формам (табл. 2).

Большинство видов (63,6 %) принадлежит к многолетним травянистым растениям. Преимущественно (8 видов) это корневищные растения, формирующие короткое (например, *Agrimonia pilosa* Ledeb., *Artemisia vulgaris* L. и *Sanguisorba officinalis* L.) или длинное корневище (например, *E. arvense* L., *Inula salicina* L., *Medicago falcata* L., *Sonchus arvensis* L. и *Tussilag farfara* L.). Пять видов относятся к корнеотпрысковым (*Chamerion angustifolium* (L.) Scop., *Cirsium setosum* (Willd.) Besser., *Euphorbia virgata* Waldst. & Kit., *L. vulgare* Lam. и *Linaria vulgaris* Mill.), по три – к стержнекорневым (*Adenophora liliifolia* (L.) A. DC., *Campanula trachelium* L., *Sisymbrium polymorphum* (Murray) Roth и *T. officinale* F.H. Wigg.) и дерновинным (*Agrostis tenuis* Sibth., *D. glomerata* L. и *Phleum pratense* L.), один – к наземно-ползучим травам (*T. hybridum* L.). Пять видов (*C. album* L., *Galeopsis bifida* L., *Polygonum aviculare* L., *Salsola collina* Pall. и *Thlaspi arvense* L.) принадлежит к однолетникам, два (*P. sylvestris* Mill. и *Melilotus officinalis* (L.) Pall.) – к двулетним растениям. Остальные виды могут быть представлены одно- или двулетними формами (*Lappula squarrosa* (Retz.) Dumort., *Myosotis arvensis* (L.) Hill и *T. inodorum* (L.) Sch. Bip.).

Для выявления приспособлений растений к удержанию площади обитания и их разрастанию применяется анализ жизненных форм по классификации, предложенной Г. М. Зозулиным [9, 19, 20]. На исследуемой территории были обнаружены представители релактивной группы растений (*A. pilosa* Ledeb., *D. glomerata* L., *T. hybridum* L. и др.), т. е. многолетники, способные при уничтожении надземных

частей возобновлять рост за счет сохранившихся почек возобновления, препятствуя расселению других особей на их месте. Выявлены виды ирруптивной группы растений (*C. setosum* (Willd.) Besser, *I. salicina* L., *S. officinalis* L. и др.), которые, являясь многолетними, способны возобновляться при уничтожении надземных частей за счет надземных или подземных побегов, функционирующих в качестве органов вегетативного размножения. За счет этих органов особи вторгаются на площадь обитания других растений. К вагативной группе относятся виды *S. collina* Pall., *T. arvense* L. и другие однолетние и двулетние растения, расселяющиеся только семенами и не удерживающие за отдельными особями площади обитания. Большинство растений, заселяющих отвал, принадлежит к группе ирруптивных – почти половина видов, т. е. 45,5 % от общего числа. Релактивных и вагативных растений было выявлено одинаковое число – по 9 видов, т. е. 27,3 %.

Растения, произрастающие на обследованном участке, различаются по отношению к условиям увлажнения, освещения и почвенного питания. Более 70 % видов предпочитают условия умеренного увлажнения: *A. liliifolia* (L.) A. DC., *C. trachelium* L., *Medicago falcata* L. и др. (табл. 3). По четыре вида относятся к ксеромезофитам (*L. vulgare* Lam., *L. vulgaris* Mill., *M. officinalis* (L.) Pall. и *M. arvensis* (L.) Hill) и гигромезофитам (*C. angustifolium* (L.) Scop., *Phleum pratense* L., *S. officinalis* L. и *T. arvense* L.). Один вид – *S. collina* Pall. – хорошо приспособлен к условиям дефицита влаги.

По отношению к свету большая часть растений (20 видов) являются гелиофитами, 12 видов относятся к сцио-гелиофитам, только 2 вида относятся к сциофитам (*Agrimonia pilosa* Ledeb. и *C. trachelium* L.).

На обследованной территории выявлено 24 вида, относящихся к мезотрофам. Из них 3 вида могут встречаться на обедненных субстратах (*A. tenuis* Sibth., *T. officinale* F.H. Wigg. и *T. arvense* L.), а 11 видов (*A. vulgaris* L., *C. album* L., *G. bifida* L., *I. salicina* L., *M. falcata* L., *M. officinalis* (L.) Pall., *P. sylvestris* Mill.,

Таблица 2. Жизненные формы растений

Table 2. Plant life forms

Жизненная форма		Число видов, шт.	Доля от общего числа видов, %
Травянистые многолетние	Корневищные	8	23,5
	Корнеотпрысковые	5	14,7
	Стержнекорневые	4	11,8
	Дерновинные	3	8,8
	Наземноползучие	1	2,8
Однолетние		5	14,7
Одно- или двулетние		4	11,8
Двулетние		3	8,8
Кустарники		1	2,8
Всего		34	100,0

Таблица 3. Распределение видов по экологическим группам

Table 3. Plant species: ecological groups

Экологическая группа	Количество видов, шт.	Доля от общего числа видов, %
По отношению к влаге		
Ксерофиты	1	2,9
Мезоксерофиты	5	14,7
Мезофиты	24	70,6
Гигромезофиты	4	11,8
По отношению к свету		
Гелиофиты	20	58,8
Сциогелиофиты	12	35,3
Сциофиты	2	5,9
По отношению к питанию		
Олиготрофы	2	5,9
Олиготрофы, мезотрофы	3	8,8
Мезотрофы	10	29,4
Эвтрофы, мезотрофы	11	32,4
Эвтрофы	8	23,5

Таблица 4. Распределение видов по их хозяйственному значению

Table 4. Plant species: economic importance

Значение видов	Количество видов, шт.	Доля от общего числа видов, %
Лекарственные	67,6	66,7
Пищевые	55,9	57,6
Сорные	47,1	45,5
Кормовые	44,1	45,5
Медоносные	38,2	36,4
Технические	29,4	30,3
Декоративные	29,4	30,3
Культивируемые	26,5	27,3
Ядовитые	8,8	6,1
Всего	34	100,0

P. pratense L., *S. arvensis* L., *T. hybridum* L. и *T. inodorum* (L.) Sch. Bip.) распространяются на почвах с более высоким содержанием минеральных веществ. Семь видов проявляют качества эвтрофов, как *E. virgata* Waldst. & Kit., предпочитающий почвы с повышенным содержанием азота. Два вида являются олиготрофами, среди которых выделяется *S. collina* Pall., которая хорошо развивается на засоленных почвах.

Анализ хозяйственной ценности растений отвала (табл. 4) показал, что наибольшее число видов относится к ценным лекарственным растениям – 22 вида (66,7 % от общего числа) (*A. pilosa* Ledeb., *S. officinalis* L., *T. farfara* L. и др.). Здесь находятся виды из групп пищевых – 19 (57,6 %) (*C. angustifolium* (L.) Scop., *P. sylvestris* Mill., *L. vulgare* Lam. и др.), кормовых (*A. tenuis* Sibth., *D. glomerata* L.,

P. pratense L. и др.) и сорных растений (*C. album* L., *P. aviculare* L., *T. arvense* L. и др.) – по 15 (45,5 %). Также представлены группы медоносных (12 видов, 36,4 %) (*M. falcata* L., *M. officinalis* (L.) Pall., *T. hybridum* L. и др.), технических (*E. arvense* L., *L. vulgaris* Mill., *Salix caprea* L. и др.) и декоративных растений (*A. liliifolia* (L.) A. DC., *C. trachelium* L., *L. vulgare* Lam. и др.) (по 10 видов, 30,3 %). Выявлено 2 вида (6,1%) с ядовитыми свойствами (*E. virgata* Waldst. & Kit. и *G. bifida* L.). Культивируемыми являются 9 видов (27,3 %): *A. liliifolia* (L.) A. DC., *A. tenuis* Sibth., *D. glomerata* L., *M. officinalis* (L.) Pall., *P. pratense* L., *S. caprea* L., *S. officinalis* L., *T. officinale* F.H. Wigg. и *T. hybridum* L.

Обилие растений в фитоценозе отражает показатель проективного покрытия: на исследуемой территории составило не более 15 %. Видовая насыщенность варьировалась от 3 до 8 видов на 100 м². Распространение растений по территории было неравномерным. Отмечена их приуроченность к более выположенным участкам склонов отвала. Большее их количество встречалось на участке, примыкающем к ненарушенной территории, где проективное покрытие составляло 10–15 %. По мере удаления от этой границы на поверхности отвала растения встречались в меньшем количестве, где на метровых площадках они могли произрастать в виде единичных экземпляров или отсутствовать полностью. Появление высших растений на данном участке в первый год связано с наличием в техногенном субстрате небольшого количества жизнеспособного семенного материала.

Согласно литературным данным наиболее быстро осваивают территорию в условиях нарушенного

почвенно-растительного покрова представители семейства сложноцветных (*Asteraceae*) [10]. По нашим наблюдениям, на долю видов этого семейства пришлось более 56 % растений от общего видового разнообразия.

Пионерные растительные группировки техногенно нарушенных территорий характеризуются низким проективным покрытием. В них отсутствуют взаимоотношения между растениями, для которых отмечается разрозненность произрастания. Количество видов невелико (в среднем составляет 14–15) и не подвержено существенному влиянию со стороны условий экотопов. Для этой стадии свойственно незначительное участие растений из состава зональной флоры [21, 22].

Заращение отвала происходило непродолжительное время, поэтому наибольшее распространение на его территории получило растительное сообщество травянистого типа. Древесные растения здесь обнаружены лишь несколькими экземплярами *S. caprea* L. Это растительное сообщество является разнотравным и соответствует ранним этапам на пути восстановления растительности данной антропогенно нарушенной территории.

Растительные сообщества отвала на данном этапе могут характеризоваться как олигодоминантные с преобладанием видов *S. collina* и *T. farfara*, которые оказывают наибольшее влияние на облик растительности данной территории. Встречаемость этих видов близка к 75 %. Остальные виды (*C. album* L., *L. vulgare* Lam., *T. hybridum* L., *T. officinale* F.H. Wigg., *P. aviculare* L. и др.) имеют покрытие, не превышающее 5 %. Они встречаются рассеянно, стоят друг от друга довольно далеко или представлены единичными экземплярами. Встречаемость их составляет 40 % и менее. Мхов и лишайников не обнаружено.

Качественным показателем роли отдельных видов в растительном сообществе является характеристика оценки обилия видов [23, 24]. Анализ обилия видов растений, расселяющихся на отвале разреза Талдинский, показал, что пионерами освоения этой территории являются обычные синантропные растения, характеризующиеся высокой пластичностью и широкой экологической амплитудой.

По характеристикам обилия растения распределены в 5 групп, соответствующих градациям шкалы Друде (табл. 5). В наибольшем обилии (sp-sor1) встречались *S. collina* Pall. и *T. farfara* L. Роль этих растений в облике участка невелика, хотя они образуют вкрапления в формирующийся травостой. Реже встречался вид *C. angustifolium* (L.) Scop. с величиной обилия sp. В меньшем обилии (sol-sp) на участке были представлены *C. album* L., *M. falcata* L., *P. pratense* L., *P. aviculare* L. и *T. officinale* F.H. Wigg. Основная масса видов растений (73,5 % от общего числа) произрастала на поверхности отвала рассеянно

(sol), единично встречаясь на учетных площадках. Локально была отмечена группа *S. caprea* L., обнаруженная на единственном небольшом участке, в окружении видов *M. officinalis* (L.) Pall., *T. hybridum* L. и *P. pratense* L.

В процессе естественного восстановления растительности техногенно-нарушенного ландшафта участвуют виды фоновой территории, включающие растения, существовавшие на ней еще до техногенной трансформации. Согласно документации видовое разнообразие ненарушенной территории района расположения угольных отвалов разреза Талдинский включает 127 видов растений [15]. В их число входит по 2 вида из отделов *Equisetophyta*, *Polypodiophyta* и *Pinophyta*. Наибольшее число видов относится к отделу *Magnoliophyta*. Максимальное видовое разнообразие представлено семействами *Asteraceae* и *Poaceae*, вмещавших по 16 видов (12,6 % от общего числа видов). По 9 % входят в семейства *Rosaceae* (12 видов) и *Fabaceae* (11 видов). 9 видов (7,1 %) относится к семейству *Brassicaceae*, 6 видов (4,7 %) – к семейству. Семейства *Euphorbiaceae*, *Solanaceae*, *Plantaginaceae*, *Boraginaceae* и *Lamiaceae* представлены 2–3 видами (2 %). Представлено одним единственным видом большинство семейств из отдела цветковых, т. е. почти 40 % от числа всех семейств.

В ходе обследования участков естественной растительности, примыкающих к отвалу, обнаружено 101 растение, принадлежащее к 33 семействам. Это виды лесной и луговой растительности, включающей элементы сорной флоры. Максимальное видовое разнообразие выявлено в семействах *Asteraceae* (13 видов), *Fabaceae* (11 видов), *Poaceae* (8 видов), *Brassicaceae*, *Lamiaceae*, *Ranunculaceae* и *Rosaceae* (по 5 видов). По 2–4 вида представлено растениями семейств *Apiaceae*, *Boraginaceae*, *Campanulaceae*, *Caryophyllaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Euphorbiaceae*, *Equisetaceae*, *Pinaceae*, *Plantaginaceae*, *Polygonaceae*, *Salicaceae* и *Scrophulariaceae*. По одному виду включают семейства *Alismataceae*, *Aceraceae*, *Betulaceae*, *Convolvulaceae*, *Geraniaceae*, *Grossulariaceae*, *Hypericaceae*, *Liliaceae*, *Onagraceae*, *Papaveraceae*, *Rubiaceae*, *Solanaceae*, *Typhaceae*, *Urticaceae*, *Violaceae* и *Woodsiaceae* из отдела *Magnoliophyta* (94,1 %). На долю растений из других отделов (*Equisetophyta*, *Pinophyta* и *Polypodiophyta*) приходится только 5,9 % от общего числа видов.

Общее проективное покрытие на участке ненарушенной территории колеблется в пределах 70–75 %.

Древесные формы фоновой территории представлены деревьями (*Abies sibirica* Ledeb., *Betula pendula* Roth, *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sylvestris* L. и *Populus tremula* L.) и кустарниками (*Acer negundo* L., *Caragana arborescens* Lam., *Ribes nigrum* L. и *S. caprea* L.). Один вид – *Rubus saxatilis* L. – относится

Таблица 5. Обилие преобладающих видов

Table 5. Dominant plant species

№ пп	Вид	Обилие	Относительное количество видов, %	Встречаемость, %
1	<i>Salsola collina</i> Pall.	sp-cop1	5,9	50
2	<i>Tussilago farfara</i> L.			50
3	<i>Chamerion angustifolium</i> (L.) Scop.	sp	2,9	30
4	<i>Chenopodium album</i> L.	sol-sp	14,7	20
5	<i>Medicago falcata</i> L.			50
6	<i>Phleum pratense</i> L.			30
7	<i>Polygonum aviculare</i> L.			10
8	<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	sol	73,5	20
9	<i>Adenophora liliifolia</i> (L.) A. DC.			10
10	<i>Agrimonia pilosa</i> Ledeb.			20
11	<i>Agrostis tenuis</i> Sibth.			10
12	<i>Artemisia vulgaris</i> L.			20
13	<i>Campanula trachelium</i> L.			10
14	<i>Cirsium setosum</i> (Willd.) Besser			10
15	<i>Dactylis glomerata</i> L.			20
16	<i>Echium vulgare</i> L.			10
17	<i>Equisetum arvense</i> L.			10
18	<i>Euphorbia virgata</i> Waldst. & Kit.			20
19	<i>Galeopsis bifida</i> L.			20
20	<i>Inula salicina</i> L.			10
21	<i>Lactuca serriola</i> L.			20
22	<i>Lappula squarrosa</i> (Retz.) Dumort			20
23	<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam.			20
24	<i>Linaria vulgaris</i> Mill.			40
25	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.			20
26	<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill			10
27	<i>Pastinaca sylvestris</i> Mill.			10
28	<i>Sanguisorba officinalis</i> L.			20
29	<i>Sisymbrium polymorphum</i> (Murray) Roth			10
30	<i>Sonchus arvensis</i> L.			20
31	<i>Thlaspi arvense</i> L.			10
32	<i>Trifolium hybridum</i> L.	30		
33	<i>Tripleurospermum inodorum</i> (L.) Sch. Bip.	20		
34	<i>Salix caprea</i> L.	Группа	2,9	5

к полукустарникам. Среди травянистых растений более крупную группу образуют многолетники, на долю которых приходится 71,3 %. Они представлены разнообразными формами: дерновинными (*D. glomerata* L., *Festuca pratensis* Huds. и *Poa pratensis* L.), корневищными (*Convolvulus arvensis* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Veronica chamaedrys* L. и др.), клубнеобразующими (*Filipendula vulgaris* L. и *Phlomis tuberosa* (L.) Moench), розеточными (*Plantago major* L. и *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod.) и луковичными (*Lilium martagon* L.). Однолетних и двулетних трав меньше – 9–10 видов, т. е. не более 10 % на каждую из этих жизненных форм.

Растения различаются по своим экологическим характеристикам. Большинство видов приспособлено к умеренному увлажнению среды (60,4 % мезофитов, 17,8 % ксеромезофитов и 14,9 % мезогигрофитов).

Произрастают в условиях повышенного увлажнения 6,9 % видов, среди них *Alisma plantago-aquatica* L., *Caltha palustris* L., *Carex cespitosa* L. и др. Больше половины (51,5 %) растений фоновой территории светолюбивы. Они предпочитают хорошо освещенные местообитания. 33,7 % видов являются факультативными гелиофитами, 14,8 % относятся к теневыносливым. Адаптированы к почвам с умеренным содержанием элементов почвенного питания 76 % обитающих растений. 18 % растений относится к видам с повышенным требованием к содержанию питательных веществ в почве. Способны благополучно развиваться на обедненных почвенных субстратах 6 % видов растений.

На территории, окружающей отвалы, выявлены растения различного хозяйственного значения. Большая часть из них (69,3 %) относится к

Таблица 6. Видовое разнообразие растений разреза «Талдинский» до и после техногенного нарушения территории
Table 6. Plant diversity of the Taldinskiy coal field before and after technogenic disturbance

	Количество видов растений, шт.		
	На территории отвала до техногенной трансформации ненарушенной территории	На отвале в первый год самозарастания	На фоновой территории
Общее	127	34	102
Семейство <i>Asteraceae</i>	16	9	13
Семейство <i>Poaceae</i>	16	3	11
Семейство <i>Fabaceae</i>	11	3	8

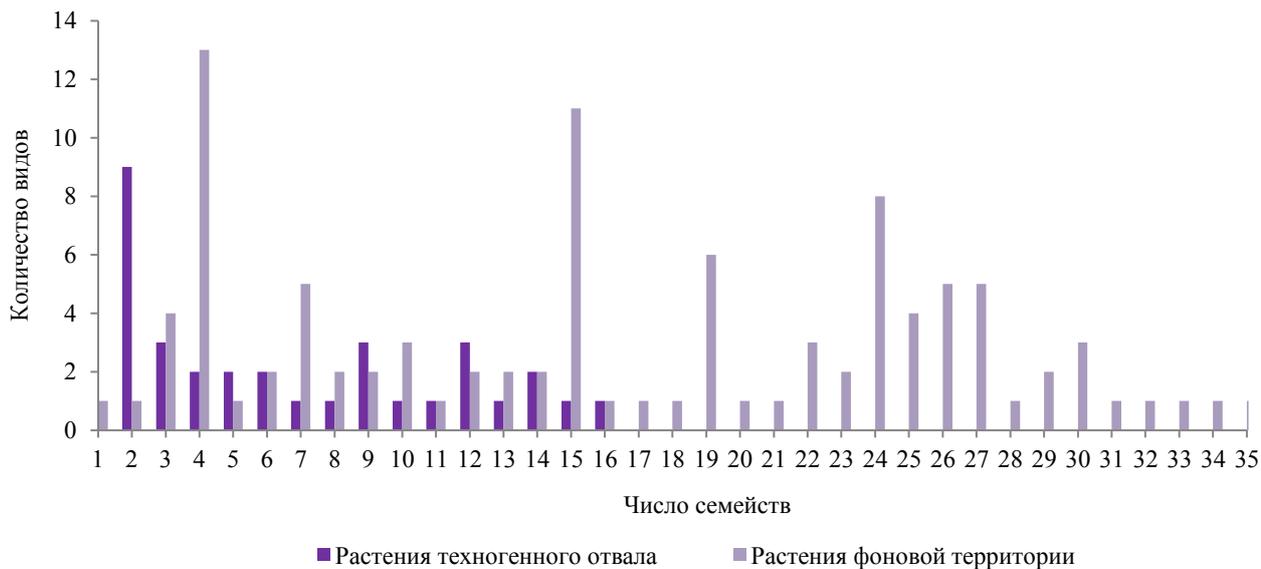


Рисунок 3. Соотношение таксономического состава растений на техногенном отвале и фоновой территории

Figure 3. Taxonomic composition of plants: coal dump site vs. background area

лекарственным растениям. Являются кормовыми – 42,6 % видов, декоративными – 37,6 %. Равное количество видов принадлежит к пищевым и медоносным (по 34,7 %). Входят в группу сорных 26,7 % видов, 25,7 % – относятся к техническим. Характеризуются как ядовитые 14,9 % видов растений.

Сравнение флористических списков техногенно нарушенной территории отвала и окружающей ее фоновой территории позволяет выявить сходство и различия в растительных сообществах, а также степень деградации растительности нарушенной территории. Анализ данных систематики видов растений показывает, что в обоих случаях преобладают виды покрытосеменных растений, ведущими семействами среди которых являются *Asteraceae*, *Fabaceae* и *Poaceae*. Однако общее количество видов и их число в пределах каждого из семейств на площадках отличается (табл. 6, рис. 3). В таблице 6 продемонстрированы данные о семействах, представленных наибольшим числом видов.

После формирования отвала на его территории на этапе первичной сукцессии отмечается сильное снижение видового разнообразия как в целом, так и в пределах ведущих семейств.

Оценка флористической общности выявила на обследованных участках большое видовое различие, а не сходство (коэффициент Жаккара = 0,24). Расчет индекса Чекановского-Сьеренсена (38,5 %) подтверждает относительную специфичность флористических составов на данных участках.

Сравнение формирующейся флоры на отвале и фоновой территории по биоморфологическому и экологическому составу показало, что в условиях нарушенного биотопа разнообразие растений по данным характеристикам снижено. Жизненные формы фоновой территории включают древесные и полудревесные растения, которые отсутствуют в условиях отвала. Доля многолетних травянистых растений выше на незатронутом техногенной деятельностью участке и составляет 71,3 % против 61,2 %. На отвале возрастает роль одно- и двулетних

травянистых растений, поскольку здесь их доля на 20 % выше, чем в окружающих условиях.

Различие на разных участках в экологических группах растений по отношению к влаге проявляется в наличии ксерофитов, уменьшении доли мезогигрофитов и отсутствии гигрофитов на участке нарушенной территории по сравнению с фоном. На отвале горной породы в молодом растительном сообществе доля светолюбивых растений и сциогелиофитов выше на 7,3 и 1,8 % соответственно. Теневыносливые растения в большем видовом разнообразии представлены на участке, окружающем разрез, – доля выше на 8,9 %. Видов растений, приспособленных к почвам умеренного плодородия, встречается на фоновой территории больше, а эвтрофов – меньше (почти на 6 %). Олиготрофы примерно в равных долях присутствуют в обоих фитоценозах.

В отношении хозяйственной ценности растений на территории отвалов больше доля видов медоносных, пищевых, кормовых, технических и сорных групп. На фоновой территории больше видовое разнообразие лекарственных, декоративных и ядовитых растений. Особенно заметна разница в долях видов на разных территориях по группам пищевых и сорных растений: 22,9 и 18,8 % соответственно.

Процесс зарастания отвала растениями можно рассматривать как этап первичной сукцессии по восстановлению растительности. По данным Н. И. Денисова с соавторами этот период самозарастания продолжается в течение 2–3 лет [11].

Выводы

В ходе исследования на территории отвала горной породы разреза «Талдинский» выявлена трансформация растительного покрова, вызванная работами по добыче угля. Его деградация проявилась в снижении общего видового разнообразия, которое изменилось в меньшую сторону более чем на 70 %,

и в уменьшении площадей, занимаемых растениями в целом и отдельными видами в частности. Такая трансформация повлекла за собой изменение в соотношении биоморфологической и экологической структуры растительности на данной территории, что не могло не отразиться на биогеоценозе. По комплексу признаков растительность отвала представлена разреженными пионерными группировками с увеличенной долей сорных растений и находится на этапе первой стадии образования и развития флоры на техногенных территориях.

В качестве рекомендации для скорейшего восстановления биогеоценоза на территории угольных отвалов разреза «Талдинский» Прокопьевского района Кемеровской области рекомендуется проведение комплекса мероприятий по рекультивации техногенно-нарушенных ландшафтов с предварительным изучением эдафического комплекса и последующей оценкой этапов восстановления растительности.

Критерии авторства

Фактический вклад соавторов в выполненную работу: А. В. Заушинцева – 30 %, Г. Я. Степанюк – 30 %, М. А. Осинцева – 15 %, С. С. Буренков – 10 %, С. В. Свиркова – 10 %, А. А. Гаврилов – 5 %.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.V. Zaushintsena – 30%, G.Ya. Stepanyuk – 30%, M.A. Osintseva – 15%, S.S. Burenkov – 10%, S.V. Svirikova – 10%, A.A. Gavrilov – 5%.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Rozlomij NG, Belov AN, Berseneva SA, Repsh NV. Dynamics of natural reforestation on disturbed lands in the south of the Far East of Russia. Bulletin of KSAU. 2021;171(6):39–46. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-6-39-46>
2. Drozdova MYu, Pozdnyakova AV, Osintseva MA, Burova NV, Minina VI. The microorganism-plant system for remediation of soil exposed to coal mining. Foods and Raw Materials. 2021;9(2):406–418. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-406-418>
3. Eremeev EA. Simple scale for assessing anthropogenic pressure on the environment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;839(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/2/022075>
4. Kireeva AS. The current state and environmental assessment of the impact of rock dumps of coal industry enterprises. Izvestiya Tula State University. Nauki o Zemle. 2022;(1):62–71. (In Russ.). [Киреева А. С. Современное состояние и экологическая оценка влияния породных отвалов предприятий угольной промышленности // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. № 1. С. 62–71.]

5. Lavrinenko AT, Ostapova NA, Safronova OS, Shapovalenko GN, Evseeva IN, Morshnev EA. Some features of the floristic composition of the planned dumps of “Chernogorsky” open-pit mine “SUEK-Khakassia” LLC. *Ugol*. 2020;1134(9):68–71. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2020-9-68-71>
6. Popovych V, Kuzmenko O, Voloshchysyn A, Petlovanyi M. Influence of man-made edaphotopes of the spoil heap on biota. *E3S Web of Conferences*. 2018;60. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000010>
7. Kozybaeva FE, Kotuhov YuA, Beiseeva GB, Azhikina NZh, Satekov EYa, Sarkulova J. Natural regeneration of plant cover, their species composition in the conditions of self-overgrowing and recultivation of industrial dumps of ore deposit of Tishinka eastern Kazakhstan region. *Soil Science and Agrochemistry*. 2018;(4):53–69. (In Russ.). [Естественное восстановление растительного покрова, его видовой состав в условиях самозарастания и рекультивации промышленных отвалов рудного месторождения Тишинка ВКО / Ф. Е. Козыбаева [и др.] // Почвоведение и агрохимия. 2018. № 4. С. 53–69.].
8. Lednev SA, Sharapova AV, Semenov IN, Koroleva TV. Plant successions on coal mines’ waste piles in forest-steppe of the Tula oblast. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*. 2020;(2):239–245. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2587556620020089>
9. Ostapova NA, Markova EV, Safronova OS, Evseeva IN, Morshnev EA. The state of the vegetation cover of the sanitary protection zone of the coal mining enterprise LLC “SUEK-Khakassia” section “Chernogorsky”. *Ugol*. 2022;1156(7):66–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-7-66-70>
10. Titova VI, Vershinina IV. Orientation succession process phytocenoses soil disturbance as performance benchmarks ability naturbiogeotsenoza to heal. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2014;(4):21–24. (In Russ.). [Титова В. И., Вершинина И. В. Направленность сукцессионных процессов фитоценоза нарушенных почв как критерий оценки способности натурбиогеоценоза к самовосстановлению // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 4. С. 21–24.].
11. Denisov NI, Saranchuk AP, Sinitsa AA. Revegetation of the plant cover on technogenic landscapes of the north of primorie territory (dumps of brown-coal fields). *Environmental Engineering*. 2016;(5):114–131. (In Russ.). [Денисов Н. И., Саранчук А. П., Синица А. А. Восстановление растительного покрова на техногенных ландшафтах севера Приморского края (отвалах буроголивых месторождений) // Природообустройство. 2016. № 5. С. 114–131.].
12. Order of the Ministry of Natural Resources of Russia, August 18, 2014, No. 367 (amended on June 7, 2022): The List of Forest Sites of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation [Internet]. [cited 2022 Sep 10]. Available from: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_169590 [Приказ Минприроды России от 18.08.2014 № 367 (ред. от 07.06.2022) «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_169590 (дата обращения: 10.09.2022).].
13. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO; 2014. 181 p.
14. Project for the expansion of the Taldinskiy open-pit mine of the branch of OAO Management Company Kuzbassrazrezugol (Taldinskiy coal field). Project documentation. Environmental impact assessment. Book 1. Volume 1. Kemerovo; 2020. 364 p. (In Russ.). [Проект расширения разреза «Талдинский» филиала ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» «Талдинский угольный разрез» (Талдинское поле). Проектная документация. Оценка воздействия на окружающую природную среду. Книга 1. Том 1. Кемерово, 2020. 364 с.].
15. Kostina NV. Indexes of similarity and dissimilarity for territory zoning based on local floras. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013;15(3–7):2160–2168. (In Russ.). [Костина Н. В. Применение индексов сходства и различия для районирования территорий на основе локальных флор // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3–7. С. 2160–2168.].
16. Lihachev SV. Ecological assessment of segetal flora activity’s change near Perm. *University Proceedings. Volga Region. Natural Sciences*. 2022;37(1):29–38. (In Russ.). <https://doi.org/10.21685/2307-9150-2022-1-3>
17. Krasnoborov IM. Index of plants of the Kemerovo Region. *Novosibirsk: Izdatel’stvo Sibirskogo otdeleniya RAN*; 2001. 474 p. (In Russ.). [Красноборов И. М. Определитель растений Кемеровской области. Новосибирск: Издательство Сибирского отделения РАН, 2001. 474 с.].
18. Plantarium. Plants and lichens of Russia and neighboring countries: an open online atlas and guide to plants [Internet]. [cited 2022 Aug 23]. Available from: <https://www.plantarium.ru> [Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. URL: <https://www.plantarium.ru> (дата обращения: 23.08.2022).].
19. Demina ON. Eco-biomorphological analysis of steppe coenofloras of the don basin. *South of Russia: Ecology, Development*. 2011;6(1):31–40. (In Russ.). [Демина О. Н. Эколого-биоморфологический анализ степной ценофлоры бассейна Дона // Юг России: экология, развитие. 2011. Т. 6. № 1. С. 31–40.].
20. Zozulin GM. The system of life forms of higher plants. *Botanical journal*. 1961;46(1):3–20. (In Russ.). [Зозулин Г. М. Система жизненных форм высших растений // Ботанический журнал. 1961. Т. 46. № 1. С. 3–20.].

21. Kupriyanov AN, Manakov YuA. Regularities of restoration of plant cover on the dumps of the Kuznetsk basin. *Siberian Journal of Forest Science*. 2016;(2):51–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.15372/SJFS20160205>
22. Manakov YuA. Pioneer stage of syngeneses on sandstone dumps. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2010;67(5):49–55. (In Russ.). [Манаков Ю. А. Анализ пионерной стадии сингенеза на отвалах песчаниковых пород // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2010. Т. 67. № 5. С. 49–55.].
23. Koptseva EM, Abakumov EV. Primary succession of vegetation and soils in quarries within northern taiga subzone (on the territory of the Ukhtinskiy and Sosnogorskiy districts of Komi Republic). *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 3. Biology*. 2013;(1):28–44. (In Russ.). [Копцева Е. М., Абакумов Е. В. Первичные сукцессии растительности и почв на карьерах в подзоне Северной тайги (на территории Ухтинского и Сосногорского районов Республики Коми) // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. 2013. № 1. С. 28–44.].
24. Nagur MN, Chernyavskaya IV, Mugotlev MA. Evaluation of the meeting and ability of species of wild-food food plants of the family Rosaceae L. isosphere and People: Proceedings of the International Scientific Conference; 2019; Майкоп. Майкоп: Electronic publishing technology; 2019. p. 135–137. (In Russ.). [Хагур М. Н., Чернявская И. В., Муготлдев М. А. Оценка встречаемости и обилия видов дикорастущих пищевых растений семейства Rosaceae L // Биосфера и человек: Материалы международной научно-практической конференции. Майкоп, 2019. С. 135–137.].

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2409>
<https://elibrary.ru/GUHXFU>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Анализ стандартов Евразийского экономического союза на кондитерские изделия



Е. А. Демченко

Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова , Москва, Россия

Поступила в редакцию: 28.03.2022
Принята после рецензирования: 19.04.2022
Принята к публикации: 03.05.2022

Е. А. Демченко: Demchenko.EA@rea.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2384-6490>

© Е. А. Демченко, 2022



Аннотация.

Единый подход к развитию стандартизации является одним из условий создания безбарьерной торговли на рынке стран Евразийского экономического союза (ЕАЭС). Цель работы заключалась в анализе и разработке предложений по гармонизации стандартов Евразийской экономической комиссии (ЕАЭК) по нормированию содержания и контролю диоксида серы и сульфитов в кондитерских изделиях.

В работе изучали технические регламенты и стандарты на кондитерские изделия, методы определения диоксида серы, а также информационные ресурсы стран ЕАЭС о результатах контрольных надзорных мероприятий. Для исследования применяли методы сравнения и аналогии, анализа и синтеза, экспертной оценки, комплексной стандартизации и системного анализа.

Была проанализирована информация официальных сайтов уполномоченных органов государств-членов ЕАЭС по осуществлению ими контрольных и надзорных мероприятий за соблюдением требований технических регламентов. Установлены основные причины ограничения оборота кондитерских изделий, связанные с обнаружением диоксида серы и сульфитов. Анализ стандартов на кондитерские изделия показал расхождения с требованиями ТР ТС 022/2011 и ТР ТС 029/2012 в части регламентируемого содержания диоксида серы и сульфитов в готовой продукции, а также отсутствие гармонизированных подходов в анализируемых показателях, единицах их измерения и методах определения. Провели оценку преимуществ и недостатков действующих ГОСТов на методы определения диоксида серы и сульфитов в кондитерских изделиях. Показана целесообразность гармонизации государственных стандартов на методы контроля с международными стандартами и Директивами ЕС, в частности путем валидации (аттестации) методики Монье-Вильямса.

Результаты исследования могут быть использованы для гармонизации национального и международного регулирования, снятия технических барьеров на рынке стран ЕАЭС и наращивания объемов внешней торговли. Применение полученных данных производителями кондитерских изделий может способствовать повышению качества и безопасности выпускаемых кондитерских изделий.

Ключевые слова. Стандарты, качество, безопасность, печенье, пастила, карамель, маркировка, диоксид серы, сульфиты

Для цитирования: Демченко Е. А. Анализ стандартов Евразийского экономического союза на кондитерские изделия // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 819–834. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2409>

Confectionery Standards in the Eurasian Economic Union



Elena A. Demchenko 

Plekhanov Russian University of Economics , Moscow, Russia

Received: 28.03.2022
Revised: 19.04.2022
Accepted: 03.05.2022

Elena A. Demchenko: Demchenko.EA@rea.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2384-6490>

© E.A. Demchenko, 2022



Abstract.

A barrier-free trade in the Eurasian Economic Union (EAEU) market is impossible without a unified approach to standardization. The research objective was to analyze and develop proposals that would make it possible to unify the standards of the Eurasian Economic Commission (EAEC) on the content of sulfur dioxide and sulfites in confectionery products.

The study featured technical regulations and standards for confectionery products, methods for determining sulfur dioxide, and EAEU resources on the results of control oversight activities. The methods included comparison, analogy, analysis, synthesis, peer review, integrated standardization, and system analysis.

The analysis involved the official websites of the authorized bodies of the EAEU states on control and supervisory measures for compliance with technical regulations. It revealed the main reasons behind the limited confectionery turnover associated with excessive sulfur dioxide and sulfites. The standards showed discrepancies with Technical Regulations of Customs Union TR CU 022/2011 and TR CU 029/2012. The content standards for sulfur dioxide and sulfites in finished products were different. The analysis detected no unified approach to indicators, measurement units, and detection methods. The authors also assessed the advantages and disadvantages of the existing domestic State Standards for methods of sulfur dioxide and sulfite detection in confectionery products. The state standards have to be adapted to the international standards and EU Directives, in particular, by certifying the Monier-Williams method.

The results can help to unify national and international regulations in order to remove technical barriers in the EAEU market and increase the export volume. They also can help confectionery producers to improve the quality and safety of confectionery products.

Keywords. Standards, quality, safety, biscuits, marshmallow, caramel, labeling, sulfur dioxide, sulfites

For citation: Demchenko EA. Confectionery Standards in the Eurasian Economic Union. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):819–834. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2409>

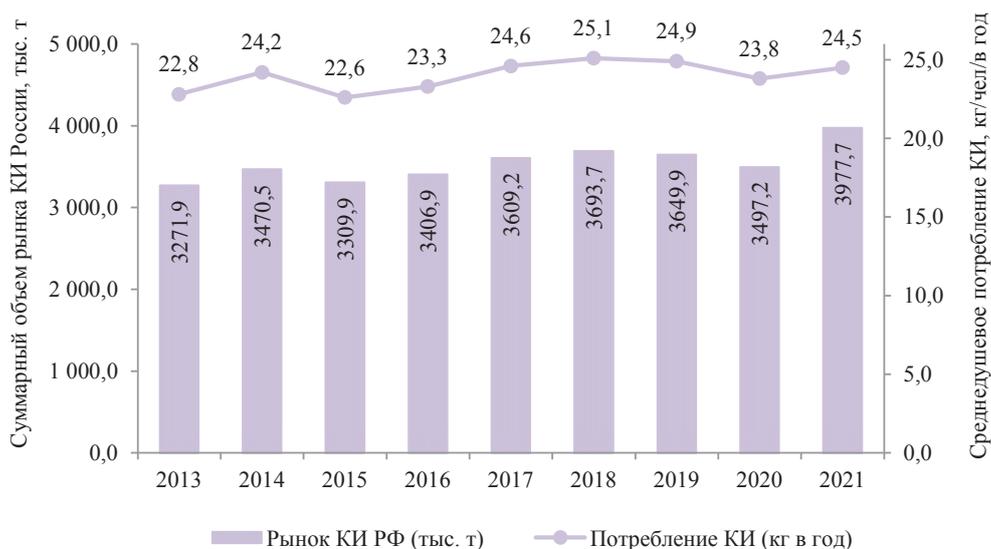
Введение

Кондитерские изделия являются постоянным компонентом любого рациона питания и важным сегментом Российского рынка пищевой продукции. Популярность и востребованность кондитерских изделий объясняется не только их экономической доступностью, разнообразным ассортиментом и привлекательными вкусовыми качествами, но и способностью оказывать положительное эмоциональное влияние на человека. В стрессовых ситуациях люди потребляют больше сладкого. Это подтверждают результаты исследований, свидетельствующие о том, что за время пандемии COVID-19 средний чек снизился, но продажа кондитерских изделий не упала [1–3].

Душевое потребление кондитерских изделий россиянами в 2021 г. составило 24,5 кг/в год,

что на 0,7 кг больше, чем в предыдущем году (рис. 1 и 2) [4–8].

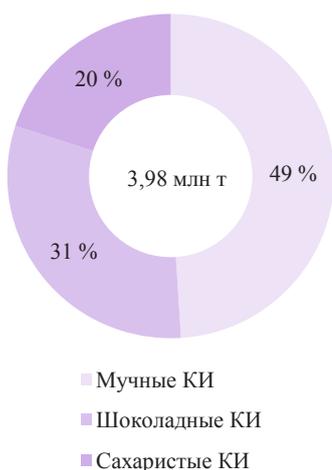
Пищевая промышленность России является не только стратегически важной отраслью экономики, от которой зависит национальная безопасность и благополучие населения, но и выступает как объект международной торговли [9, 10]. Экспорт российской продукции агропромышленного комплекса начал быстро расти благодаря государственным программам поддержки [11]. Ключевая роль в создании общенациональной системы поддержки экспорта отводится Российскому экспортному центру. Он оказывает комплексную поддержку, включая не только предоставление нефинансовой поддержки, но и финансовое сопровождение, а также масштабируя позитивное и нивелируя негативное влияния внешних



Источник: ФТС России, оценка Агроэкспорт, данные актуальны на 20.02.2022 г.

Рисунок 1. Суммарный объем рынка кондитерских изделий (КИ) в России и среднедушевое потребление

Figure 1. Total volume of the Russian confectionery market and average per capita consumption



Источник: ФТС России, оценка Агроэкспорт, данные актуальны на 20.02.2022 г.

Рисунок 2. Структура производства кондитерских изделий (КИ) в России по основным видам продукции в 2021 г.

Figure 2. Structure of confectionery production in Russia by main types of products, 2021

и внутренних факторов на экспорт товаров и услуг из России [12, 13].

По данным Федерального центра «Агроэкспорт» Минсельхоза России, экспорт продукции агропромышленного комплекса за 2021 г. составил более \$37,1 млрд или 71,07 млн т, что является рекордом (рис. 3) [14].

Одним из важных сегментов современного российского экспорта является кондитерская отрасль.

По итогам 2021 г. объем поставок кондитерских изделий из России составил 0,78 млн т на сумму \$1,73 млрд, что ставит отрасль на 4-е место в структуре экспорта продовольствия.

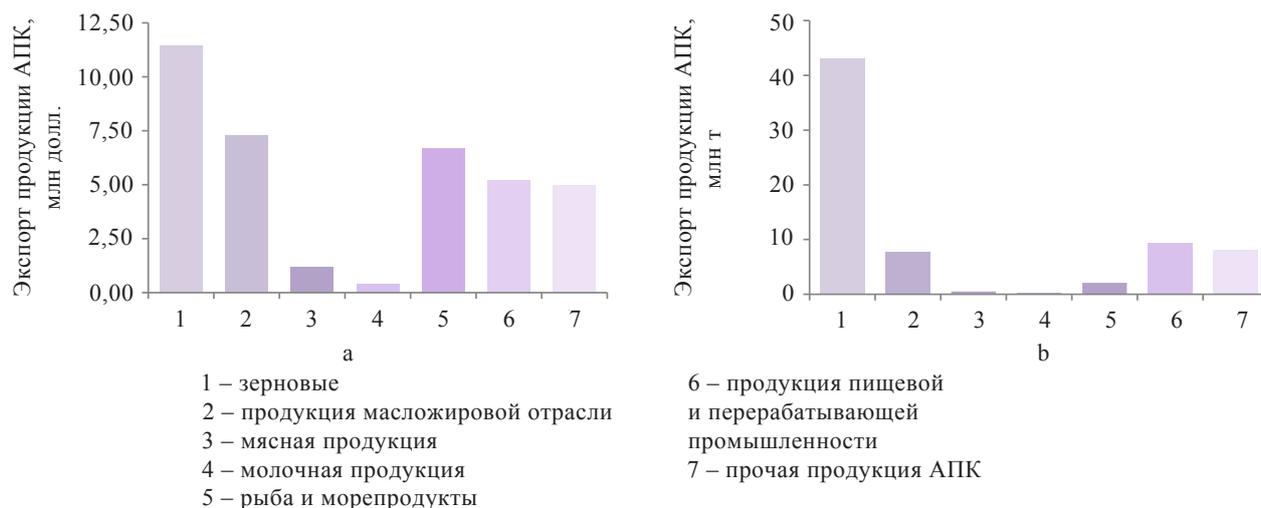
На современном этапе география поставок российских кондитерских изделий насчитывает 94 страны. Продажи растут не только за счет основных покупателей, которыми являются страны ближнего зарубежья (Казахстан, Беларусь, Азербайджан и страны Средней Азии), но и за счет развития новых направлений: Сербия (+373 %), Нигерия (+368 %), Афганистан (+323 %), Йемен (+155 %), Болгария (+120 %) и Бразилия (+110 %) [5, 6].

Российские кондитерские изделия привлекают все больше потребителей в мире из-за оптимального соотношения цены и качества, а также расширенного ассортиментного предложения [14–16]. В 2021 г. экспорт кондитерских изделий обновил исторический максимум, показав рост на 13 % в натуральном и на 20,9 % в стоимостном выражении в сравнении с 2020 г. (табл. 1) [5, 6, 14–16].

Актуальным вопросом международной торговли является качество и безопасность пищевой продукции. Для его решения необходима координация участия стран ЕАЭС в межгосударственной стандартизации, а также установление четких правил формирования современной базы стандартов для выполнения единых обязательных требований к продукции.

Основными барьерами в международной торговле кондитерскими изделиями являются:

– отсутствие нормативных документов, гармонизированных и унифицированных с международными стандартами и Директивами ЕС;



Источник: ФТС России, оценка Агроэкспорт, данные актуальны на 20.02.2022 г.

Рисунок 3. Экспорт АПК РФ 2021 г.: а – в стоимостном выражении, млн долл.; б – в натуральном выражении, млн т

Figure 3. Export of the agro-industrial complex of the Russian Federation in 2021: a – in value terms, million USD; b – in physical terms, million tons

Таблица 1. Темпы роста экспорта российских кондитерских изделий за период 2019–2021 гг.

Table 1. Growth rates of Russian confectionery exports in 2019–2021

Код ТН ВЭД	Категория	Единицы измерения	2019 г.	2020 г.	2020 г. к 2019 г., %	2021 г.	2021 г. к 2020 г., %
1704	Кондитерские изделия из сахара (включая белый шоколад и жевательную резинку), не содержащие какао	тыс. т	92,0	102,2	111,1	114,5	112,0
		млн долл.	267,1	251,3	94,1	287,8	114,5
1806	Шоколад и прочие пищевые продукты, содержащие какао	тыс. т	278,2	296,6	106,2	324,5	109,8
		млн долл.	720,0	729,2	101,3	871,6	119,5
1905	Мучные кондитерские изделия, пирожные, печенье, вафли и др.	тыс. т	260,0	290,6	111,8	338,7	116,5
		млн долл.	425,5	449,8	105,7	569,5	126,6
Всего		тыс. т	630,3	688,4	109,2	777,7	113,0
		млн долл.	1412,6	1430,3	101,3	1728,9	120,9

– наличие в действующих стандартах смягчающих требований и различий в анализируемых показателях к качеству и безопасности;

– нехватка аккредитованных испытательных лабораторий, признанных на международном уровне [17, 18].

Сложность заключается в отсутствии технического регламента Союза на кондитерские изделия. Действуют нормы законодательства государств-членов ЕАЭС, что является причиной к введению органами контроля взаимных ограничений в качестве механизма поддержки собственных производителей. С целью создания устойчивой среды для оптимального и рационального взаимодействия внутри ЕАЭС и на мировом рынке необходима модернизация нормативно-технической базы и организация

системной работы по разработке недостающих для реализации технических регламентов Союза документов [19–21].

Цель работы заключалась в научном анализе нормативно-законодательной базы, регулирующей производство кондитерских изделий и информацию, размещенную на официальных сайтах уполномоченных органов государств-членов ЕАЭС при осуществлении ими контрольных и надзорных мероприятий за соблюдением требований технических регламентов для разработки предложений по гармонизации требований к нормированию обращения и сертификации кондитерских изделий по показателю содержания диоксида серы и сульфитов, направленных на формирование благоприятных условий для развития конкуренции на продовольственном рынке ЕАЭС.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись технические регламенты Таможенного союза, стандарты на кондитерские изделия ГОСТ 24901-2014, ГОСТ 14033-2015, ГОСТ 14032-2017, ГОСТ 6441-2014 и ГОСТ 6477-2019, стандарты на методы определения диоксида серы в кондитерских изделиях ГОСТ 26811-2014 и ГОСТ 34552-2019, информация, размещенная на официальных сайтах уполномоченных органов государств-членов ЕАЭС при осуществлении ими контрольных и надзорных мероприятий за соблюдением требований технических регламентов Союза, и информация независимых организаций, задействованных в процедуре мониторинга потребительского рынка (Росконтроль, Российская система качества).

В исследовании использовались методы сравнения и аналогии, анализа и синтеза, экспертной оценки, комплексной стандартизации и системного анализа.

Результаты и их обсуждение

Высокая конкуренция на рынке и желание изготовителей следовать современным тенденциям обуславливают необходимость постоянного совершенствования требований к качеству пищевых продуктов. С целью содействия безбарьерной международной торговле и гармонизации технического регулирования сбыта и контроля качества продукции в феврале 2022 г. Коллегия ЕАЭК утвердила рекомендацию «О подходах к определению понятия “качество товаров” в сфере защиты прав потребителей» [22]. Рекомендация подготовлена в соответствии с планом мероприятий по реализации Стратегии-2025 с целью минимизации существующих различий в национальном регулировании [23]. В понятие «качество» предложено включать характеристики, обеспечивающие соответствие товаров установленным требованиям безопасности, условиям гражданско-правового договора, целям их использования и представленной потребителю информации, заявленной в установленном порядке или на добровольной основе изготовителем или продавцом в рекламе, на упаковке, маркировке и этикетке, в том числе о соответствии стандартам (международным, региональным (межгосударственным), национальным (государственным), стандартам организаций и др.).

Основными причинами введения ограничений на поставки пищевой продукции на внутренние рынки ЕАЭС являются незаявленные аллергены и красители, ошибки в маркировке, наличие в продукции болезнетворных бактерий, намеренная фальсификация. Компонентами, употребление которых может вызвать аллергические реакции или противопоказано при отдельных видах заболеваний, являются диоксид серы и сульфиты. Они относятся к разрешенным пищевым добавкам и имеют коды от E220 до E228, присвоенные регламентом Европей-

ского союза [24]. Поскольку все пищевые добавки с кодами E220-E228 могут превращаться в диоксид серы, сульфиты измеряются и выражаются в виде диоксида серы. Благодаря широкой области применения сульфиты добавляют в большой ассортимент пищевых продуктов (соки, вина, сухофрукты, фруктово-ягодные и овощные продукты, мучные кондитерские и хлебобулочные изделия, морепродукты и др.) в качестве консервантов, антиоксидантов и ингибиторов ферментов, способствующих улучшению внешнего вида пищи и предотвращающих ее обесцвечивание и реакции ферментативного и неферментативного потемнения во время обработки и хранения продукции [25–28]. Присутствие сульфитов в продуктах питания может оказывать негативное воздействие на здоровье человека: вызывать проблемы с дыханием, раздражение желудка, астматические и аллергические реакции [29, 30]. Задокументированы побочные эффекты, связанные с потерей питательной ценности продуктов, а именно снижение биодоступности витаминов: тиамина (B₁), фолиевой кислоты (B₉), пиридоксина (B₆) и никотинамида (B₃) [31–33]. В связи с этим содержание сульфитов в продуктах питания необходимо контролировать для гарантий не превышения допустимой суточной нормы (ADI – 0,7 мг на 1 кг массы тела) [29]. Во многих странах нормы содержания сульфитов в пищевых продуктах установлены законодательно, но их количественное нормирование и правила маркировки различаются.

В соответствии с ТР ТС 022/2011 диоксид серы и сульфиты должны указываться в составе пищевой продукции, если их общее содержание составляет более 10 мг/кг или 10 мг/л в пересчете на диоксид серы (ТР ТС 022/2011 статья 4, часть 4.4, п. 13 и 14).

В соответствии с ТР ТС 029/2012 содержание диоксида серы в пищевой продукции менее 10 мг/кг или мг/л оценивается как остаточное количество и может не указываться на маркировке (статья 7, п. 17, п.п. 9, статья 9, п. 1, п.п. 11).

Суммарное содержание диоксида серы и сульфитов из всех источников поступления не должно превышать максимально допустимых уровней, установленных в приложении 8 к ТР ТС 029/2012. Согласно данному приложению использование пищевых добавок E220-E228 при производстве кондитерской продукции разрешено в следующих видах кондитерских изделий (табл. 2).

В связи с тем что уровень самодостаточности внутреннего рынка стран ЕАЭС по кондитерским изделиям высок, нередко ситуации, когда страны-партнеры применяют меры технического регулирования для контроля поставок на внутренний рынок своей страны. Меры технического регулирования, являясь препятствием для внешней торговли, способствуют развитию национальной экономики страны их применяющей и укреплению

ее безопасности. Законными целями применения технических барьеров признаются:

- требования национальной безопасности;
- предотвращение обманной практики в торговле;
- защита здоровья и безопасности людей, жизни и здоровья животных и растений;
- охрана окружающей среды [34–37].

В результате анализа информации, размещенной на официальных сайтах уполномоченных органов государств-членов ЕАЭС при осуществлении ими контрольных и надзорных мероприятий за соблюдением требований технических регламентов Союза, а также информации независимых организаций, задействованных в процедуре мониторинга потребительского рынка, установлено, что применительно к кондитерским изделиям распространенной причиной изъятия, запрещения кввозу и/или обращению на внутреннем рынке являются нарушения, связанные с регламентацией диоксида серы и сульфитов. Определены три ключевых фактора, формирующих данные нарушения:

1) наличие в составе продукции пиросульфита натрия (E223);

2) обнаружение незаявленного в маркировке продукции диоксида серы и сульфитов (E220-E228);

3) обнаружение превышения максимально допустимого уровня диоксида серы и сульфитов в продукции (при их указании в составе).

На основании сравнительного анализа официальных информационных ресурсов стран ЕАЭС установлено, что наиболее информативным и удобным является электронный ресурс Госстандарта Белоруссии «Опасная продукция». В нем приводится подробная информация о выявленных нарушениях, наименовании продукции, производителе и торговой марке, демонстрируется фотография товара, указывается характеристика типа риска, предпри-

нятые меры и т. д. (рис. 4). Ресурс Роспотребнадзора «Продукция, не соответствующая обязательным требованиям» неудобен и малоинформативен: не раскрывается информация о производителе и торговой организации, не детализируются выявленные нарушения и виды опасности, отсутствует фотография товара (рис. 5). Информационные ресурсы организаций Росконтроль и Роскачество информативны, но перегружены данными лабораторных исследований. На момент проведения исследования информационные ресурсы уполномоченных органов в Республике Армения, Республике Казахстан, Киргизии и Узбекистана отсутствовали.

Формирование единой информационной системы на рынках стран ЕАЭС о продукции, не соответствующей требованиям технических регламентов, позволит субъектам рынка получать информацию о характеристиках товара, случаях фальсификации и контрафакта, структуре выявленных рисков для здоровья и ответных мерах реагирования со стороны надзорных органов [38].

Наибольшее количество нарушений, связанных с несоответствием кондитерских изделий требованиям технических регламентов ЕАЭС, являющихся причиной изъятия продукции с рынка, зафиксировано в республике Беларусь.

Проанализировав все факторы по отдельности и во взаимосвязи, установлены следующие нарушения:

1. Нарушения, связанные с наличием в составе продукции пиросульфита натрия (E223).

Пищевая добавка пиросульфит натрия (E223) с 1980 г. традиционно применяется при производстве ряда мучных кондитерских изделий: затяжного печенья, крекера, галет и слоеного полуфабриката. Использование пиросульфита натрия способствует ускорению технологического процесса и улучшению качества готовой продукции. Введение пиросуль-

Таблица 2. Регламентируемые уровни содержания диоксида серы и сульфитов в кондитерских изделиях в соответствии с ТР ТС 022/2011 и ТР ТС 029/2012

Table 2. Sulfur dioxide and sulfites in confectionery products: TR CU 022/2011 and TR CU 029/2012

Содержание диоксида серы и сульфитов в кондитерских изделиях, мг/кг		
Менее 10	Не более 50	Не более 100
Оценивается как остаточное количество.	– Джем, мармелад, желе, повидло с низким содержанием сахара и без сахара и другие аналогичные продукты; – Конфеты и сахаристые кондитерские изделия на высокоглюкозной патоке; – Бисквит сухой; – Сухие завтраки (снеки) на основе зерновых и картофеля.	– Глазированные в сахаре (кондированные) фрукты, овощи, цукаты; – Джем, желе, мармелад, повидло, изготовленные с использованием сульфитированных фруктов и ягод; – Начинки фруктовые (на фруктовой основе).
В маркировке продукции допускается не указывать информацию о содержании диоксида серы и сульфитов	Информация о содержании диоксида серы должна быть обязательно отражена в маркировке продукции	Информация о содержании диоксида серы должна быть обязательно отражена в маркировке пищевой продукции



ОП-21-907. Изделия кондитерские мучные слоеные «Грильяжное»

Предписание 06-18-13/911 Дата введения меры 10.07.2021 ТН ВЭД 1905

Производитель
ЧП ПТК «Лукас» (Украина)

Импортеры продукции на территории РБ - Поставщики продукции на территории РБ
ООО "Витрум плюс", Минская обл., Червенский р-н

Выявленные нарушения

Продукция не соответствует требованиям технических регламентов Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (пункта 1 статьи 5 главы 1, пунктов 1, 8 статьи 7 главы 2), ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (подпунктов 1, 3 пункта 1, пункта 16 статьи 7, приложений 4, 8) по безопасности: при производстве продукции использовалась заявленная в маркировке недопустимая пищевая добавка – антиокислитель E223 (пиросульфит натрия).

Рисунок 4. Информационный ресурс «Опасная продукция» Госстандарта Белоруссии

Figure 4. Information resource on dangerous products: State Standard of Belarus

№	Наименование продукции	Тип продукции	Производитель		Показатели несоответствия	Регион
			Дата производства	Страна		
1	печенье	Пищевая продукция	11.03.2022		Маркировка отсутствует	Новосибирская область
2	печенье песочное "Курябье"	Пищевая продукция			Маркировка отсутствует	Красноярский край
3	печенье суфле в шоколаде	Пищевая продукция			Маркировка отсутствует	Красноярский край
4	печенье "Лукас", 1/40 гр.	Пищевая продукция			Маркировка отсутствует	Красноярский край
5	печенье	Пищевая продукция			Маркировка отсутствует	Республика Татарстан (Волжский)
6	печенье Курябье	Пищевая продукция		Индивидуальный предприниматель Демжова Ирина Александровна Новосибирская обл., Татарский р-н, г. Татарск	Маркировка не соответствует	Новосибирская область
7	Печенье шоколадное "СНОСОЛНЕ"	Пищевая продукция	20.01.2022	РОССИЯ	Маркировка не соответствует	Лицейская область
8	печенье «Мануэла»	Пищевая продукция	23.04.2021	БЕЛАРУСЬ	Маркировка не соответствует	Удмуртская Республика
9	печенье «Листочки»	Пищевая продукция		УВНСКОЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЕ ОБЩЕСТВО "ОБЩЕПИТ" Удмуртская Респ., поселок Ува, ул. К.Маркса, д.25 РОССИЯ	Маркировка не соответствует	Удмуртская Республика
10	печенье	Пищевая продукция	22.09.2021		Маркировка отсутствует, Подтверждающие документы отсутствуют	Республика Ингушетия

Рисунок 5. Информационный ресурс «Продукция, не соответствующая обязательным требованиям» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека

Figure 5. Information resource on products that do not meet the mandatory requirements: Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare

фита натрия осуществляется в количестве 0,025–0,05 % к массе муки, а его технологическая функция заключается в расслаблении клейковины. Тесто, приготовленное с использованием пиросульфита натрия, не подвергается расстойке и сразу после замеса подается на дальнейшую обработку (в соответствии с действующей в отрасли Технологической инструкцией по производству мучных кондитерских изделий). Функция пиросульфита натрия как улучшителя муки в ТР ТС 029/2012 не отражена. В соответствии с приложением 2 ТР ТС 029/2012 технологическими функциями пиросульфита натрия являются консервант и антиокислитель. Легитимность применения пиросульфита натрия в производстве печенья, галет и крекера подтверждена межгосударственными стандартами ГОСТ 24901-2014, ГОСТ 14033-2015 и ГОСТ 14032-2017 (табл. 3).

Требования регламента ТР ТС 029/2012 не регулируют применение пиросульфита натрия в мучных кондитерских изделиях. В соответствии с регламентом диоксид серы и сульфиты (в том числе пиросульфит натрия E223) могут использоваться при производстве пищевой продукции «бисквит сухой». Однако такой группы изделий в кондитерской отрасли не существует и никогда не существовало (термин и определение «бисквит сухой» отсутствуют в межгосударственных и национальных (государственных) стандартах (ГОСТы на кондитерские изделия, ГОСТ Р 53041-2008)). Используемый в ТР ТС 029/2012 термин «бисквит сухой» был заимствован из ранее действующих СанПиН 2.3.2.1293-03, разработанных на основе Директив ЕС путем некорректного (неадаптированного) перевода используемого в

Директивах термина «biscuit», под которым в англоязычных странах подразумевается сухое печенье, крекер, булочка, сухарик и т. д. Это подтверждает наименование стандартов на английском языке «Biscuits. General specifications», указанное в действующих ГОСТ 24901-2014 и ГОСТ 14031-2011. Прямой перевод «бисквит сухой» был использован в Единых санитарно-эпидемиологических и гигиенических требованиях к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), и затем в регламенте. В результате этого произошла «терминологическая фикция (неточность)» и была создана ситуация, при которой требования регламента не регулируют применение пиросульфита натрия в мучных кондитерских изделиях, а правоприменительная практика не соответствует регламенту.

Много лет сложившаяся ситуация не вызывала сложностей с производством, идентификацией и обращением на рынке стран ЕАЭС мучных кондитерских изделий (всех видов и наименований), содержащих в своем составе пиросульфит натрия. Ситуация изменилась в марте 2021 г., когда за период со 2 марта по 12 ноября 2021 г. Госстандартом Белоруссии было выдано 102 предписания на изъятие, запрещение к ввозу и/или обращению на территории Республики Беларусь мучных кондитерских изделий (крекера, затяжного печенья и галет) российских производителей, а также производителей Украины,

Польши, Казахстана, Румынии и Молдавии. Информация о выданных предписаниях указана на официальном сайте Госстандарта Белоруссии, открытого не только для надзорных органов, но и для всех пользователей интернета.

В качестве выявленного нарушения в предписаниях указана формулировка (пример): «Продукция не соответствует требованиям технических регламентов Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (глава 1, статья 5, п. 1, глава 2, статья 7, п. 1 и 8) и ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (статья 7, п. 1 (п.п. 1 и 3) и 16, приложения 4 и 8) по безопасности: при производстве продукции использовалась заявленная в маркировке недопустимая пищевая добавка – антиокислитель E223 (пиросульфит натрия)». Основанием для выдачи предписания являются не результаты аналитических исследований, а факт наличия в составе продукции пиросульфита натрия (E223).

К противоречивости позиции Госстандарта Республики Беларусь относится и тот факт, что Госстандарт проголосовал за принятие действующих в отрасли межгосударственных стандартов, в которых имеется указание о возможности применения пиросульфита натрия (E223) в производстве затяжного печенья, галет и крекера (табл. 3). Также в Белоруссии разработаны и действуют государственные

Таблица 3. Межгосударственные стандарты на мучные кондитерские изделия и национальные органы по стандартизации, проголосовавшие за их принятие

Table 3. Interstate standards for bakery confectionery and national standardization bodies that voted for their adoption

ГОСТ 24901-2014 «Печенье. Общие технические условия»	ГОСТ 14033-2015 «Крекер. Общие технические условия»	ГОСТ 14032-2017 «Галеты. Общие технические условия»
Наименование стандарта на английском языке		
Biscuits. General specifications	Cracker. General specifications	Biscuits. General specifications
Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004-97 и сокращенное наименование национального органа по стандартизации, проголосовавших за принятие стандарта		
Армения (Минэкономики Республики Армения) Киргизия (Кыргызстандарт) Молдова (Молдова-Стандарт) Россия (Росстандарт)	Армения (Минэкономики Республики Армения) Беларусь (Госстандарт Республики Беларусь) Казахстан (Госстандарт Республики Казахстан) Киргизия (Кыргызстандарт) Россия (Росстандарт) Таджикистан (Таджикстандарт)	Армения (Минэкономики Республики Армения) Беларусь (Госстандарт Республики Беларусь) Киргизия (Кыргызстандарт) Россия (Росстандарт) Узбекистан (Узстандарт)
Указание о возможности использования пиросульфита натрия в тексте документа		
п. 5.1.3., табл. 2, примечание: Массовую долю общей сернистой кислоты определяют в печенье, изготовленном с применением пиросульфита натрия и сульфитированного пюре	п. 5, табл. 2, примечание: Массовую долю общей сернистой кислоты определяют в крекере, изготовленном с применением пиросульфита натрия и сульфитированного пюре	п. 5.1.3., табл. 2, примечание: Массовую долю общей сернистой кислоты определяют в галетах, изготовленных с использованием пиросульфита натрия и/или фруктового, овощного сырья, консервированного диоксидом серы (сернистым ангидридом) или солями сернистой кислоты (сульфитами)

стандарты СТБ 2357-2014 «Галеты. Общие технические условия» и СТБ 2434-2015 «Печенье. Общие технические условия», в которых имеются указания о возможности использования пиросульфита натрия в производстве галет и крекера.

Для выполнения задач по недопущению манипуляции техническим регулированием Евразийская экономическая комиссия (ЕАЭК) совместно с государствами-членами ЕАЭС и представителями бизнес-ассоциаций проводит системную работу, в рамках которой удалось прийти к решению сложившейся ситуации. По результатам проведенной работы 22 ноября 2021 г. на сайте ЕАЭК были опубликованы Разъяснения относительно трактовки требований технических регламентов в отношении применения пиросульфита натрия (E223) для отдельных видов мучных кондитерских изделий. В них указано, что «в разрабатываемом проекте изменений № 2 к ТР ТС 029/2012 формулировка наименования продукции «бисквит сухой» в приложении 8 к ТР ТС 029/2012 будет изложена в редакции «мучные кондитерские изделия с массовой долей влаги не более 15,5 %». Также приведена информация, полученная от Технического комитета по стандартизации «Кондитерские изделия» (ТК 149), что к группе продукции «бисквит сухой» могут быть отнесены такие отдельные виды мучных кондитерских изделий, как печенье, сахарное печенье, затяжное печенье, сдобное печенье, прослоенное печенье, крекер, галета и вафли. Данные Разъяснения были приняты контролирующими органами стран ЕАЭС до официального опубликования изменений № 2 к ТР ТС 029/2012. Это позволило решить задачу с отзывом продукции с рынка, устранить «терминологическую фикцию (неточность)» и отрегулировать вопрос применения пиросульфита натрия в мучных кондитерских изделиях.

2. Нарушения, связанные с обнаружением незаявленного в маркировке продукции диоксида серы и сульфитов (E220-E228).

Данные нарушения фиксируются только на основании лабораторных исследований в случаях, когда в маркировке продукции отсутствует указание о возможном наличии диоксида серы и сульфитов в составе изделий, а их количество, установленное аналитическим путем, более 10 мг/кг.

В соответствии с информацией, указанной на информационном ресурсе Госстандарта Белоруссии «Опасная продукция», при обнаружении в кондитерских изделиях незаявленного в маркировке диоксида серы и сульфитов выдается предписание о запрете ввоза и обращения опасной продукции, а также о прекращении действия на территории страны документов об оценке соответствия. В качестве нарушения в предписании указывается формулировка (пример): «Продукция не соответствует требованиям технических регламентов Таможенного союза

ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (глава 1, статья 5, п. 1, глава 2, статья 7, п. 1 и 8), ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» (статья 4, п. 1, 2, 6, 13 и 14, часть 4.4., статья 4, п. 1, часть 4.12) и ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (статья 7, п. 6, п.п. 1, статья 9, п. 1, приложение 8) по безопасности и маркировке – в результате проведенных испытаний в составе продукта обнаружен незаявленный изготовителем в маркировке консервант диоксид серы в количестве 33,0 мг/кг, превышающем 10 мг/кг, что может вызвать аллергические реакции или противопоказано при отдельных видах заболеваний».

Наличие диоксида серы и сульфитов является актуальной проблемой производителей кондитерских изделий, т. к. сульфитсодержащие пищевые добавки часто используются при изготовлении основных видов сырья и полуфабрикатов: сахар – 15 мг/кг*, крахмал – 50 мг/кг*, патока – 70 мг/кг*, сушеные фрукты – до 2000 мг/кг*, фруктово-ягодное пюре – 100 мг/кг*, повидло – 100 мг/кг*, начинки – 100 мг/кг* и др. (* – в соответствии с приложением 8 ТР ТС 029/2012).

В связи с этим условием отсутствия в маркировке продукции указания о возможном наличии диоксида серы в составе изделий является гарантия изготовителя, основанная на строгом входном контроле сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Если в продукции присутствует диоксид серы, то на маркировке должно быть указание об этом. Его количество, определяемое инструментальными методами анализа, не должно превышать 50 мг/кг для всех групп кондитерских изделий (не более 100 мг/кг для мармелада).

3. Нарушения, связанные с обнаружением превышения максимально допустимого уровня диоксида серы и сульфитов (E220-E228) в продукции (при его указании в составе продукции).

Данные нарушения фиксируются только на основании лабораторных исследований в случаях, когда количество диоксида серы и сульфитов, обнаруженное в результате проведенных исследований, составляет более 50 мг/кг для всех групп кондитерских изделий (более 100 мг/кг для мармелада).

В соответствии с информацией, указанной на информационном ресурсе Госстандарта Белоруссии «Опасная продукция», при обнаружении в кондитерских изделиях незаявленного в маркировке диоксида серы и сульфитов выдается предписание о запрете ввоза и обращения опасной продукции, а также о прекращении действия на территории страны документов об оценке соответствия. В качестве нарушения в предписании указывается формулировка (пример): «Продукция не соответствует требованиям

технических регламентов Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (глава 1, статья 5, п. 1, глава 2, статья 7, п. 1 и 8), ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» (статья 4, п. 1, 2, 6, 13 и 14, часть 4.4., п. 1, часть 4.12) и ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» (статья 7, п. 1, п.п. 1, статья 9, п. 1, приложение 8) по безопасности и маркировке – в результате проведенных испытаний в составе продукта обнаружена пищевая добавка – консервант диоксид серы в количестве 151,0 мг/кг при максимально допустимом уровне 50 мг/кг (превышено в 3,02 раза), что может вызвать аллергические реакции или противопоказано при отдельных видах заболеваний».

Основной причиной превышения количества диоксида серы более 50 мг/кг для мучных кондитерских изделий и более 100 мг/кг для мармелада является использование сульфитированного фруктово-ягодного сырья: начинки, джемов и сухофруктов при отсутствии или с нарушениями стадии десульфитации, которая должна предшествовать их использованию в производстве [39–41].

В результате анализа информации, размещенной на официальных сайтах уполномоченных органов государств-членов ЕАЭС при осуществлении ими контрольных и надзорных мероприятий за соблюдением требований технических регламентов, и информации независимых организаций, задействованных в процедуре мониторинга потребительского рынка, установлено, что содержание диоксида серы и сульфитов в кондитерских изделиях находится в широком диапазоне – от 0 до 300 мг/кг. Отсутствие в составе изделий сульфитированного сырья не гарантирует того, что содержание диоксида серы в продукции не превысит 10 мг/кг.

На основании проведенного анализа и обобщения полученных результатов сделан вывод о том,

что причиной выявленных нарушений является несоответствие требований, установленных в международных стандартах на кондитерские изделия с требованиями, установленными в ТР ТС 029/2012 в части регламентируемого содержания диоксида серы и сульфитов в готовой продукции, а также наличие разночтений в анализируемых показателях, единицах измерения и методах определения. В соответствии с ГОСТами в кондитерских изделиях контролируется показатель «массовая доля общей сернистой кислоты», выраженный в %, в то время как в ТР ТС 029/2012 – показатель «диоксид серы и сульфиты», выраженный в мг/кг. Коэффициенты и правила пересчета не приведены, что допускает путаницу и различные толкования полученных результатов как у контролирующих органов, так и у производителей продукции (табл. 4).

Таким образом, требованиям по максимальному уровню содержания диоксида серы и сульфитов (по отдельности или в комбинации в пересчете на диоксид серы), регламентируемому в соответствии с приложением 8 ТР ТС 029/2012, соответствует только ГОСТ 6442-2014, в то время как в остальных документах регламентируемый уровень диоксида серы превышен в 1,56 раза.

Болезненны последствия этой ситуации для производителей пастильных изделий. Об этом свидетельствует тот факт, что пастильные изделия лидируют по количеству выданных предписаний на изъятие, запрещение к ввозу и/или обращению продукции на рынке стран ЕАЭС по причине превышения содержания диоксида серы. При производстве пастилы, зефира и мармелада используют аналогичное сырье (сульфитированное яблочное пюре, фруктово-ягодные полуфабрикаты и др.). Показатель, установленный в ТР ТС 029/2012 для пастильных изделий, в два раза жестче, чем для мармелада: не более 50 мг/кг против не более 100 мг/кг.

Таблица 4. Сравнительный анализ требований ГОСТ и ТР ТС 029/2012 по регламентируемому содержанию диоксида серы в кондитерских изделиях

Table 4. State Standard vs. TR CU 029/2012 on sulfur dioxide in confectionery products

Нормативные документы, действующие на территории ЕАЭС	Наименование и значение показателя, в соответствии с		Показатель ГОСТ в пересчете на диоксид серы, мг/кг
	ГОСТ	ТР ТС 029/2012	
Регламентируемый показатель	Массовая доля общей сернистой кислоты, %, не более	Диоксид серы и сульфиты (по отдельности или в комбинации в пересчете на диоксид серы) не более, мг/кг	
ГОСТ 24901-2014	Для затяжного печенья 0,01	50	78,1
ГОСТ 14033-2015	0,01	50	78,1
ГОСТ 14032-2017	0,01	50	78,1
ГОСТ 6441-2014	0,01	50	78,1
ГОСТ 6442-2014	0,01	100	78,1
ГОСТ 6477-2019	0,01	50	78,1

Двойственность ситуации провоцирует производителей продукции к указанию на маркировке пастильных изделий сведений, противоречащих требованиям ТР ТС 029/2012 (приложение 8) (рис. 6 и 7). Маркировка содержит указание: остаточное содержание массовой доли общей сернистой кислоты не превышает нормы, установленной в ГОСТ 6441-2014 (п. 5.1.3).

Выявленные несоответствия препятствуют соблюдению производителями кондитерских изделий требований ТР ТС 022/2011 и ТР ТС 029/2012 и имеют негативные последствия для международной торговли. Они должны быть устранены путем внесения изменений в действующие ГОСТы на кондитерские изделия:

- ГОСТ 6441-2014 – пункт 62;
- ГОСТ 6442-2014 – пункт 64;
- ГОСТ 6477-2019 – пункт 65;
- ГОСТ 14032-2017 – пункт 98;
- ГОСТ 14033-2015 – пункт 100;
- ГОСТ 24901-2014 – пункт 142.

Данные документы включены в Перечень стандартов, утвержденный Решением Коллегии Комиссии от 24 декабря 2019 г. № 236, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ТР ТС 021/2011.

В результате анализа действующих стандартов на методы определения диоксида серы и сульфитов в кондитерских изделиях установлены несоответствия: отсутствие гармонизированных подходов в анализируемых показателях, единицах измерения

и методах определения. Это допускает путаницу и различные толкования полученных результатов как у контролирующих органов, так и у производителей продукции.

Для определения диоксида серы и сульфитов действуют следующие межгосударственные стандарты:

- ГОСТ 26811-2014 – пункт 96. Данный документ включен в Перечень стандартов, утвержденный Решением Коллегии Комиссии от 07 февраля 2018 г. № 21, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ТР ТС 029/2012 (в ред. решения Коллегии Евразийской экономической комиссии от 25.08.2020 № 105);
- ГОСТ 34552-2019.

При оценке преимуществ и недостатков методов контроля необходимо оценивать ожидаемую концентрацию сульфитов в образце, предел количественной оценки выбранного метода и сложность анализируемой матрицы [27, 43].

Сравнительный анализ ГОСТов представлен в таблице 5.

Несмотря на то что в литературе сообщается о многочисленных методах определения диоксида серы в пищевых продуктах и напитках, кондитерская промышленность находится в поисках идеального метода, который должен быть быстрым, простым и недорогим, а также исключать использование токсичных реагентов. Определение содержания сульфитов в пищевых продуктах больше зависит от обработки и очистки анализируемой матрицы, чем



Рисунок 6. Фрагмент маркировки зефира (пример 1)

Figure 6. Marshmallow label fragment (Example 1)



Рисунок 7. Фрагмент маркировки пастилы (пример 2)

Figure 7. Fruit candy label fragment (Example 2)

от заключительного определяющего шага [31, 45]. Диоксид серы и сульфиты могут вступать в реакцию с различными компонентами пищевого продукта (включая редуцирующие сахара, альдегиды, кетоны и белки), образуя несколько комбинированных форм сульфитов, таких как гидроксисульфированные аддукты, которые обладают высокой стабильностью. Количество соединений в каждом состоянии (обратимо или необратимо связанные аддукты) зависит от ряда факторов, таких как пищевая матрица и рН [27, 46, 47]. Кондитерские изделия характеризуются

сложной многокомпонентной матрицей с широким набором макро- и микрокомпонентов, при анализе которой необходимо учитывать стабильность и взаимодействия компонентов внутри нее в процессе производства и хранения продукции. Количество пиросульфита натрия, внесенного в тесто, трудно обнаружить в готовой продукции, поскольку атом серы является неотъемлемым компонентом белка (лишь 0,2 % остается в виде сульфита, 30 % окисляется до сульфата, 60 % соединяется с органическими компонентами муки и 10 % улетучивается) [48, 49].

Таблица 5. Сравнительный анализ ГОСТов по определению диоксида серы и сульфитов в кондитерских изделиях

Table 5. State Standard for sulfur dioxide vs. State Standard for sulfites in confectionery

Критерий	ГОСТ 26811-2014	ГОСТ 34552-2019
Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004-97 и сокращенное наименование национального органа по стандартизации, проголосовавших за принятие стандарта	Армения (Минэкономики Республики Армения) Беларусь (Госстандарт Республики Беларусь) Киргизия (Кыргызстандарт) Россия (Росстандарт) Таджикистан (Таджикстандарт) Узбекистан (Узстандарт)	Армения (Минэкономики Республики Армения) Беларусь (Госстандарт Республики Беларусь) Казахстан (Госстандарт Республики Казахстан) Киргизия (Кыргызстандарт) Россия (Росстандарт) Узбекистан (Узстандарт) Украина (Минэкономразвития Украины) Таджикистан (Таджикстандарт)
Область применения	Кондитерские изделия, изготовленные на основе фруктового (овощного) сырья, консервированного сернистым ангидридом [мармелад, пастильные изделия, карамель и конфеты, изготовленные на основе фруктового (овощного) сырья], а также мучные кондитерские изделия и полуфабрикаты, изготовленные с добавлением пиросульфита натрия или калия	Кондитерские изделия, сырье и полуфабрикаты для их производства, изготовленные с применением диоксида серы
Установленный метод	Йодометрический метод определения массовой доли общей сернистой кислоты	Йодометрический и ферментативный методы определения диоксида серы
Диапазон измерений	от 0,002 до 0,100 %	Не указан
Разногласия	–	В случае возникновения разногласий определение диоксида серы проводят ферментативным методом
Недостатки метода	Йодометрический метод непригоден для измерения низких концентраций, не селективен. Большие затраты реагентов и много ступеней их подготовки, что увеличивает вероятность ошибки. Мешающий фон красящих веществ анализируемой матрицы (титруемой системы) приводит к ошибке определения диоксида серы и снижает достоверность результатов [42–44]. При анализе сложного пищевого матрикса (мучных кондитерских изделий) показывает высокую степень погрешности, часто дает завышенные (ложноположительные) результаты и не обладает достаточной воспроизводимостью и сличаемостью	Недостатки ферментативного метода обусловлены высокой стоимостью ферментов и потерей их функциональной активности и стабильности под воздействием большого числа различных факторов. ГОСТ 34552-2019 входит в область аккредитации ограниченного числа лабораторий (в России – ФБУ «Ростест-Москва», несколько лабораторий в Белоруссии)

Необходимым условием повышения конкурентоспособности продукции является гармонизация национальных стандартов с международными и международнопризнанными. Имеют место обращения производителей кондитерских изделий, свидетельствующие о том, что полученные ими результаты исследований по содержанию диоксида серы, проведенные в российских лабораториях, выше результатов, полученных в европейских лабораториях. Причиной этому может являться выбор методики проведения анализа. Основным международным арбитражным методом определения содержания диоксида серы в пищевой продукции является оптимизированный метод Монье-Вильямса (АОАС 990.28 «Sulfites in food. Optimized Monier-Williams Method»), включающий стадии дистилляции в кислой среде и дальнейшее титрование раствором йода в присутствии индикатора до изменения окраски раствора [27, 47, 50, 51]. Данный метод широко используется и характеризуется большим выбором матриц для анализа, в том числе содержащих мешающие вещества. Благодаря этому метод Монье-Вильямса может стать альтернативой йодометрическому и ферментативному методам определения диоксида серы в кондитерских изделиях.

В связи с тем что прямое использование международных методик, в том числе метода АОАС 990.28, невозможно без осуществления валидации, необходимо проведение работ по подтверждению соответствия данного метода поставленной задаче и его пригодности для конкретного применения. Для официального признания метода работы по определению его характеристик и установлению необходимости его модификации целесообразно проводить путем совместных исследований в лабораториях стран ЕАЭС, что позволит сократить сроки работ [52]. При проведении данных работ будет определен оптимальный метод в зависимости от исследуемой матрицы. Например, для мармелада и пастильных – ферментативный метод по ГОСТ 34552-2019, для мучных кондитерских изделий – валидированный метод АОАС 990.28. Полученные результаты и методики будут включены в «Перечень стандартов к ТР ТС 029/2012, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения требований ТР ТС 029/2012 “Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств” и осуществления оценки (подтверждения) соответствия продукции и перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований ТР ТС 029/2012 “Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств”».

Выводы

Стандарты являются фундаментом национальной инфраструктуры качества и гарантом соблюдения интересов участников рынка, прежде всего потребителей. Для этого стандартизация должна быть прогрессивной и оперативно реагирующей на происходящие изменения. В результате данной работы показана необходимость внесения изменений в ряд межгосударственных стандартов на кондитерские изделия: ГОСТ 24901-2014, ГОСТ 6442-2014, ГОСТ 6441-2014, ГОСТ 14033-2015, ГОСТ 14032-2017 и ГОСТ 6477-2019 в части регламентируемого содержания диоксида серы и сульфитов в готовой продукции, а также гармонизации наименований анализируемых показателей, единиц их измерения и методов определения. Проведен анализ существующих методов определения диоксида серы и сульфитов в кондитерских изделиях. Установлена целесообразность валидации (аттестации) методики Монье-Вильямса (АОАС 990.28), являющейся основным международным арбитражным методом определения диоксида серы и сульфитов в пищевой продукции. Установлено, что причиной изъятия, запрещения к ввозу и/или обращению на рынке Республики Беларусь мучных кондитерских изделий, содержащих в своем составе пиросульфит натрия (E223), является «терминологическая фикция (неточность)», допущенная в ТР ТС 029/2012. Это подтверждает необходимость унификации терминов и понятийного аппарата. Использование единой терминологии и принципа системности в регламентирующих документах всех видов позволит устранить многие проблемы, связанные с производством продукции, подтверждением соответствия и проведением надзорных мероприятий, и будет способствовать формированию благоприятных условий для развития конкуренции на продовольственном рынке ЕАЭС.

Полученные результаты обсуждены с производителями продукции в рамках заседания Технического комитета ТК 149 «Кондитерские изделия» и заслушаны в рамках доклада на XIV Международной бизнес-конференции «Кондитерские изделия XXI века. Новая реальность. Новая стратегия».

Конфликт интересов

Автор заявил об отсутствии конфликта интересов, связанного с публикацией данной статьи.

Conflict of interest

The author declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Torero M. Prepare food systems for a long-haul fight against COVID-19. In: Swinnen J, McDermott J, editors. COVID-19 and global food security. Washington: International Food Policy Research Institute; 2020. pp. 118–121. https://doi.org/10.2499/p15738coll2.133762_27
2. Vartanova ML. Impact of COVID-19 on food security in Russia and abroad. Bulletin of the Academy of Knowledge. 2020;(41):50–59. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2304-6139-2020-10760>
3. Vartanova ML, Drobot EV, Osadchaya GI. Assessment of the level of human security in the countries of the Eurasian economic union. Economic and social development: 45th International Scientific Conference on Economic and Social Development – XIX International Social Congress; 2019; Moscow. Varazdin: Varazdin Development and Entrepreneurship Agency; 2019. p. 1057–1067.
4. Demchenko EA, Savenkova TV, Mizinchikova II. Effects of oils and fats on the quality characteristics, nutritional value, and storage capacity of cookies. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(4):674–689. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-674-689>
5. Industrial production [Internet]. [cited 2022 Mar 10]. Available from: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial [Промышленное производство. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_industrial (дата обращения: 10.03.2022)].
6. Nosenko SM. Confectionery market. Results of 2021. Report within the framework of the XIV International Business Conference “Confectionery of the XXI century. New reality. New strategy”; 2022; Moscow. Moscow, 2022. (In Russ.). [Носенко С. М. Рынок кондитерских изделий. Итоги 2021 года // Доклад в рамках XIV Международной бизнес-конференции «Кондитерские изделия XXI века. Новая реальность. Новая стратегия». М., 2022.].
7. Food industry. Analytical reference 2019 [Internet]. [cited 2022 Mar 10]. Available from: https://spravochnik.rosmintrud.ru/storage/app/media/Pishevaya%20ppomeshlennoct_2019.pdf [Пищевая промышленность. Аналитическая справка 2019. URL: https://spravochnik.rosmintrud.ru/storage/app/media/Pishevaya%20ppomeshlennoct_2019.pdf (дата обращения: 10.03.2022)].
8. Analysis of the confectionery market in Russia in 2016–2020, assessment of the impact of coronavirus and forecast for 2021–2025. Tebiz Group; 2021. 283 p. (In Russ.). [Анализ рынка кондитерских изделий в России в 2016–2020 гг., оценка влияния коронавируса и прогноз на 2021–2025 гг. Tebiz Group, 2021. 283 с.].
9. Tugacheva LV, Kapninova OS. Current state and prospects for the development of the food industry in Russia. Industrial Economics. 2021;(3–3):45–52. (In Russ.). https://doi.org/10.47576/2712-7559_2021_3_3_45
10. Dovydenko VA. Food industry in Russia: Analysis and development prospects. Sciff. Questions of Students Science. 2019;40(12–1):176–181. (In Russ.). [Довыденко В. А. Пищевая промышленность в России: анализ и перспективы развития // Скиф. Вопросы студенческой науки. 2019. Т. 40. № 12–1. С. 176–181.].
11. Sal'nikova OV, Rozhkova LV. Main directions of development of confectionery products export in Russia. University Proceedings. Volga Region. Economic Sciences. 2018;7(1):56–64. (In Russ.). <https://doi.org/10.21685/2309-2874-2018-1-7>
12. Urumov TR. State support for the export activities of small and medium-sized businesses: world practice and conclusions for Russia. Cand. econ. sci. diss. Moscow, 2019. 330 p. (In Russ.). [Урумов Т. Р. Государственная поддержка экспортной деятельности малого и среднего бизнеса: мировая практика и выводы для России: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.14. М., 2019. 330 с.].
13. Agapova AV, Svatkova EL. Information and consulting support for exporters in Russia. Bulletin of Innovative Technologies. 2020;4(3):5–11. (In Russ.). [Агапова А. В., Сваткова Е. Л. Информационно-консультационная поддержка экспортёров в России // Бюллетень инновационных технологий. 2020. Т. 4. № 3. С. 5–11.].
14. Statistics. Agro-industrial export of the Russian Federation in 2021 [Internet]. [cited 2022 Mar 12]. Available from: <https://aemcx.ru/analytics/statistics/stat2021> [Статистика. Экспорт АПК РФ 2021 год. URL: <https://aemcx.ru/analytics/statistics/stat2021> (дата обращения: 12.03.2022)].
15. Flour confectionery: an overview of foreign economic activity [Internet]. [cited 2022 Mar 12]. Available from: <https://aemcx.ru/reviews/обзор-вэд-мучные-кондитерские-издели> [Мучные кондитерские изделия. Обзор ВЭД. URL: <https://aemcx.ru/reviews/обзор-вэд-мучные-кондитерские-издели> (дата обращения: 12.03.2022)].
16. Sugar confectionery: an overview of foreign economic activity [Internet]. [cited 2022 Mar 12]. Available from: <https://aemcx.ru/reviews/обзор-вэд-сахаристые-кондитерские-из> [Сахаристые кондитерские изделия. Обзор ВЭД. URL: <https://aemcx.ru/reviews/обзор-вэд-сахаристые-кондитерские-из> (дата обращения: 12.03.2022)].
17. Moskoventko NV, Tikhonov SL, Tikhonova NV, Muratov AA. Unified Standards of the Eurasian Economic Union for fruit and vegetable products as a means of integrated trade in the global economic environment. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(3):559–574. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-559-574>
18. Drobot EV, Ivko ES. The research of trends and frequency of non-tariff measures in foreign economic activity on the example of technical barriers in foreign trade. Russian Journal of Entrepreneurship. 2018;19(5):1357–1376. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/rp.19.5.39094>

19. Contini C, Marotta G, Torquati B. Multi-actor approaches to implement cooperative strategies and value chains based on sustainability. *Agricultural and Food Economics*. 2020;8(1). <https://doi.org/10.1186/s40100-019-0147-3>
20. Bar T, Zheng Y. Choosing certifiers: Evidence from the British retail consortium food safety standard. *American Journal of Agricultural Economics*. 2019;101(1):74–88. <https://doi.org/10.1093/ajae/aay024>
21. Aganbegyan AG. On the way to the civilized market. *Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 2018;(1):7–26. (In Russ.). [Аганбегян А. Г. На пути к цивилизованному рынку // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2018. № 1. С. 7–26.].
22. Recommendation of the Board of the Eurasian Economic Commission, February 8, 2022, No. 5 “Approaches to the definition of the concept of “quality of goods (works, services)” in the field of consumer protection” [Internet]. [cited 2022 Mar 20]. Available from: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403424136> [Рекомендация Коллегии Евразийской экономической комиссии от 8 февраля 2022 г. № 5 «О подходах к определению понятия “качество товаров (работ, услуг)” в сфере защиты прав потребителей». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403424136> (дата обращения: 20.03.2022).].
23. Decision of the Supreme Eurasian Economic Council of December 11, 2020, No. 12 “Strategic Directions for the Development of Eurasian Economic Integration through 2025” [Internet]. [cited 2022 Mar 20]. Available from: <https://www.alt.ru/tamdoc/20vr0012> [Решение Высшего Евразийского экономического совета от 11 декабря 2020 года № 12 «О Стратегических направлениях развития евразийской экономической интеграции до 2025 года». URL: <https://www.alt.ru/tamdoc/20vr0012> (дата обращения: 20.03.2022).].
24. Commission Regulation (EU) No 1129/2011 of 11 November 2011 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union list of food additives. *Official Journal of the European Union*. 2011.
25. Ribeiro JS, Santos MJMC, Silva LKR, Pereira LCL, Santos IA, da Silva Lannes SC, *et al.* Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Science*. 2019;148:181–188. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.016>
26. General Standard for Food Additives. *Codex Stan 192–1995*. FAO/WHO; 2019. 502 p.
27. D’Amore T, Di Taranto A, Berardi G, Vita V, Marchesani G, Chiaravalle AE, *et al.* Sulfites in meat: Occurrence, activity, toxicity, regulation, and detection. A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2020;19(5):2701–2720. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12607>
28. Franco R, Navarro G, Martínez-Pinilla E. Antioxidants versus food antioxidant additives and food preservatives. *Antioxidants*. 2019;8(11). <https://doi.org/10.3390/antiox8110542>
29. Safety evaluation of certain food additives. Prepared by the sixty-ninth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Geneva: WHO; 2009. 642 p.
30. Leclercq C, Le Donne C, Toledo MCF. Sulfites: Assessment of dietary exposure. Safety evaluation of certain food additives. Prepared by the sixty-ninth meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Geneva: WHO; 2009. pp. 221–259.
31. Guido LF. Sulfites in beer: Reviewing regulation, analysis and role. *Scientia Agricola*. 2019;73(2):189–197. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0290>
32. Lien K-W, Hsieh DPH, Huang H-Y, Wu C-H, Ni S-P, Ling M-P. Food safety risk assessment for estimating dietary intake of sulfites in the Taiwanese population. *Toxicology Reports*. 2016;3:544–551. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.06.003>
33. Tomasevic I, Dodevska M, Simić M, Raicevic S, Matovic V, Djekic I. A decade of sulphite control in Serbian meat industry and the effect of HACCP. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance*. 2018;11(1):49–53. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1403492>
34. Mozzhegorova OA. Analysis of prohibitions and restrictions system of foreign trade activity of the Eurasian Economic Union. *Vestnik of Russian Customs Academy*. 2019;(2):72–79. (In Russ.). [Мозжегорова О. А. Анализ системы запретов и ограничений внешнеторговой деятельности Евразийского Экономического Союза // Вестник Российской таможенной академии. 2019. № 2. С. 72–79.].
35. Mantusov VB, Shklyaev SV. Main directions for improving customs operations to insure compliance with non-tariff regulation measures in foreign trade. *Vestnik of Russian Customs Academy*. 2020;51(2):9–19. (In Russ.). [Мантусов В. Б., Шкляев С. В. Основные направления совершенствования таможенных операций по обеспечению соблюдения мер нетарифного регулирования во внешней торговле // Вестник Российской таможенной академии. 2020. Т. 51. № 2. С. 9–19.].
36. Polozhishnikova MA. The ways to reduce technical barriers to international winemaking products trade through the harmonization of national requirements. *International Trade and Trade Policy*. 2017;9(1):88–105. (In Russ.). [Положишникова М. А. Пути снижения технических барьеров в международной торговле винодельческой продукцией за счет гармонизации национальных требований // Международная торговля и торговая политика. 2017. Т. 9. № 1. С. 88–105.].
37. Elikbaev KN, Andronova IV. Technical barriers to trade: EAEU practice. *Russian Foreign Economic Journal*. 2021;(1):29–43. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2072-8042-2021-1-29-43>

38. Zaychenko EA, Petrenko EV. Digital hazard warning tools products on the markets of the EAEU and EU. Regional Problems of Economic Transformation. 2020;117(7):95–101. (In Russ.). [Зайченко Е. А., Петренко Е. В. Цифровые инструменты оповещения об опасной продукции на рынках ЕАЭС и ЕС // Региональные проблемы преобразования экономики. 2017. Т. 117. № 7. С. 95–101.].
39. Kondrat'ev NB, Kazantsev EV, Savenkova TV. Determining sulfur dioxide content in raw materials, semi-finished products, and confectionery. Confectionery and Baking Industry. 2018;177(7–8):18–19. (In Russ.). [Кондратьев Н. Б., Казанцев Е. В., Савенкова Т. В. Определение содержания диоксида серы в сырье, полуфабрикатах и кондитерских изделиях // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2018. Т. 177. № 7–8. С. 18–19.].
40. Pylypenko TN, Nevpryaga PYu. Research of quality of the foods, containing of the canning substance – dioxide of sulphur, E220. Knowledge. 2016;40(11–3):131–132. (In Russ.). [Пилипенко Т. Н., Невпряга П. Ю. Исследование качества продуктов, содержащих консервирующее вещество – диоксид серы, E220 // Знание. 2016. Т. 40. № 11–3. С. 131–131.].
41. Egorova MI, Shirokikh EV, Kretova YaA. Sulfur dioxide in sugar: monitoring results. Sahar. 2016;(7):39–41. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2413-5518-2016-00023>
42. Qin G, Wu M, Wang J, Xu Z, Xia J, Sang N. Sulfur dioxide contributes to the cardiac and mitochondrial dysfunction in rats. Toxicological Sciences. 2016;151(2):334–346. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfw048>
43. Martins FCOL, Sentanin MA, De Souza D. Analytical methods in food additives determination: Compounds with functional applications. Food Chemistry. 2019;272:732–750. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.060>
44. Egorova MI, Shirokikh EV, Raynik VV, Kretova YaA. Theory of iodometric determination of sulfur dioxide in molasses. Storage and Processing of Farm Products. 2017;(8):8–13. (In Russ.). [Теория йодометрического определения диоксида серы в мелассе / М. И. Егорова [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 8. С. 8–13.].
45. Carlos KS, Conrad SM, Handy SM, de Jager LS. Investigation of food products containing garlic or onion for a false positive sulphite response by LC-MS/MS. Food Additives and Contaminants: Part A Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment. 2020;37(5):723–730. <https://doi.org/10.1080/19440049.2020.1727965>
46. Lammarino M, Mentana A, Centonze D, Palermo C, Mangiacotti M, Chiaravalle AE. Simultaneous determination of twelve dyes in meat products: Development and validation of an analytical method based on HPLC-UV-diode array detection. Food Chemistry. 2019;285:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.133>
47. Fernandes I, Rodrigues JA, Almeida CMM. Sulfites in fresh meat and meat preparations commercialized in Portugal. Food Analytical Methods. 2022;15(1):172–184. <https://doi.org/10.1007/s12161-021-02115-z>
48. Glyn BS, Davidson I. Biscuit, cookie and cracker process and recipes. Academic Press; 2020. 248 p.
49. Davidson I. Biscuit, cookie and cracker production: Process, production and packaging equipment. Academic Press; 2018. 244 p.
50. Shenderyuk VV, Stashko AV, Bychkovskaya AA. Comparative evaluation of methods for determination of sulphites in food including the one produced from the water biological resources. Trudy AtlantNIRO. 2017;1(2):32–39. (In Russ.). [Шендерюк В. В., Сташко А. В., Бычкова А. А. Сравнительная оценка методик определения сульфитов в пищевой продукции, в том числе из водных биологических ресурсов // Труды АтлантНИРО. 2017. Т. 1. № 2. С. 32–39.].
51. Mohammed R, Zheng Y. International diffusion of food safety standards: The role of domestic certifiers and international trade. Journal of Agricultural and Applied Economics. 2017;49(2):296–322. <https://doi.org/10.1017/aae.2017.2>
52. Kuleshova SI. Transfer of methods, and parameters of validation/verification. The Bulletin of the Scientific Centre for Expert Evaluation of Medicinal Products. Regulatory Research and Medicine Evaluation. 2017;7(2):77–80. (In Russ.). [Кулешова С. И. Перенос (трансфер) методик, параметры валидации/верификации // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. 2017. Т. 7. № 2. С. 77–80.].

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» предназначен для публикации статей, посвященных проблемам пищевой и смежных отраслей промышленности.

Статья должна отвечать профилю журнала, обладать научной новизной, публиковаться впервые.

Рукопись научной статьи, поступившая в редакцию журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)», рассматривается ответственным за выпуск на предмет соответствия профилю журнала, требования к оформлению, проверяется оригинальность представленного текста в системе «Антиплагиат», регистрируется.

В журнале публикуются только рукописи, текст которых рекомендован рецензентами.

Редакция организует «двухстороннее слепое» (анонимное) рецензирование представленных рукописей с целью их экспертной оценки. Выбор рецензента осуществляется решением главного редактора или его заместителя. Для проведения рецензирования рукописей статей в качестве рецензентов могут привлекаться как члены редакционной коллегии журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)», так и высококвалифицированные ученые и специалисты других организаций и предприятий, обладающие глубокими профессиональными знаниями и опытом работы по конкретному научному направлению, как правило, доктора наук, профессора. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи.

Рецензенты уведомляются о том, что присланные им рукописи являются частной собственностью авторов и относятся к сведениям, не подлежащим разглашению. Рецензентам не разрешается делать копии статей для своих нужд. Рецензирование проводится конфиденциально. Нарушение конфиденциальности возможно только в случае заявления рецензента о недостоверности или фальсификации материалов, изложенных в статье.

Срок рассмотрения статьи не должен превышать трех месяцев со дня получения статьи на рецензирование.

Оригиналы рецензий хранятся в издательстве и в редакции издания в течение пяти лет со дня публикации статей.

Если в рецензии на статью имеется указание на необходимость ее исправления, то статья направляется автору на доработку.

Если статья по рекомендации рецензента подверглась значительной авторской переработке, то она направляется на повторное рецензирование тому же рецензенту, который сделал критические замечания.

Редакция оставляет за собой право отклонения статей в случае неспособности или нежелания автора учесть пожелания редакции.

При наличии отрицательных рецензий на рукопись от двух разных рецензентов или одной рецензии на ее доработанный вариант статья отклоняется от публикации без рассмотрения другими членами редколлегии. Автору не принятой к публикации статьи ответственный за выпуск направляет мотивированный отказ. Фамилия рецензента может быть сообщена автору лишь с согласия рецензента.

Решение о возможности публикации после рецензирования принимается главным редактором, а при необходимости – редколлекцией в целом.

Редакция журнала направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации при поступлении в редакцию издания соответствующего запроса.

Редакция журнала не хранит рукописи, не принятые к печати. Рукописи, принятые к публикации, не возвращаются. Рукописи, получившие отрицательный результат от рецензента, не публикуются и также не возвращаются обратно автору.

Рукописи печатаются, как правило, в порядке очередности их поступления в редакцию. В исключительных случаях, редакционная коллегия имеет право изменить очередность публикации статей.

Все материалы журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» распространяются на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Объем статьи должен быть не менее 20–25 тыс. знаков (не включая списки литературы на русском и английском языках). Объем обзорной рукописи – более 25 тыс. знаков.

Оформление текста (форматирование): поля по 20 мм, одинарный интервал без переносов, лишних пробелов и абзацных интервалов, шрифт Times New Roman, 10 кегль. Следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, дублирования одних и тех же результатов в таблицах и графиках.

Графики, диаграммы и т. п. (желательно цветные), созданные средствами Microsoft Office и Corel Draw, должны допускать возможность редактирования и направляются в редакцию отдельными файлами в форматах tiff, jpeg, cdr, excel.

Каждая таблица, график, диаграмма и т. п. должны иметь заголовки и порядковые номера, в тексте статьи должны присутствовать ссылки на каждую из них.

Структура статьи:

1. Индекс УДК, тип статьи;
2. Название статьи;
3. Инициалы и фамилии всех авторов;
4. Официальное полное название учреждения;
5. E-mail автора, с которым следует вести переписку;
6. Аннотация (разбивается на разделы: «Введение», «Объекты и методы исследований», «Результаты и их обсуждение», «Выводы»);
7. Ключевые слова;
8. Финансирование;
9. Текст статьи (обязательные разделы: «Введение», «Объекты

и методы исследований», «Результаты и их обсуждение», «Выводы»);

10. Критерий авторства;
11. Конфликт интересов;
12. Благодарности;
13. Список литературы;
14. Список литературы (References);
15. Сведения об авторах (на русском и английском языках).

Полат рукопись можно на сайте журнала <https://fptt.ru> или отправив на e-mail fptt98@gmail.com

В редакцию предоставляются:

1. Электронная версия статьи в программе MSWord. Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – ПетровГП.doc. Не допускается в одном файле помещать несколько документов;
2. Сканированная электронная версия статьи, подписанная всеми авторами, в программе PDF. Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – ПетровГП.pdf. Не допускается в одном файле помещать несколько документов;
3. Гарантийное письмо (скан-копия) на имя главного редактора журнала на бланке направляющей организации с указанием даты регистрации и исходящего номера, с заключением об актуальности работы и рекомендациями к опубликованию, с подписью руководителя учреждения;
4. Издательский лицензионный договор.

Более подробная информация на сайте журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» <https://fptt.ru>.

СОДЕРЖАНИЕ

Большакова Е. И. Трегалоза и изомальтулоза в технологии сладких молочных консервов	623	Гордиенко К. А., Гордиенко А. Б., Журавлев Ю. Н. Теоретическое исследование структурных, электронных и колебательных свойств хлорида и бромиды ацетилхолина	718
Агеева Н. М., Тихонова А. Н., Бурцев Б. В., Храпов А. А. Влияние дрожжевых биосорбентов на качество вина	631	Романов А. С., Марков А. С., Сергеева И. Ю., Козубаева Л. А., Протопопов Д. Н. Влияние ионизирующего облучения на пшеничную хлебопекарную муку	729
Nguyen Quang Vinh, Le Dang Pha, Nguyen Minh Trung, Tran Thi Yen Nhi, Le Truong Dang Влияние технологических параметров на качество травяного напитка из зеленой спаржи (<i>Asparagus officinalis</i> L.)	641	Бредихин С. А., Мартыха А. Н., Андреев В. Н., Каверина Ю. Е., Короткий И. А. Исследование реологических свойств майонеза с нетрадиционным сырьем	740
Колпакова В. В., Уланова Р. В., Куликов Д. С., Гулакова В. А., Семёнов Г. В., Шевякова Л. В. Показатели качества гороховых и нутовых белковых концентратов	649	Милентьева И. С., Фотина Н. В., Жарко М. Ю., Проскурякова Л. А. Перспективы использования микробных препаратов для снижения окислительного стресса сельскохозяйственных растений	750
Мазалевский В. Б., Голуб О. В., Чекрыга Г. П., Бородай Е. В., Мотовилов О. К. Изучение качества полуфабриката из ядер семян <i>Pinus sibirica</i>	665	Кондратенко В. В., Посокина Н. Е., Федянина Н. И., Карастоянова О. В., Коровкина Н. В. Показатели качества <i>Agaricus bisporus</i> после обработки УФ-излучением	762
Сачивко Т. В., Феськова Е. В., Коваленко Н. А., Супиченко Г. Н., Босак В. Н. Пряно-ароматические и эфирно-масличные культуры: урожайность и жирнокислотный состав семян	675	Молибога Е. А., Сухостав Е. В., Козлова О. А., Зинич А. В. Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект	775
Сериков М. С., Нургалиева М. Т., Мырзабек К. А., Тойшиманов М. Р., Бактыбаева Ф. К. К вопросу идентификации состава жировой фазы масложировой продукции	685	Шелехова Н. В., Шелехова Т. М., Скворцова Л. И., Полтавская Н. В. Определение летучих органических примесей в виски методом газовой хромато-масс-спектрометрии	787
Крикунова Л. Н., Дубинина Е. В., Песчанская В. А., Ободеева О. Н. Влияние активной кислотности на качественные характеристики дистиллятов	694	Вечтомова Е. А., Козлова О. В., Орлова М. М. Оценка методов получения топленых животных жиров	797
Панасенко С. В., Сурай Н. М., Таточенко А. Л., Родинова Н. П., Остроухов В. М. Устойчивая сырьевая база как фактор конкурентоспособности предприятий сыроделия	706	Степанюк Г. Я., Заушинцева А. В., Буренков С. С., Свиркова С. В., Гаврилов А. А., Осинцева М. А. Оценка развития растительности техногенного отвала	807
		Демченко Е. А. Анализ стандартов Евразийского экономического союза на кондитерские изделия	819

CONTENTS

Bolshakova Ekaterina I. Trehalose and Isomaltulose in the Technology of Sweetened Condensed Milk	624	Gordienko Kirill A., Gordienko Aleksei B., Zhuravlev Yurii N. A Theoretical Study of Structural, Electronic, and Vibration Properties of Acetylcholine Chloride and Bromide	719
Ageyeva Natalia M., Tikhonova Anastasia N., Burtsev Boris V., Khrapov Anton A. Effect of Yeast Biosorbents on Wine Quality	632	Romanov Aleksandr S., Markov Aleksandr S., Sergeeva Irina Yu., Kozubaeva Lyudmila A., Protopopov Dmitry N. Effect of Ionising Irradiation on Wheat Flour	730
Nguyen Quang Vinh, Le Dang Pha, Nguyen Minh Trung, Tran Thi Yen Nhi, Le Truong Dang Developing a Herbal Drink from Green Asparagus (<i>Asparagus officinalis</i> L.): Effect of Process Parameters on the Quality of the Product	640	Bredikhin Sergey A., Martekha Alexander N., Andreev Vladimir N., Kaverina Yuliya E., Korotkiy Igor A. Rheological Properties of Mayonnaise with Non-Traditional Ingredients	739
Kolpakova Valentina V., Ulanova Rusalia V., Kulikov Denis S., Gulakova Valentina A., Semenov Gemadiy V., Shevjakova Ludmila V. Pea and Chickpea Protein Concentrates: Quality Indicators	650	Milentyeva Irina S., Fotina Natalya V., Zharko Maria Yu., Proskuryakova Larisa A. Microbial Treatment and Oxidative Stress in Agricultural Plants	751
Mazalievskiy Viktor B., Golub Olga V., Chekryga Galina P., Boroday Elena V., Motovilov Oleg K. Quality Analysis of Semi-Finished Product from <i>Pinus sibirica</i> Kernels	666	Kondratenko Vladimir V., Posokina Natalia E., Fedyanina Natalia I., Karastoyanova Olga V., Korovkina Nadezhda V. Quality Indicators of <i>Agaricus bisporus</i> after Ultraviolet Treatment	763
Sachyuka Tatsiana V., Feskova Alena V., Kovalenko Natallia A., Supichenko Galina N., Bosak Viktor N. Spices, Herbs, and Essential-Oil Plants: Yield and Fatty Acid Composition of Seeds	676	Moliboga Elena A., Sukhostav Elizaveta V., Kozlova Oksana A., Zinich Alla V. Functional Food Market Analysis: Russian and International Aspects	776
Serikov Maksat S., Nurgaliyeva Meruyet T., Myrzabek Karima A., Toishimanov Maxat R., Baktybayeva Farida K. Defining the Composition of Fat Phase in Foods	686	Shelekhova Nataliya V., Shelekhova Tamara M., Skvortsova Liubov I., Poltavskaya Natalya V. Gas Chromatography-Mass Spectrometry of Volatile Organic Impurities in Whiskey	788
Kriukunova Ludmila N., Dubinina Elena V., Peschanskaya Violetta A., Obodeeva Olga N. Acidification in Distillation Technology	695	Vechtomova Elena A., Kozlova Oksana S., Orlova Maria M. Evaluation of Methods for Obtaining Rendered Animal Fats	798
Panasenko Svetlana V., Suray Natalya M., Tatochenko Alexander L., Rodinova Nadezhda P., Ostroukhov Vladimir M. Sustainable Raw Material Base as a Factor of Competitiveness of Cheese-Making Enterprises	707	Stepanyuk Galina Ya., Zaushintsena Alexandra V., Burenkov Sergey S., Svirikova Svetlana V., Gavrilov Alexandr A., Osintseva Maria A. Evaluating the Vegetation Development of Coal-Mine Dumps	808
		Demchenko Elena A. Confectionery Standards in the Eurasian Economic Union	820