

Техника и технология пищевых производств

Food Processing: Techniques and Technology



Национальный, рецензируемый научный журнал, посвященный вопросам пищевой промышленности и включенный в МБД SCOPUS и RSCI на платформе Web of Science.

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, доклады, сообщения,

рецензии, краткие научные сообщения (письма в редакцию), информационные публикации по направлениям: технология пищевых производств; процессы, оборудование и аппараты пищевых производств; гигиена питания; биотехнология; стандартизация, сертификация, качество и безопасность; химия и экология; экономика; автоматизация и информатизация технологических процессов. 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 технологии консервирования, Видное, 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, Министр науки и высшего образования Кузбасса, 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. Заушищев, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;

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

А.Б. Капранова, 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. Храмцов, 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.

© КемГУ, 2022. © Авторы, 2022.

Дата выхода в свет 28.06.22.

Усл. п. л. 25,58. Тираж 500 экз.

Цена свободная. Выходит 4 раза в год.

Подписной индекс по объединенному каталогу «Пресса России» – 41672.

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

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 Web of Science (RSCI).

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 the results of original research and review articles on most topics relating to food industry,

including: food production technology; food production processing and equipment; food hygiene; biotechnology; food standardization, certification, quality and safety; chemistry and ecology; economics; automation and informational support of technological processes. 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 Scientific Research Institute of Canned Food Technology, Vidnoe, 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, Minister of Science and Higher Education of 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, Krasnoyarsk, 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.

© 2022, KemSU. © 2022 Authors

Date of issue June 28, 2022
Printed sheet 25,58 conventional printed
Circulation 500 cop.
Open price. Issued 4 times a year.

*Subscription index for the unified
"Russian Press" catalogue – 41672.*

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

Колонка редактора
<https://fptt.ru>

Доступность продовольствия важна для благополучия и здоровья человека. Проблема голода, активно обсуждаемая многие годы, с новой силой зазвучала с мая 2022 г. По оценке экспертов Организации Объединенных Наций (ООН), существуют риски глобального голода и перебоев в поставках еды во многих странах. Число людей, страдающих от нехватки продуктов питания, удвоилось во всем мире за два года и достигло рекордных 276 млн человек. Мир нуждается в производстве большего количества продовольствия. В этом контексте потенциал агропромышленного комплекса привлекает внимание науки, правительства и бизнеса.

Пищевая промышленность имеет стратегическое значение в решении вопроса обеспечения продовольственной безопасности. Базовым сырьем для данной отрасли выступает продукция сельского хозяйства (растениеводство и животноводство). Хлеб и хлебобулочные изделия из пшеничной муки, питьевое молоко и мясо включены в перечень продовольственных товаров первой необходимости.

Россия занимает лидирующие позиции в мире по производству продуктов питания. В 2021 г. произведено 32,3 млн т сырого молока, мяса – 7,9 млн т.

Российская Федерация является крупным производителем зерна и остается мировым лидером по экспорту пшеницы. По данным Минсельхоза РФ, текущий сельскохозяйственный сезон является многообещающим в плане урожая. Общая посевная площадь России составляет 81 млн га. Весенний сев проводился на площади 7 млн га. Пшеницей засеяно 1 млн га, ячменем – 2 млн га, кукурузой и зерном – 391 тыс га. Всего по всей стране рассчитывают собрать 123 млн т зерна.

В Кемеровской области – Кузбассе в 2022 г. общая посевная площадь зерновых и кормовых культур составила около 937 тыс га. Также в регионе развито мясо-молочное животноводство и птицеводство. К концу 2021 г. произведено 1 млрд 215 млн яиц. Эта кузбасская продукция пользуется высоким спросом в Сибири, на Дальнем Востоке и в Центральной России.

В прогнозе ИМЭМО РАН «Россия и мир: 2024» выделены основные отрасли, определяющие глобальный экономический рост. К ним относятся производство полупроводников, фармацевтика и биомедицина, редкоземельные, цветные и черные металлы, пищевая промышленность.

В мировой практике реализуется сотрудничество высших учебных заведений со специалистами в области пищевой промышленности и смежных сферах бизнеса. Развитие отечественной отрасли биотехнологий в приоритете. Пилотные площадки для широкого спектра взаимодействий науки, образования и производства представлены в крупных вузах Кузбасса. К ключевым аспектам этого симбиоза относятся следующие: совместные научные разработки, реализация образовательных программ и обучение сотрудников с высоким потенциалом, которым готовы предоставить уникальные возможности для самореализации и конкурентную заработную плату. Исследования и практика питания продвигаются к большей персонализации для улучшения поддержания здоровья и профилактики заболеваний.

Сокращение голода рассматривается как вопрос не только увеличения производства продуктов питания, но и улучшения их качества с точки зрения разнообразия, питательных веществ и безопасности. Инновации – один из инструментов для построения мира без голода.

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

А. Ю. Просеков 

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2357>
<https://elibrary.ru/NPKVBK>

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

A New Approach to Developing the Quality of Yoghurts with Functional Ingredients

Nina I. Dunchenko^{ID}, Valentina S. Yankovskaya*^{ID}

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 22.12.2021

Revised: 11.01.2022

Accepted: 11.04.2022

*Valentina S. Yankovskaya: vs3110@rgau-msha.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-2801-380X>

Nina I. Dunchenko: <https://orcid.org/0000-0002-6158-9854>

© N.I. Dunchenko, V.S. Yankovskaya, 2022



Abstract.

Only high-quality products are competitive, and competitive products have to meet all kinds of requirements, from regulatory documentation to consumer expectations. Functional foods, such as yogurt, are designed with targeted properties, which is a complex task that requires a methodologically universal approach. The research objective was to develop and test a new approach to developing the targeted properties in functional yoghurts.

The research featured a new technology and formulation of functional yogurt with sea buckthorn and cryopowdered germinated rye. The study involved qualimetric forecasting methodology, as well as standard quality assessment tools and analysis methods. The new approach included several stages: 1) identifying requirements for product quality and production processes, 2) analyzing data on inadequacy, 3) predicting the effect of quality-forming factors, and 4) developing universal solutions to ensure the required properties. The research resulted in a nomenclature of consumer expectation indicators and a comprehensive assessment formula. It revealed the reasons behind the poor quality of yogurt at different stages. The key requirements for yoghurt included: 1) high moisture-binding capacity, 2) natural functional ingredients that give the product high consumer properties and reduce the risk of microbiological spoilage. The article introduces a formulations and production technology for the new functional yogurt, which proved to have a high content of vitamin C, potassium, and β -carotene. The sensory evaluation demonstrated its high consumer properties.

The new approach to the development and production technology proved to be effective. It can be used in the design and quality control of yoghurts with functional ingredients.

Keywords. Product design, quality, formulation, functional products, sea buckthorn, healthy nutrition, qualimetry, technology

Funding. The research was carried out on the premises of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (RSAU – MTAA)^{ROR} with the financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)^{ROR} as part the development program for The Agrotechnology of the Future Research Center (Project No. 00600/2020/80682, Agreement No. 075-15-2020-905, November 16, 2020).

For citation: Dunchenko NI, Yankovskaya VS. A New Approach to Developing the Quality of Yoghurts with Functional Ingredients. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):214–221. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2357>

Новый научный подход формирования качества йогуртов с функциональными ингредиентами



Н. И. Дунченко^{ORCID}, В. С. Янковская*^{ORCID}

Российский государственный аграрный университет – МСХА
имени К. А. Тимирязева^{ORCID}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 22.12.2021

Принята после рецензирования: 11.01.2022

Принята в печать: 11.04.2022

*В. С. Янковская: vs3110@rgau-msha.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-2801-380X>

Н. И. Дунченко: <https://orcid.org/0000-0002-6158-9854>

© Н. И. Дунченко, В. С. Янковская, 2022



Аннотация.

Для обеспечения конкурентоспособности необходимо быстро проектировать продукцию, отвечающую комплексу требований к ней: от нормативной документации и до ожиданий потребителей. Важно проектировать продукцию с заданными свойствами в сегменте функциональных продуктов питания, таких как йогурт. Целенаправленное формирование свойств продукции является многоаспектной задачей, требующей методологически универсального подхода. Цель работы заключалась в разработке и апробации нового подхода выявления и формирования требуемых свойств йогуртов с функциональными ингредиентами.

Объекты исследования – технология производства и рецептура йогурта с функциональными компонентами (соком облепихи прямого отжима и криопорошком пророщенного зерна ржи) и факторы, формирующие его качество. Применялась методология квалитетического прогнозирования, а также общепринятые инструменты оценки качества и методы анализа.

Представлены результаты применения подхода формирования требуемых свойств йогурта с функциональными ингредиентами. Подход заключается в выявлении требований к качеству продукции и процессам ее производства, анализе данных о несоответствиях, изучении и прогнозировании влияния формирующих качество факторов, а также разработке универсальных решений обеспечения требуемых свойств. Установлена номенклатура показателей потребительских требований к качеству йогурта и предложена формула комплексной оценки. Установлены причины несоответствий йогурта на разных этапах товародвижения. Обоснованы ключевые требования при проектировании свойств и технологии йогурта: высокая влагосвязывающая способность и содержание полезных натуральных функциональных ингредиентов, придающих продукту высокие потребительские свойства и снижающих риск микробиологической порчи. Разработаны рецептуры йогурта с требуемыми свойствами и предложена технология производства нового продукта. Лабораторные исследования промышленных образцов продукта показали высокое содержание витамина С, калия и β -каротина. Проведенный органолептический анализ свидетельствует о высоких потребительских свойствах продукта.

Результаты говорят об успешной апробации предложенного подхода при разработке рецептуры и технологии производства йогурта с функциональными ингредиентами. Они могут быть использованы при проектировании и управлении качеством широкого ряда йогуртов с функциональными ингредиентами.

Ключевые слова. Проектирование, качество, рецептура, функциональные продукты, облепиха, здоровое питание, квалитетрия, технология

Финансирование. Работа выполнена на базе Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К. А. Тимирязева (РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева)^{ORCID} при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)^{ORCID} в рамках реализации программы создания и развития Научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего» (Соглашение о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научных центров мирового уровня, выполняющих исследования и разработки по приоритетам научно-технологического развития (внутренний номер 00600/2020/80682) № 075-15-2020-905 от 16 ноября 2020 г.).

Для цитирования: Дунченко Н. И., Янковская В. С. Новый научный подход формирования качества йогуртов с функциональными ингредиентами // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 214–221. (На англ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2357>

Introduction

According to the World Health Organization, human health depends on lifestyle (50%), heredity (20%), environmental conditions (20%), and healthcare (10%). Diet is the most important component of lifestyle [1, 2]. A proper diet can reduce overall morbidity, improve resistance to adverse environment, and increase life expectancy [3].

The state strategy of food industry development usually depends on several key issues. In the Russian Federation, these issues stretch far beyond the simple task of providing the population with high-quality and safe food products. Food industry should provide people with functional foods that satisfy their physiological needs and are fortified with essential nutrients [3–9]. As a result, food products with functional ingredients are gaining popularity, often as part of therapeutic, preventive, and targeted diets [2]. Such foods attract patients with homeostasis problems or people subject to extra risk or stress, e.g., pregnant women, senior citizens, children, etc. [10]. Functional foods intended for these population groups have stricter safety and quality requirements [2, 3, 10]. These products require a compulsory field-to-fork strategy of quality and safety control [5, 11].

Together with economic efficiency, the theory and practice of food design usually follows one or two of the following goals:

- attractive consumer properties;
- new functional ingredients;
- broader product range;
- stable quality indicators;
- longer storage capacity at all distribution stages;
- lower production and sales risks related to faulty or unsafe products;
- predesigned technological characteristics of the product or production processes, e.g., particular viscosity, etc. [1, 3, 12, 13].

Product quality and safety of products require a whole complex of procedures [14]. In food systems, the mechanism of quality development is a multifactorial process. Finished products are the result of a complex interaction of technology, formulation, raw materials and other factors along the entire field-to-fork chain [11]. New universal solutions of food quality issues need a new scientific approach based on modern principles of quality modeling and nutrition science. In addition, customer satisfaction is one of the key factors that determine product quality [15, 16].

Qualimetry is a new promising direction based on the achievements of domestic science and world experience of quality management. Qualimetry is based on the principles of forecasting quality and food safety indicators as methods of assessing, planning, and quality formation [10, 11, 17].

This approach is especially relevant for structured dairy products, e.g., yogurt. This product can turn into

a nutrient medium for unwanted microflora. As a result, its quality indicators are highly sensitive to the storage and transportation conditions, the sanitary profile of the enterprise, the quality of raw materials, etc. [18–20].

The present research objective was to develop a new scientific approach to product quality formation and test it on a new functional yogurt product.

Study objects and methods

This new yogurt production technology relied on a particular scientific approach to the food quality formation. The key elements of the new approach followed a sequence of steps:

- requirements for product quality and production processes, which were identified, structured, and ranked based on regulatory documentation and the intermediate and final consumer demands;
- formula for a complex product quality indicator that reflects the weight of each indicator;
- the main requirements for the target quality indicators of the finished product, including the functional ingredients and production processes;
- processing the data on faulty products, e.g., negative consumer reviews, batch reviews, and complaints, followed by a cause identification analysis;
- factors that make up product quality indicators and their effect on quality;
- information-matrix models for the formation of product quality affected by the factors identified at the previous stage [11];
- universal solutions, e.g., by selecting specific functional ingredients, that guarantee the required properties of the finished product, take into account the requirements for the target quality, and reduce production risks.

The method of qualimetric forecasting included the following steps:

- a sociological survey of 250 respondents in the Moscow region based on the questionnaire method with subsequent statistical processing (State Standard R 56087.2-2014);
- weight coefficients of indicators by pairwise comparison;
- a formula for a complex quality indicator based on a qualimetric assessment, i.e., an integrated method for assessing product quality as a weighted arithmetic mean;
- collecting data from distribution centers on faulty functional yoghurts in 2015–2019 using a control sheet (State Standard R ISO 13053-2-2013) and the SAP program;
- applying such intelligent expert techniques as the Delphi method (State Standard R 54147-2010) and expert qualimetry to the questionnaires, expert assessments, and data analysis;
- applying the profile method (State Standard ISO 13299-2015) and expert qualimetry to the sensory assessment of samples;
- information-matrix models based on qualimetric scaling of expert qualimetry methods with subsequent statistical concordance coefficient processing [11];

– a complete factorial experiment with regression equations: mass fraction of yogurt – 50–85%, mass fraction of germinated rye cryopowder – 1.0–3.0%; mass fraction of fat in yogurt – 0.5–5.0%;
– values of normalized quality and safety indicators as determined by conventional methods of laboratory analysis: mass fraction of fat – by State Standard 5867-90, mass fraction of protein – by State Standard 25179-2014; mass fraction of carbohydrates – by State Standard R 54667-2011; vitamin C – by State Standard 34151-2017; β -carotene – by State Standard EN 12823-2-2014; potassium – by State Standard ISO 8070/IDF 119-2014). The results were statistically processed using an Intel(R) Core (TM)i7 personal computer and Microsoft Excel software.

The research featured requirements for the quality of yogurts, the causes of product discrepancies, the production technology and formulation of yogurt with functional components (patent RU 2742146C1), and the sources of functional ingredients, i.e., directly expressed sea buckthorn juice and sprouted rye cryopowder (OS 25622234-001-2018).

Results and discussion

The first stage identified the quality and safety requirements for yogurts with functional ingredients. They were decided into three groups: safety indicators, identification indicators, and indicators of consumer requirements. The first two groups are to be found in such standards as Technical Regulations of the Customs Union TR CU 021/2011, 033/2013, and 022/2011, State Standard R 31981-2013, etc. These indicators are mandatory for all new products. The third group of indicators, however, has no mandatory requirements since they totally depend on the consumer needs, and the degree of customer satisfaction determines the demand for new products.

The sociological survey involved 250 respondents from the Moscow region. The survey established a range of indicators of consumer requirements for the quality of functional yoghurts, which were ranked by their importance for consumers. The resulting formula for a comprehensive quality assessment of functional yoghurts was as follows:

$$Q = 15.2 \cdot q_1 + 13.7 \cdot q_2 + 12.9 \cdot q_3 + 10.6 \cdot q_4 + 9.8 \cdot q_5 + 8.1 \cdot q_6 + 8.1 \cdot q_7 + 4.2 \cdot q_8 + 4.1 \cdot q_9 + 3.3 \cdot q_{10} + 3.1 \cdot q_{11} + 2.7 \cdot q_{12} + 2.3 \cdot q_{13} + 1.9 \cdot q_{14} \quad (1)$$

where Q is a complex quality indicator, and $q_1 \dots q_{14}$ are relative quality indicators: 1 – pleasant taste, 2 – useful components, 3 – affordability, 4 – minimal amount of ingredients, 5 – maximal amount of flavor filler, 6 – low calorie content, 7 – uniform consistency, 8 – low fat, 9 – pleasant smell, 10 – no liquid fraction, 11 – uniform

and pleasant color, 12 – expiration date, 13 – a large amount of protein, 14 – unusual filler.

The sociological survey revealed the following consumer expectations. A good yogurt with functional ingredients should be both beneficial to human health, i.e., contain functional ingredients, and natural, i.e., no artificial additives, dietary supplements, etc. Consumers wanted a product with functional flavors, vitamins, or mineral premixes. They saw no fundamental difference between a functional product and a product with functional ingredients.

The next stage analyzed five years of statistical data on product discrepancies registered at the distribution network or mentioned by consumers (Fig. 1). The most common discrepancies included mislabeling, blown or leaking packaging, and liquid separation.

Mislabeling included the differences between the information on the label and the established requirements or misinformation about the flavor. They can be prevented by involving highly qualified specialists in the label design, as well as a stricter control of the labeling process during packaging. Other discrepancies resulted from unwanted microbiological processes in the product and a decrease in the moisture-binding capacity of the curd. Therefore, the new yogurt with functional ingredients needs higher moisture-binding capacity, lower risks of unwanted microbiological processes during distribution, and also stricter control during storage and transportation from the producer to the shop.

The main requirements for the target quality indicators of the finished product included:

- fortifying the yogurt with functional ingredients by adding functional flavoring agents;
- selecting such flavoring fillers that need no food dyes, flavor enhancers, acidity regulators, etc.;
- reducing the risks of producing and selling yogurts with syneresis;
- selecting components with lower risks of microbiological spoilage.

The next stage established the main requirements for the production processes, as well as the product quality factors. The resulting factors were divided into three groups: technology, formulation, and raw materials.

The research revealed the weight and nature of the effect provided by each group. The technological factors included the sequence, as well as the type and modes of technological operations. The raw material factors included the type of raw materials and their quality and safety indicators. The formulation factors included the type of each ingredient and their ratio. The obtained results were processed and represented as an information-matrix quality predicting model for yogurts with functional ingredients.

The quality of yogurt with functional ingredients appeared to depend on the technological and formulation factors in the ratio of 42 to 38%, respectively.

The research also revealed the total expert assessment of the contribution of each factor on the quality and safety. The most important technological factors included milk pasteurization (259 points), fermentation (129 points), formulating (120 points), and packaging (113 points). The formulation factors with the greatest contribution included stabilizer (184 points), flavor filler (156 points), yogurt (145 points), and dye (103 points). Consumers appreciated yogurts with few components: the weight coefficient of the “minimal number of ingredients” indicator was 10.6%. Therefore, the number of functional ingredients should be minimal.

Functional ingredients increase the nutritional and biological value of the product. However, they should also provide the following additional target properties:

- be associated not with an artificial additive but with a healthy natural food product;
- high moisture-binding ($\geq 32\%$) and structure-forming abilities;
- a pleasant taste and aroma;
- a pleasant rich color, i.e., act as a natural dye;
- inhibit unwanted microflora.

Sea buckthorn juice and germinated rye cryopowder were chosen from the database of food fillers and functional ingredients. Their functional properties were proved information-matrix models for predicting the effect of functional ingredients on structured dairy products. These models were developed at the Department of Quality Management and Commodity Research of the Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

Adding 5–7% of sea buckthorn juice increases the taste characteristics and fortifies the product with vitamin C, minerals, and fatty acids. β -carotene improves the

dietary properties of the product, as well as its quality characteristics. Sea buckthorn has a bright yellow color that mixes well with both fat and water fractions. Vitamin C possesses preservative properties, which reduce the risk of developing unwanted microflora.

Rye dietary fibers fortify the product with plant fiber and give it the desired rheological properties. They are a source of amino acids, vitamins C, E, PP, folic acid, copper, manganese, selenium, and silicon. They help to lose weight, increase hemoglobin, strengthen the immune and antioxidant system, improve eyesight, skin, hair, and nails. In addition, sprouted rye cryopowder has a high moisture-binding capacity and structure-forming properties.

A complete factorial experiment provides universal solutions that allow food producers to respond to the constantly changing product requirements and to develop competitive products. A regression equation for the effect of controlled factors on the moisture-binding capacity (Y) looks as follows:

$$Y = -21.336 + 1.341 \cdot j + 156.671 \cdot k + 0.038 \cdot f + 1.029 \cdot j \cdot k + 0.002 \cdot j \cdot f - 0.408 \cdot k \cdot f + 0.005 \cdot j \cdot k \cdot f \quad (2)$$

where j – mass share of yoghurt in the model environment, %; k – mass share of sprouted rye cryopowder in the model environment, %; f – mass share of fat in the yoghurt, %.

The resulting regression equation made it possible to develop a high moisture-binding yogurt formulation fortified with sea buckthorn juice and germinated rye cryopowder (Table 1).

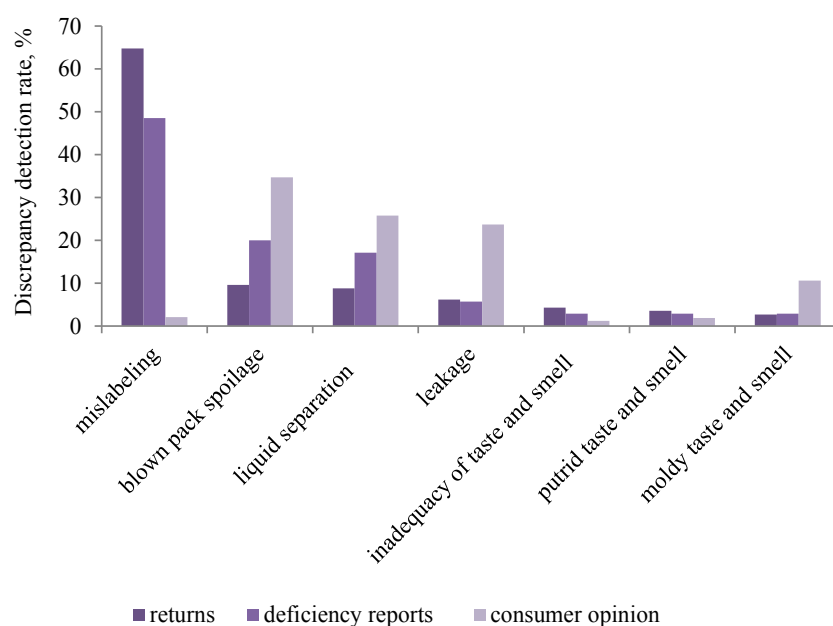


Figure 1. Discrepancies and their frequency over five years of product distribution: yoghurts with functional ingredients

Table 1. Formulations of yoghurts with functional ingredients

No.	Component	Weight of components, kg/1000 kg of finished product			
		Formulations			
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
1	Yoghurt with 3.3% fat	750.0	650.0	700.0	630.0
2	Standardized milk with 3.3% fat	98.0	190.0	145.0	207.0
3	Sea buckthorn juice with sugar (1:1)	140.0	140.0	140.0	140.0
4	Germinated rye cryopowder	12.0	20.0	15.0	23.0
Total, kg		1000.0	1000.0	1000.0	1000.0

Table 2. Sensory evaluation of yoghurts with functional ingredients

No.	Sensory properties	Weight of components, kg/1000 kg of finished product			
		Formulations			
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
1	Taste	4.9	4.9	4.9	4.8
2	Smell	4.7	4.7	4.7	4.7
3	Appearance	4.9	4.8	4.9	4.8
4	Texture	4.7	4.6	4.6	4.7
5	Color	5.0	5.0	5.0	5.0
Total score		24.2	24.0	24.1	24.0

The obtained data made it possible to develop a new production technology for yogurt fortified with sea buckthorn juice and germinated rye cryopowder.

The main stages of production included: raw material delivery and evaluation; milk standardization, homogenization, pasteurization, cooling; adding starter

culture, fermentation, and curd mixing; adding a mix of sea buckthorn juice, skim milk, sugar, and sprouted rye cryopowder; mixing, bottling, packaging, and storage.

Milk was standardized according to the mass fraction of fat (3.3%), heated to 60–65°C, homogenized at 1.5 ± 2.5 MPa, pasteurized at $88 \pm 2^\circ\text{C}$ for 8–10 min, and cooled until fermentation at $40 \pm 2^\circ\text{C}$. After that, it was mixed with starter cultures *Lactobacillus bulgaricus* and *Lactobacillus thermophilus* (3–5%). The fermentation was complete when the acidity reached 90–100°T.

Cryopowder and sugar were dissolved in sea buckthorn juice in a separate container. The mix was cooled to 8–12°C, mixed with standardized milk, and stirred for 10 min. The resulting mix was added to the fermented curd and stirred for 10 min. Yoghurt with functional ingredients was cooled to 15–20°C, packed in containers, labeled, and cooled to 4°C.

The sensory analysis of commercial samples revealed their excellent consumer properties (Table 2). Figure 2 illustrates the flavor profile chart.

Conclusion

Qualimetric forecasting proved to be an effective approach to product quality formation. The obtained results made it possible to develop universal solutions that provide prompt adjustment of formulation and production technology. The approach guarantees properties important for yogurts with functional ingredients, stable quality and safety, lower risks of discrepancies, and better consumer attractiveness.

The proposed scientific approach revealed the key requirements for the quality indicators of yogurts with functional ingredients: high sensory properties, natural formulation components, and low risks of syneresis or microbiological spoilage. The research also substantiated the choice of sea buckthorn juice and germinated rye cryopowder as functional components. A set of experiments resulted in regression equations that can predict the effect of the content of germinated rye cryopowder and the mass fraction of fat in the milk base on the moisture-binding capacity. These equations produced new formulations and production technologies for yogurts with sea buckthorn juice and sprouted rye grain cryopowder.

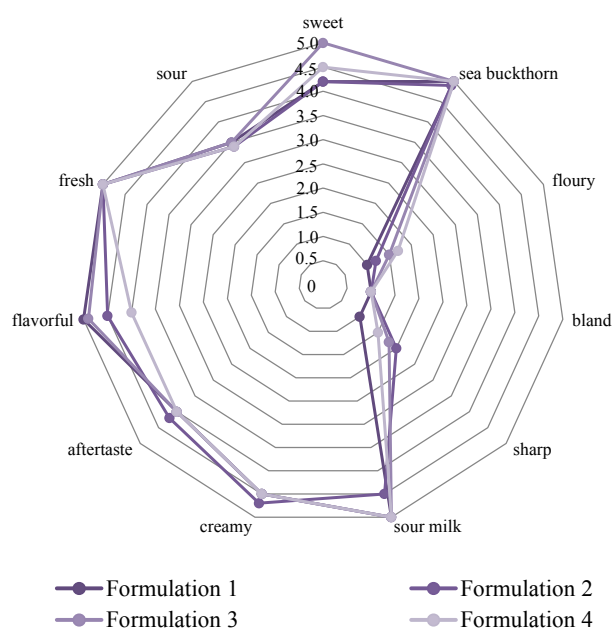


Figure 2. Sensory profile of yogurts with functional ingredients

Table 3. Nutritional and energy value of yogurts with functional ingredients

Formulation	Protein, g	Fat, g	Carbohydrates, g	Energy, kcal	Potassium, mg%	Vitamin C, mg%	β -carotene, mg%
Basic	3.80 $\pm$ 0.02	3.50 $\pm$ 0.10	9.70 $\pm$ 0.9	85.5	147.0 $\pm$ 1.1	0.61 $\pm$ 0.05	10.11 $\pm$ 0.05
No. 1	3.29 $\pm$ 0.02	3.25 $\pm$ 0.20	10.48 $\pm$ 0.8	83.9	150.0 $\pm$ 1.2	14.58 $\pm$ 0.04	114.03 $\pm$ 0.19
No. 2	3.27 $\pm$ 0.02	3.24 $\pm$ 0.10	10.57 $\pm$ 0.8	84.2	149.0 $\pm$ 1.3	14.32 $\pm$ 0.05	112.02 $\pm$ 0.18
No. 3	3.28 $\pm$ 0.02	3.23 $\pm$ 0.20	10.34 $\pm$ 0.7	83.3	151.0 $\pm$ 1.1	14.78 $\pm$ 0.05	114.31 $\pm$ 0.19
No. 4	3.26 $\pm$ 0.02	3.26 $\pm$ 0.10	10.15 $\pm$ 0.9	81.6	150.0 $\pm$ 1.1	14.02 $\pm$ 0.05	113.03 $\pm$ 0.19

The sensory assessment and the flavor profile chart revealed excellent consumer properties of all samples (24.0–24.2 points out of 25.0 points). The yoghurt was rich in vitamin C, β -carotene, and potassium. The content of vitamin C rose from 0.61 in the base sample to 14.02–14.78 mg% in the experimental samples. The content of β -carotene increased from 10.11 to 112.02–114.31 mg%, and that of potassium – from 147 to 149–151 mg% for. The high content of vitamin C and β -carotene makes the new yogurt a functional product.

Contribution

N. I. Dunchenko supervised the project; V.S. Yankovskaya performed the experiments.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Kruger J, Taylor JRN, Ferruzzi MG, Debelo H. What is food-to-food fortification? A working definition and framework for evaluation of efficiency and implementation of best practices. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2018;19(6):3618–3658. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12624>
2. Khavkin AI, Kovtun TA, Makarkin DV, Fedotova OB. Fermented milk products and child health. *Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2020;65(6):155–165. (In Russ.). <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-155-165>
3. Pleshkova NA, Avstrieviskih AN, Poznyakovskij VM. Adjustable technological parameters of production in the formation of consumer properties of a functional product. *Food Industry*. 2018;(8):80–82. (In Russ.)
- Плешкова Н. А., Австриевских А. Н., Позняковский В. М. Регулируемые технологические параметры производства в формировании потребительских свойств функционального продукта // *Пищевая промышленность*. 2018. № 8. С. 80–82.
4. Trafialek J, Kolanowski W. Implementation and functioning of HACCP principles in certified and non-certified food businesses: A preliminary study. *British Food Journal*. 2017;119(4):710–728. <https://doi.org/10.1108/BFJ-07-2016-0313>
5. Wallace CA, Sperber WH, Mortimore SE. Food safety for the 21st century: Managing HACCP and food safety throughout the global supply chain. Ed. 2. John Wiley and Sons; 2018. 496 p.
6. Joshua Q. Food Safety & HACCP Plan Development & Implementation. *Quality Control Solutions*. 2020;(1):77–94.
7. Amit SK, Uddin MM, Rahman R, Islam SMR, Khan MS. A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agriculture and Food Security*. 2017;6(1). <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0130-8>
8. Quick T. Brief history of continuous improvement. *Journal for Quality and Participation*. 2019;42(1).
9. Belyakova ZYu, Makeeva IA, Stratonova NV, Pryanichnikova NS, Bogatyrev AN, Diel F, et al. Role of organic products in the implementation of the state policy of healthy nutrition in the Russian Federation. *Foods and Raw Materials*. 2018;6(1):4–13. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-4-13>
10. Yankovskaya VS, Dunchenko NI, Voloshina ES, Kuptsova SV, Fedotova OB, Mikhaylova KV. Improving the quality of functional fish products based on management and qualimetry methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;640(6). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/6/062001>
11. Yankovskaya VS, Dunchenko NI, Mikhaylova KV. New structured dairy products based on quality complaints and risk qualimetry. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(1):2–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-2-12>.
12. Ye A. Complexation between milk proteins and polysaccharides via electrostatic interaction: Principles and applications – A review. *International Journal of Food Science and Technology*. 2008;43(3):406–415. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01454.x>

13. Parrella A, Caterino E, Cangiano M, Criscuolo E, Russo C, Lavorgna M, *et al.* Antioxidant properties of different milk fermented with lactic acid bacteria and yeast. *International Journal of Food Science and Technology*. 2012;47(12):2493–2502. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03127.x>
14. Watson GH. What does quality actually mean? *Journal for Quality and Participation*. 2017;39(4):12–14.
15. Hockenberry T. Marketing change: Embrace marketing ideas to impact change management. *Journal for Quality and Participation*. 2018;42(1):19–21.
16. Watson GH. Using the Kano Model as a basis for strategic thinking. *Journal for Quality and Participation*. 2019;42(3):8–14.
17. Azgaldov GG, Kostin AV. Applied qualimetry: its origins, errors and misconceptions. *Benchmarking*. 2011;18(3):428–444. <https://doi.org/10.1108/14635771111137796>
18. Nor-Khaizura M-A-R, Flint SH, Mccarthy OJ, Palmer JS, Golding M, Jaworska A. Development of made-in-transit set culture yoghurt: Effect of increasing the concentration of reconstituted skim milk as the milk base. *International Journal of Food Science and Technology*. 2012;47(3):579–584. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02880.x>
19. Delikanli B, Ozcan T. Improving the textural properties of yogurt fortified with milk proteins. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2017;41(5). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13101>
20. Gao J, Li X, Zhang G, Sadiq FA, Simal-Gandara J, Xiao J, *et al.* Probiotics in the dairy industry – Advances and opportunities. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2018;20(4):3937–3982. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12755>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2359>
<https://elibrary.ru/NWMHFW>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Содержание изофлавоноидов в сое и пищевых продуктах с ее использованием



Е. С. Стаценко^{1,*}, М. А. Штарберг², Е. А. Бородин²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт сои , Благовещенск, Россия

² Амурская государственная медицинская академия
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Благовещенск, Россия

Поступила в редакцию: 14.01.2022

Принята после рецензирования: 09.02.2022

Принята в печать: 11.04.2022

*Е. С. Стаценко: ses@vniiso.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-2240-0614>

М. А. Штарберг: <https://orcid.org/0000-0002-4656-638X>

Е. А. Бородин: <https://orcid.org/0000-0002-0983-4541>

© Е. С. Стаценко, М. А. Штарберг, Е. А. Бородин, 2022



Аннотация.

Изофлавоноиды – это нестероидные химические вещества растительного происхождения. Необходимость исследования количества изофлавоноидов в соесодержащих пищевых продуктах связана с их воздействием на организм человека. Целью исследования стало определение содержания изофлавоноидов в выращиваемом в Амурской области сорте сои Сентябрька и в соесодержащих продуктах.

В работе использовано соевое зерно сорта Сентябрька селекции ВНИИ сои. Содержание изофлавоноидов в сое, соево-тыквенной окаре и разработанных соево-тыквенных напитках и десертах, а также крекере с соево-тыквенной окаррой определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Миллихром Ф-02.

Установлено, что в сое сорта Сентябрька общее содержание изофлавоноидов составляет 221,10 мг/100 г. В исследованных пищевых продуктах оно составило, мг/100 г: в десерте соево-тыквенном – 44,50, десерте соево-тыквенном жележном – 36,15, крекере с соево-тыквенной окаррой – 30,80, напитке «Белковый дальневосточный» – 21,19, напитке «Витаминный дальневосточный» – 12,72. В сое и соесодержащих продуктах идентифицированы три изофлавоноида – генистеин, диадзеин (мажорные) и глицитеин (минорный), – присутствующие в виде агликонов, гликозидов (генистин, диадзин и глицитин) и малонилпроизводных гликозидов. Среди индивидуальных форм изофлавоноидов наблюдается наибольшее содержание малонил диадзина и малонил генистина как в соевом зерне, так и в соесодержащих пищевых продуктах: от 42,56 (в крекере с соево-тыквенной окаррой) до 67,50 % (в соевом зерне).

Содержание изофлавоноидов в разработанных соесодержащих пищевых продуктах зависит от особенностей рецептуры и технологии их получения, а именно от количества вводимой в состав продукта сои. Ежедневный прием 200 г соево-тыквенного напитка или 100 г крекера с соево-тыквенной окаррой, или соево-тыквенного или соево-тыквенного жележного десертов удовлетворяет потребности в изофлавоноидах и может сопровождаться благоприятными биологическими эффектами для организма человека.

Ключевые слова. Соя, тыква, изофлавоноиды, напитки, десерты, окара, крекер, функциональные продукты

Для цитирования: Стаценко Е. С., Штарберг М. А., Бородин Е. А. Содержание изофлавоноидов в сое и пищевых продуктах с ее использованием // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 222–232. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2359>

Isoflavonoids in Soy and Soy-Containing Foods

Ekaterina S. Statsenko^{1,*}, Mikhail A. Shtarberg², Eugene A. Borodin²

¹ All-Russian Scientific Research Institute of Soybean , Blagoveshchensk, Russia

² Amur State Medical Academy of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation,
Blagoveshchensk, Russia

Received: 14.01.2021

Revised: 09.02.2022

Accepted: 11.04.2022

*Ekaterina S. Statsenko: ses@vniisoi.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-2240-0614>

Mikhail A. Shtarberg: <https://orcid.org/0000-0002-4656-638X>

Eugene A. Borodin: <https://orcid.org/0000-0002-0983-4541>

© E.S. Statsenko, M.A. Shtarberg, E.A. Borodin, 2022



Abstract.

Soy is exceptionally rich in isoflavonoids, which are linked to various health benefits. The aim of the research was to determine the content of isoflavonoids in soy and some soy-containing foods.

The research featured the Sentyabrinka soy variety developed at the All-Russian Research Institute of Soy, as well as such novel soy-containing foods as soy-and-pumpkin drinks and desserts, e.g. soy-and-pumpkin okara crackers. The content of isoflavonoids was determined by high performance liquid chromatography using a Millichrom F-02 chromatograph.

The total content of isoflavonoids was 221.10 mg/100 g in the soy beans, 44.50 mg/100 g – in the soy-and-pumpkin dessert, 36.15 mg/100 g – in the soy-and-pumpkin jelly, 30.80 mg/100 g – in the cracker with soy-and-pumpkin okara, 21.19 mg/100 g – in the protein drink, 12.72 mg/100 g – in the vitamin drink. The samples were tested for such isoflavonoids as genistein, diadzein (major), and glycitein (minor), which took the form of aglycones, glycosides (genistin, diadzin, and glycitein), and malonyl derivatives of glycosides. The highest content of malonyl diadzin and malonyl genistin was registered both in the soy beans and the soy-containing foods: from 42.56 in the crackers to 67.50% in the soy beans.

The content of isoflavonoids in the soy-containing food products depended on the formulation and production technology, namely, on the amount of soy. A daily intake of 200 g of soy-and-pumpkin drink or 100 g of soy-containing dessert could provide the daily intake of isoflavonoids, which makes these products beneficial for human health.

Keywords. Soy, pumpkin, isoflavones, drinks, desserts, okara, crackers, functional foods

For citation: Statsenko ES, Shtarberg MA, Borodin EA. Isoflavonoids in Soy and Soy-Containing Foods. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):222–232. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2359>

Введение

Соя является культурой, традиционно употребляемой в пищу в странах Азии на протяжении тысячелетий. В страны Запада соя была завезена около ста лет назад и использовалась в качестве корма для сельскохозяйственных животных [1]. Благодаря высокому содержанию белка соевые продукты являются традиционными для вегетарианцев [2]. Интерес к использованию сои в производстве продуктов питания для человека резко возрос в последние десятилетия в связи с установлением способности продуктов, содержащих сою, предупреждать многие заболевания [3, 4]. Соевые продукты уменьшают риск возникновения ряда злокачественных опухолей, способствуют снижению содержания в крови холестерина, облегчают

протекание метаболического, постменопаузального и других синдромов [3–6].

Благоприятное действие соевых продуктов на здоровье человека связывают с веществами, содержащимися в бобах сои. Наибольший интерес исследователей привлекают производные изофлавоноидов – изофлавоноиды [7–9]. Соя – уникальное растение, которое содержит высокое количество этих соединений [10]. Главными изофлавоноидами сои являются генестеин и диадзеин, в меньших количествах присутствует глицитин [11]. Наряду с перечисленными агликонами в сое содержатся их гликозиды – генистин, диадзин и глицитин, а также малонил- и ацетилпроизводные этих гликозидов [7–9]. Изофлавоноиды обладают эффектами женских половых гормонов и поэтому получили название

фитоэстрогенов, чье эстрогеноподобное действие выражено в меньшей степени, чем у эстрогенов женского организма [6, 12]. Изофлавоноиды предупреждают возникновение рака грудной железы у женщин и предстательной железы у мужчин, снижают содержание в крови холестерина, препятствуют развитию ожирения и метаболического синдрома, облегчают протекание постменопаузального синдрома, улучшают когнитивные способности и оказывают иммуномодулирующее действие [5, 6, 13–21]. В экспериментальных исследованиях показано, что агликоны генистеин и диадзеин подавляют инвазию ротавируса человека в культивируемых макрофагах (клеточная линия MA-104).

В развитии многих заболеваний в последние годы важная роль отводится активации в тканях процессов свободнорадикального окисления липидов, белков и нуклеиновых кислот, что получило название окислительного стресса [22]. В этой связи важными являются антиоксидантные свойства изофлавоноидов [23]. С антиоксидантной активностью изофлавоноидов могут быть связаны их антиканцерогенные и противовоспалительные свойства. Генистеин обладает ингибирующим действием на ферменты злокачественно трансформированных клеток и ингибирует канцерогенез и старение клеток эпителия кожи, вызванные ультрафиолетовым облучением у мышей и фотоповреждением у людей [24]. Ингибируя ядерный фактор NF- κ B, контролирующий транскрипцию многих генов провоспалительных белков, изофлавоноиды уменьшают экспрессию индуцибельной синтазы оксида азота (iNOS), продукцию оксида азота (NO), экспрессию циклооксигеназы-2 (COX-2) и продукцию провоспалительного простагландина E₂ [25]. Изофлавоноиды проявляют противовирусные свойства с максимальным эффектом в желудочно-кишечном тракте, обеспечивая повышение барьерной функции кишечника [21, 26].

Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA) одобрило утверждение о том, что потребление 25 г соевых бобов в день (эквивалентно потреблению в среднем 25–50 мг изофлавоноидов) может снизить риск сердечно-сосудистых заболеваний [27, 28]. В настоящее время отсутствует информация о побочных эффектах приема внутрь высоких концентраций изофлавоноидов [27]. В Китае, Японии и Южной Корее ежедневное потребление изофлавоноидов сои находится в диапазоне 25–50 мг, в отличие от США и европейских стран, где среднее ежедневное потребление составляет менее 2 мг [28]. Азиатские страны потребляют изофлавоноиды в тофу, темпе, мисо, натто и чхонгукчане. В России и западных странах его потребляют как заменитель молочных

продуктов: соевое молоко, соевый сыр и соевый йогурт [27, 29, 30].

Целью исследования стало определение содержания изофлавоноидов в сое, выращиваемой в Амурской области, и разработанных соесодержащих пищевых продуктах с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Научная новизна исследования заключается в определении суммарного содержания изофлавоноидов и их состава методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в сое сорта Сентябринка селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои и в разработанных продуктах с использованием сои данного сорта.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись: соевое зерно сорта Сентябринка селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои; соево-тыквенные напитки («Белковый дальневосточный», «Витаминный дальневосточный»); десерты соево-тыквенный («Надежда+») и соево-тыквенный жележный («Нежный»), полученные из сои и тыквы десертной продовольственной; крекер с соево-тыквенной окарой [31].

Содержание изофлавоноидов в водно-метанольных экстрактах из сои и соесодержащих пищевых продуктах определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Миллихром Ф-02 с колонкой ProntoSil-120-5-C18 AQ (dp = 5 мкм при 256 нм) и с использованием элюента метанол:вода с градиентом метанола от 10 до 90 %. Скорость потока 100 мкл/мин, максимальное давление 1,8 Мпа, температура в колонке 40 °С. Для построения калибровочных графиков использовали стандарты изофлавоноидов аналитической чистоты.

Определение физико-химических показателей в соево-тыквенной окаре (белок, жир, углеводы, пищевые волокна) проводили с использованием инфракрасного сканера FOSS NIRSystem 5000 методом спектроскопии в ближней инфракрасной области, а также с помощью следующих методик: содержание фосфолипидов – по неорганическому фосфору; содержание β -каротина – спектрофотометрическим методом; содержание влаги – методом высушивания до постоянной массы по ГОСТ Р 54668-2011; содержание общей золы (минеральных веществ) – сжиганием и озолением навески в муфельной печи по ГОСТ Р 54607.10-2017; энергетическую ценность – с помощью калорических коэффициентов [32, 33].

Ранее авторами была разработана технология получения напитков и десертов на основе сои и тыквы [31, 34, 35]. Для получения соево-тыквенных напитков сою инспектировали, промывали и замачивали в воде температурой 18–20 °С в течение 10 ч. Тыкву после мойки очищали от кожуры и семенного гнезда и резали на кубики 10×10 мм. Набухшее соевое зерно смешивали с измельченной тыквой и водой согласно рецептуре [31, 34, 35].

Таблица 1. Рецепт контрольного образца крекера и крекера с соево-тыквенной окарой

Table 1. Formulation for the control sample of crackers and crackers with soy-and-pumpkin okara

Наименование сырья и полуфабрикатов	Массовая доля сухих веществ, %	Расход сырья на 1 тонну готовых изделий, кг			
		Крекер «Любительский» (контроль)		Крекер с соево-тыквенной окарой (опыт)	
		В натуре	В сухих веществах	В натуре	В сухих веществах
Мука пшеничная высшего сорта	86,0	955,21	821,48	730,49	628,22
Соево-тыквенная окара (в виде муки)	91,0	–	–	224,72	204,50
Вода	–	362,47	–	379,77	–
Мука пшеничная высшего сорта в опару	86,0	168,41	144,83	168,41	144,83
Дрожжи прессованные	25,0	2,37	0,59	2,37	0,59
Соль пищевая	96,5	1,92	1,85	1,92	1,85
Итого	65,0	1490,38	968,75	1507,68	979,99
Потери 4,0 %		–	38,75	–	–
5,1 %		–	–	–	49,99
Выход	93,0	1000,00	930,00	1000,00	930,00

Полученную смесь нагревали до 100 °С в течение 30 мин, одновременно проводя тонкое измельчение и экстракцию растворимых сухих веществ. Затем фильтрованием отделяли жидкую фракцию (соево-тыквенная композиция) от твердой фракции (соево-тыквенная окара). Полученные композиции служили основой соево-тыквенных напитков при соотношении 1:1 – напиток «Белковый дальневосточный», 1:2 – напиток «Витаминный дальневосточный» [35]. В соево-тыквенную композицию добавляли раствор аскорбиновой кислоты, проводили коагуляцию и отделяли сыворотку, получая соево-тыквенный коагулят. Предварительно подготовленный сироп облепихи с сахаром смешивали с соево-тыквенным коагулятом и гомогенизировали, получая десерт соево-тыквенный. Для получения десерта соево-тыквенного жележного в соево-тыквенную композицию добавляли желатин, получая железирующий раствор, который затем смешивали с сиропом облепихи, сахаром и соево-тыквенным коагулятом согласно рецептуре [34, 35].

Разработанные соево-тыквенные напитки и десерты в 100 г продукта содержат белок – 1,00–5,75 г, жир – 1,05–5,85 г, фосфатиды – 91,00–334,00 мг, витамины Е – 4,80–28,60 мг, С – 3,40–35,08 мг и β-каротин – 7,81–28,60 мг [31, 34, 35]. Следовательно, соево-тыквенные продукты обогащены функциональными пищевыми ингредиентами. Поэтому они могут быть отнесены к натуральным пищевым продуктам функциональной направленности.

Влажную соево-тыквенную окару сушили до влажности 9,0 % в сушилке с конвекцией.

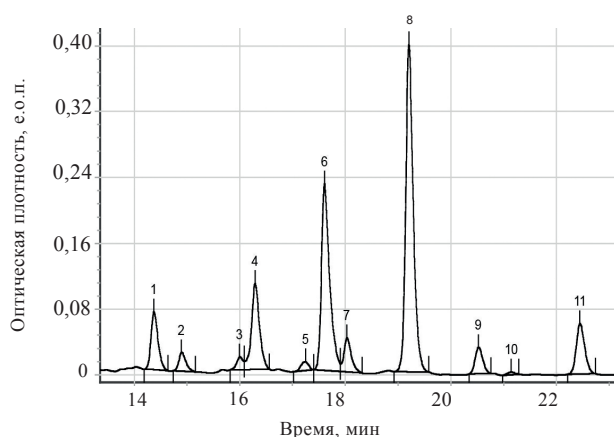
Технология производства крекера, обогащенного соево-тыквенной окарой, заключалась в следующем. Опарным способом готовили тесто. Опару получали из муки пшеничной высшего сорта и воды с введением дрожжей. Измельченные дрожжи перемешивали с 1/3 рецептурного количества воды температурой 35–40 °С и подавали в тестомесильную машину. Затем добавляли муку в количестве 15 % от рецептурного количества и перемешивали смесь в течение 5–8 мин. Продолжительность брожения опары при температуре 26–28 °С составила 6 ± 1 ч. Готовность опары определяли по увеличению ее объема в 2,5–3,0 раза и достижению кислотности 6,5–7,9 град. Тесто изготавливали путем смешивания опары и рецептурных компонентов – пшеничной муки и соево-тыквенной окары, соли и оставшейся воды. Продолжительность замеса теста составила 30 мин. Температура готового теста находилась в интервале 30–40 °С при влажности теста 35 %. Расстойку теста производили в течение 3 ч при относительной влажности воздуха 75–85 % и при температуре 30 ± 1 °С. Затем производили прокатку теста и осуществляли формование тестовых заготовок и нанесение сквозных проколов. Выпекали изделия при температуре 190 °С в течение 10 мин. Далее готовые изделия охлаждали до 40 °С.

В таблице 1 представлена контрольная рецептура и рецептура крекера, обогащенного соево-тыквенной окарой.

Результаты и их обсуждение

Определено содержание изофлавоноидов в соевом зерне и пищевых продуктах с его использованием. В сое и соесодержащих продуктах идентифицированы 9 форм изофлавоноидов: три агликона – генистеин, диадзеин (мажорные) и глицитеин (минорный), их гликозиды – генистин, диадзин и глицитин, а также малонилпроизводные гликозиды – малонил

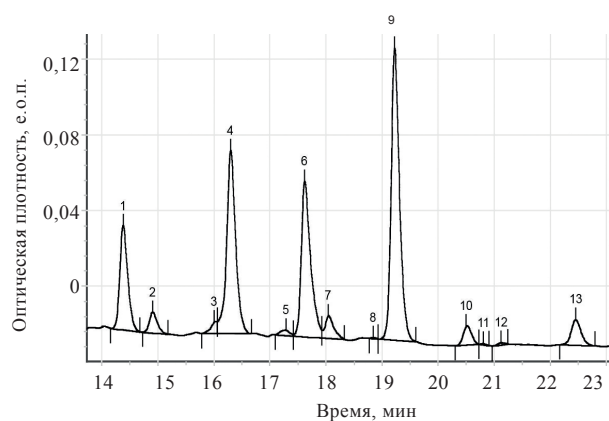
генистин, малонил диадзин и малонил глицитин. Время схода с колонки для указанных форм изофлавоноидов составило, мин: генистеин – 22,44, диадзеин – 20,53, глицитеин – 21,14, генистин – 16,29, диадзин – 14,38, глицитин – 14,89, малонил генистин – 19,21, малонил диадзин – 17,60, малонил глицитин – 18,03. На рисунках 1–5



1 – диадзин; 2 – глицитин; 4 – генистин; 6 – малонил диадзин; 7 – малонил глицитин; 8 – малонил генистин; 9 – диадзеин; 10 – глицитеин; 11 – генистеин

Рисунок 1. ВЭЖХ-анализ изофлавоноидов водно-метанольного экстракта из соевого зерна сорта Сентябринка

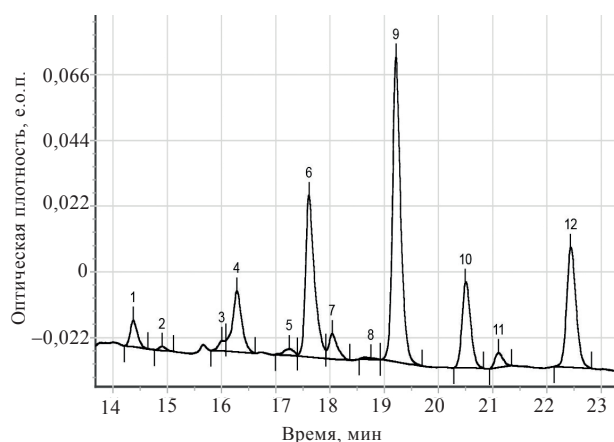
Figure 1. HPLC analysis of isoflavonoids in water-methanol extract of the Sentyabrinka soy variety



1 – диадзин; 2 – глицитин; 4 – генистин; 6 – малонил диадзин; 7 – малонил глицитин; 8 – малонил генистин; 9 – диадзеин; 10 – глицитеин; 11 – генистеин

Рисунок 2. ВЭЖХ-анализ изофлавоноидов водно-метанольного экстракта из соево-тыквенного напитка «Белковый дальневосточный»

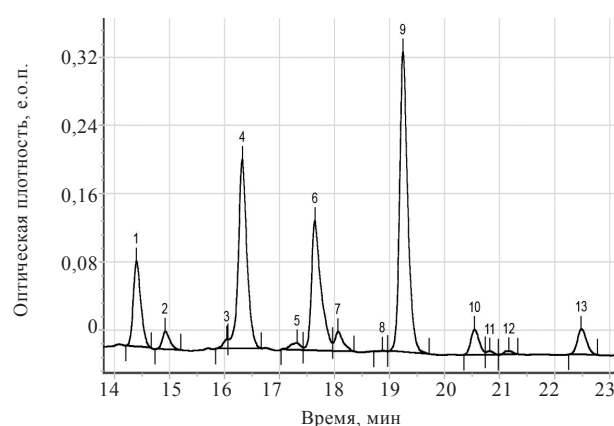
Figure 2. HPLC analysis of isoflavonoids in water-methanol extract of soy-and-pumpkin protein drink



1 – диадзин; 2 – глицитин; 4 – генистин; 6 – малонил диадзин; 7 – малонил глицитин; 8 – малонил генистин; 9 – диадзеин; 10 – глицитеин; 11 – генистеин

Рисунок 3. ВЭЖХ-анализ изофлавоноидов водно-метанольного экстракта из соево-тыквенного напитка «Витаминный дальневосточный»

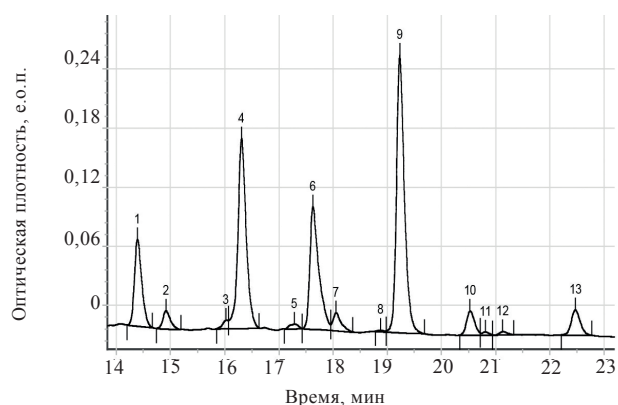
Figure 3. HPLC analysis of isoflavonoids in water-methanol extract of soy-pumpkin vitamin drink



1 – диадзин; 2 – глицитин; 4 – генистин; 6 – малонил диадзин; 7 – малонил глицитин; 8 – малонил генистин; 9 – диадзеин; 10 – глицитеин; 11 – генистеин

Рисунок 4. ВЭЖХ-анализ изофлавоноидов водно-метанольного экстракта из десерта соево-тыквенного

Figure 4. HPLC analysis of isoflavonoids in water-methanol extract of soy-and-pumpkin dessert



1 – диадзин; 2 – глицитин; 4 – генистин; 6 – малонил диадзин;
7 – малонил глицитин; 8 – малонил генистин; 9 – диадзеин;
10 – глицитеин; 11 – генистеин

Рисунок 5. ВЭЖХ-анализ изофлавоноидов водно-метанольного экстракта из десерта соево-тыквенного желеино

Figure 5. HPLC analysis of isoflavonoids in water-methanol extract of soy-and-pumpkin jelly dessert

представлены результаты разделения изофлавоноидов водно-метанольных экстрактов из образцов сои сорта Сентябринка и соево-тыквенных продуктов методом ВЭЖХ-анализа. Содержание изофлавоноидов в соевом зерне и соево-тыквенных продуктах представлено в таблице 2.

Общее содержание изофлавоноидов в соевом зерне сорта Сентябринка составило 221,10 мг/100 г. Это соответствует 0,22 % от общей массы соевого зерна. Содержание малонил диадзина и малонил генистина в соевом зерне находится в наибольшем количестве

и в сумме составляет 67,5 % от общего содержания изофлавоноидов.

О наличии соевого компонента можно судить как по рецептурному составу, так и по массовой доле белка в готовом продукте. Содержание белка в 100 г соево-тыквенных продуктов составляет, г: десерт соево-тыквенный – 5,75, десерт соево-тыквенный желеино – 4,70, напиток «Белковый дальневосточный» – 1,34, напиток «Витаминный дальневосточный» – 1,00 [31]. Зависимость содержания изофлавоноидов ($C_{\text{и}}$) от массовой доли белка (C_6) в соево-тыквенном продукте аппроксимируется с помощью уравнения линейной регрессии:

$$C_{\text{и}} = -1,472 + 0,163 \cdot C_6 \quad (1)$$

при коэффициенте корреляции $R = 0,98$.

Из уравнения (1) следует, что между общим содержанием изофлавоноидов и массовой долей белка существует зависимость и прямо пропорциональная связь: чем больше C_6 , тем больше $C_{\text{и}}$. При этом содержание изофлавоноидов в соево-тыквенных продуктах прямо пропорционально рецептурному содержанию в них соевого компонента, т. е. чем больше соевого компонента (коагулят, соево-тыквенная композиция), тем больше содержание изофлавоноидов в готовом продукте. Высокое содержание суммарных изофлавоноидов наблюдалось в десерте соево-тыквенном (44,50 мг/100 г), меньше – в десерте соево-тыквенном желеино (36,15 мг/100 г) и в напитке «Белковый дальневосточный» (21,19 мг/100 г), наименьшее – в напитке «Витаминный дальневосточный» (12,72 мг/100 г).

Содержание изофлавоноидов в готовом продукте ниже, чем в соевом зерне. Это связано с тем, что

Таблица 2. Содержание изофлавоноидов в сое и соево-тыквенных продуктах (мг/100 г продукта)

Table 2. Content of isoflavonoids in soy and soy-and-pumpkin products (mg/100 g of product)

Наименование	Соевое зерно сорта Сентябринка	Соево-тыквенный напиток «Белковый дальневосточный»	Соево-тыквенный напиток «Витаминный дальневосточный»	Десерт соево-тыквенный	Десерт соево-тыквенный желеино
Диадзин	18,10	3,01	0,46	5,37	4,63
Глицитин	4,60	0,43	0,05	0,82	0,69
Генистин	22,70	4,49	1,02	9,97	8,41
Малонил диадзин	68,40	5,23	3,47	10,2	7,99
Малонил глицитин	8,10	0,52	0,38	0,95	0,76
Малонил генистин	80,90	6,55	4,39	14,8	11,7
Диадзеин	4,80	0,30	0,94	0,92	0,74
Глицитеин	0,70	0,04	0,20	0,16	0,12
Генистеин	12,80	0,62	1,81	1,31	1,11
Итого	221,10	21,19	12,72	44,50	36,15

Таблица 3. Физико-химические показатели соево-тыквенной окары ($M \pm m$)

Table 3. Physicochemical parameters of soy-and-pumpkin okara ($M \pm m$)

Показатель	Содержание в 100 г	
	Соево-тыквенная окара (влажная)	Соево-тыквенная окара (сушеная)
Вода, г	77,10 $\pm$ 1,30	9,00 $\pm$ 0,15
Белок, г	6,00 $\pm$ 0,12	12,30 $\pm$ 0,23
Жир, г	2,80 $\pm$ 0,04	5,70 $\pm$ 0,11
Фосфатиды, мг	35,80 $\pm$ 0,40	136,00 $\pm$ 2,56
Углеводы, г	13,30 $\pm$ 0,07	68,20 $\pm$ 1,10
В том числе пищевые волокна, г	9,20 $\pm$ 0,78	30,30 $\pm$ 0,41
Минеральные вещества, г	0,90 $\pm$ 0,01	4,80 $\pm$ 0,08
β -каротин, мг	0,60 $\pm$ 0,02	3,90 $\pm$ 0,07
Энергетическая ценность, ккал	65,6	373,3

соево-тыквенные продукты, наряду с высоким содержанием воды (79,3–93,7 г/100 г), включает такие рецептурные компоненты, как облепиховый сироп с сахаром и тыкву, где изофлавоноидов не обнаружено.

В результате переработки соевого зерна в соево-тыквенные напитки и десерты произошли характерные изменения в соотношении отдельных форм главных изофлавоноидов – генистеина и диадзеина – с 2,6:1 до

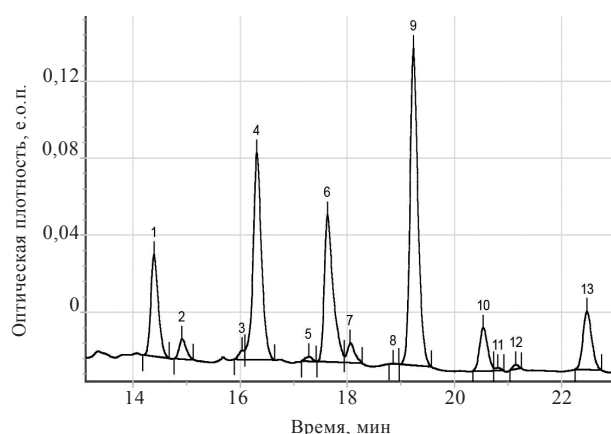
1,4:1–2,1:1. Содержание малонил диадзина и малонил генистина как в соевом зерне, так и в соево-тыквенных продуктах обнаружено в наибольшем количестве и составило 55,3–67,5 % от общего содержания исследованных изофлавоноидов. Из гликозидов изофлавоноидов в соевом зерне и в соево-тыквенных продуктах в наибольшем количестве присутствует генистин – 10,3–23,6 % от общего количества всех изофлавоноидов.

При получении соево-тыквенной жидкой фракции (композиции) как основы для производства напитков и десертов образуется побочный продукт – соево-тыквенная окара, богатая многими ценными веществами (табл. 3) [31].

Как видно из таблицы 2, сушеная соево-тыквенная окара в расчете на 100 г продукта содержит: белок – 12,30 г, пищевые волокна – 30,30 г, β -каротин – 3,90 мг, а также имеет высокое содержание минеральных веществ – 4,80 г.

Внешний вид сушеной соево-тыквенной окары представлял собой сухие гранулы с шероховатой поверхностью и одинакового размера по всей массе; частицы пористые, хрупкие, в меру ломкие; цвет – светло-оранжевый и однородный по всей массе; умеренно выраженный соево-тыквенный запах, без посторонних запахов, вкус нейтральный и свойственный компонентам рецептуры.

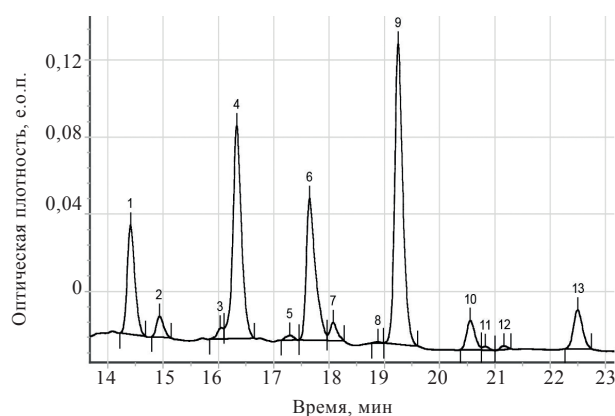
Влажная и сушеная соево-тыквенная окара исследованы на содержание изофлавоноидов (рис. 6 и 7).



1 – диадзин; 2 – глицитин; 4 – генистин; 6 – малонил диадзин; 7 – малонил глицитин; 8 – малонил генистин; 9 – диадзеин; 10 – глицитенин; 11 – генистеин

Рисунок 6. ВЭЖХ-анализ изофлавоноидов водно-метанольного экстракта из соево-тыквенной окары влажной

Figure 6. HPLC analysis of isoformonoids in water-methanol extract of wet soy-and-pumpkin okara



1 – диадзин; 2 – глицитин; 4 – генистин; 6 – малонил диадзин; 7 – малонил глицитин; 8 – малонил генистин; 9 – диадзеин; 10 – глицитенин; 11 – генистеин

Рисунок 7. ВЭЖХ-анализ изофлавоноидов водно-метанольного экстракта из соево-тыквенной окары сушеной

Figure 7. HPLC analysis of isoformonoids in water-methanol extract of dried soy-and-pumpkin okara

Таблица 4. Содержание изофлавоноидов во влажной и сушеной соево-тыквенной окаре (мг/100 г продукта)

Table 4. Content of isoflavonoids in wet and dried soy-and-pumpkin okara (mg/100 g of product)

Наименование	Соево-тыквенная окара (влажная)	Соево-тыквенная окара (сушеная)
Диадзин	2,86	15,30
Глицитин	0,38	2,00
Генистин	4,82	24,70
Малонил диадзин	2,59	23,80
Малонил глицитин	0,40	1,71
Малонил генистин	6,95	32,90
Диадзеин	0,70	2,35
Глицитеин	0,07	0,30
Генистеин	1,30	4,30
Итого	20,10	112,40

Содержание изофлавоноидов во влажной и сушеной соево-тыквенной окаре представлено в таблице 4.

Из анализа таблицы 4 следует, что сушеная соево-тыквенная окара содержит в 2 раза меньше изофлавоноидов, чем соевое зерно (табл. 2). Это объясняется особенностями технологии ее получения, а именно введением тыквы, в которой изофлавоноиды отсутствуют. Во влажной окаре суммарное содержание изофлавоноидов в 5,6 раза меньше, чем в сухой, из-за высокого содержания воды (77,1 %). Главными изофлавоноидами соево-

тыквенной окары являются гликозиды генистин и диадзин и их малонил производные, процентное содержание которых в сушеной окаре составляет 22,0, 13,6, 29,3 и 21,2, а в сырой – 24,0, 14,0, 35,0 и 13,0 соответственно. Таким образом, конвективная сушка окары приводит к резкому увеличению содержания изофлавоноидов, но не оказывает существенного влияния на изофлавоноидный состав.

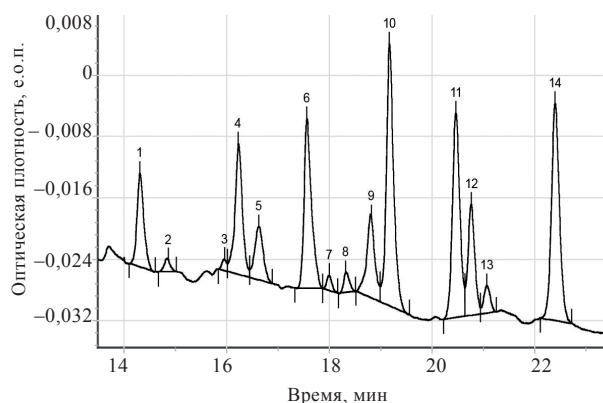
Сушеную соево-тыквенную окару можно использовать в качестве обогащающей добавки в рецептурах хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, кулинарной и другой пищевой продукции. В настоящем исследовании соево-тыквенную окару использовали в рецептуре крекера «Любительский» (без жира). 20,0 % рецептурного количества муки пшеничной высшего сорта заменяли соево-тыквенной окарой, измельченной в муку. На рисунке 8 представлены результаты определения изофлавоноидов в крекере с соево-тыквенной окарой.

Общее содержание изофлавоноидов в крекере, обогащенном соево-тыквенной окарой, составляет 30,8 мг на 100 г продукта. Как и в окаре, в крекере преобладают малонил генистин – 6,92 мг/100 г продукта или 22,5 %, малонил диадзин – 6,19 мг/100 г продукта (20,1 %), генистин – 3,53 мг/100 г продукта (11,5 %) и диадзин – 3,13 мг/100 г продукта (10,2 %). Особенностью крекера является высокое содержание агликонов – генистеина (5,8 мг/100 г продукта или 18,8 %) и диадзеина (4,03 мг/100 г или 13,1%). Это можно объяснить разрушением гликозидов в результате воздействия высоких температур при получении крекера.

Выводы

Соевое зерно сорта Сентябринка богато изофлавоноидами (общее содержание 221,10 мг/100 г). В соево-тыквенных продуктах общее содержание изофлавоноидов прямо пропорционально рецептурному количеству соевого компонента (коагулят, соево-тыквенная композиция): чем его больше, тем больше содержание изофлавоноидов в готовом продукте. Это подтверждено уравнением линейной регрессии при коэффициенте корреляции $R = 0,98$. В разработанных и исследованных пищевых продуктах с добавлением сои в расчете на 100 г продукта общее содержание изофлавоноидов составило: в десерте соево-тыквенном, мг – 44,50, десерте соево-тыквенном жележном – 36,15, крекере с соево-тыквенной окарой – 30,80, напитке «Белковый дальневосточный» – 21,19, напитке «Витаминный дальневосточный» – 12,72.

В соевом зерне сорта Сентябринка и разработанных соесодержащих продуктах идентифицированы три изофлавоноида – генистеин, диадзеин (мажорные) и глицитеин (минорный), присутствующие в виде агликонов, гликозидов (генистин, диадзин и глицитеин) и



1 – диадзин; 2 – глицитин; 4 – генистин; 6 – малонил диадзин; 7 – малонил глицитин; 8 – малонил генистин; 9 – диадзеин; 10 – глицитеин; 11 – генистеин

Рисунок 8. ВЭЖХ-анализ изофлавоноидов водно-метанольного экстракта из крекера с соево-тыквенной окарой

Figure 8. HPLC analysis of isoflavonoids in water-methanol extract of soy-and-pumpkin okara crackers

малонилпроизводных гликозидов. Среди индивидуальных форм изофлавоноидов наибольшее содержание малонил диадзина и малонил генистина как в соевом зерне, так и в соесодержащих пищевых продуктах: от 42,6 (в крекере с соево-тыквенной окарой) до 67,5 % (в соевом зерне).

Ежедневный прием 200 г соево-тыквенного напитка или 100 г крекера с соево-тыквенной окарой, или соево-тыквенного или соево-тыквенного желейного десертов удовлетворяет потребности в изофлавоноидах и может сопровождаться благоприятными биологическими эффектами для организма человека.

Критерии авторства

Е. С. Стаценко – анализ данных литературы по проблеме, разработка дизайна исследования, получение экспериментальных данных, их анализ, формулирование выводов, работа над рукописью – написание глав «Введение», «Объекты и методы исследования», «Результаты и их обсуждение», «Выводы», «Список литературы».

Е. А. Бородин и М. А. Штарберг – анализ данных литературы по проблеме, разработка методов хими-

ческого анализа и проведение анализа, получение экспериментальных данных, их анализ, работа над рукописью – написание глав «Введение», «Объекты и методы исследования», «Результаты и их обсуждение».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

E.S. Statsenko reviewed scientific publications, developed the research design, obtained experimental data, analyzed the results, formulated the conclusions, and wrote the Introduction, Study Objects and Methods, Results and Discussion, Conclusions, and References. E.A. Borodin and M.A. Shtarberg reviewed scientific publications, developed the methods for chemical analysis, obtained the experimental data, analyzed the results, and wrote the Introduction, Study Objects and Methods, Results and Discussion.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Encyclopedia Britannica. Soybean [Internet]. [cited 2021 Dec 20]. Available from: <https://www.britannica.com/plant/soybean>
2. Rizzo G, Baroni L. Soy, soy foods and their role in vegetarian diets. *Nutrients*. 2018;10(1). <https://doi.org/10.3390/nu10010043>
3. Nakai S, Fujita M, Kamei Y. Health promotion effects of soy isoflavones. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*. 2020;66(6):502–507. <https://doi.org/10.3177/jnsv.66.502>
4. Nachvak SM, Moradi S, Anjom-shoae J, Rahmani J, Nasiri M, Maleki V, *et al.* Soy, Soy isoflavones, and protein intake in relation to mortality from all causes, cancers, and cardiovascular diseases: A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2019;119(9):1483–1500. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2019.04.011>
5. Rienks J, Barbaresko J, Nöthlings U. Association of isoflavone biomarkers with risk of chronic disease and mortality: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Nutrition Reviews*. 2017;75(8):616–641. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux021>
6. Tang S, Du Y, Oh C, No J. Effects of soy foods in postmenopausal women: A focus on osteosarcopenia and obesity. *Journal of Obesity and Metabolic Syndrome*. 2020;29(3):180–187. <https://doi.org/10.7570/jomes20006>
7. Hu C, Wong W-T, Wu R, Lai W-F. Biochemistry and use of soybean isoflavones in functional food development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020;60(12):2098–2112. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1630598>
8. Xiao Y, Zhang S, Tong H, Shi S. Comprehensive evaluation of the role of soy and isoflavone supplementation in humans and animals over the past two decades. *Phytotherapy Research*. 2017;32(3):384–394. <https://doi.org/10.1002/ptr.5966>
9. Jung YS, Rha C-S, Baik M-Y, Baek N-I, Kim D-O. A brief history and spectroscopic analysis of soy isoflavones. *Food Science and Biotechnology*. 2020;29(12):1605–1617. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00815-6>
10. Chadha R, Bhalla Y, Jain A, Chadha K, Karan M. Dietary soy isoflavone: A mechanistic insight. *Natural Product Communications*. 2017;12(4):627–634. <https://doi.org/10.1177/1934578x1701200439>

11. Islam A, Islam MS, Uddin MN, Hasan MMI, Akanda MR. The potential health benefits of the isoflavone glycoside genistin. *Archives of Pharmacal Research*. 2020;43(4):395–408. <https://doi.org/10.1007/s12272-020-01233-2>
12. Gomez-Zorita S, Gonzalez-Arceo M, Fernandez-Quintela A, Eseberri I, Trepiana J, Portillo MP. Scientific evidence supporting the beneficial effects of isoflavones on human health. *Nutrients*. 2020;12(12). <https://doi.org/10.3390/nu12123853>
13. Ahsan F, Imran M, Gilani SA, Bashir S, Khan AA, Khalil AA, *et al.* Effects of dietary soy and its constituents on human health: A review. *Biomedical Journal of Scientific and Technical Research*. 2018;12(2):9182–9187. <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2018.12.002239>
14. Xiao Y, Zhang S, Tong H, Shi S. Comprehensive evaluation of the role of soy and isoflavone supplementation in humans and animals over the past two decades. *Phytotherapy Research*. 2017;32(3):384–394. <https://doi.org/10.1002/ptr.5966>
15. Sivonova MK, Kaplan P, Tatarkova Z, Lichardusova L, Dusenka R, Jurecekova J. Androgen receptor and soy isoflavones in prostate cancer (Review). *Molecular and Clinical Oncology*. 2019;10(2):191–204. <https://doi.org/10.3892/mco.2018.1792>
16. Simental-Mendía LE, Gotto AM, Atkin SL, Banach M, Pirro M, Sahebkar A. Effect of soy isoflavone supplementation on plasma lipoprotein(a) concentrations: A meta-analysis. *Journal of Clinical Lipidology*. 2017;12(1):16–24. <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2017.10.004>
17. Wang S, Wang Y, Pan M-H, Ho C-T. Anti-obesity molecular mechanism of soy isoflavones: Weaving the way to new therapeutic. *Food and Function*. 2017;8(11):3831–3846. <https://doi.org/10.1039/c7fo01094j>
18. Jeong D-Y, Ryu MS, Yang H-J, Park S. γ -PGA-Rich Chungkookjang, short-term fermented soybeans: Prevents memory impairment by modulating brain insulin sensitivity, neuro-inflammation, and the gut–microbiome–brain axis. *Foods*. 2021;10(2). <https://doi.org/10.3390/foods10020221>
19. Feoktistova KA, Grigoriev NR, Borodin EA. The influence of the soy-beans riched diet on the cognitive function of rats. *Far East Medical Journal*. 2017;(1):70–74. (In Russ.).
- Феокистова Н. А., Григорьев Н. Р., Бородин Е. А. Влияние рациона с преобладанием сои на когнитивные способности крыс // *Дальневосточный медицинский журнал*. 2017. № 1. С. 70–74.
20. Bhatt PC, Pathak S, Kumar V, Panda BP. Attenuation of neurobehavioral and neurochemical abnormalities in animal model of cognitive deficits of Alzheimer's disease by fermented soybean nanonutraceutical. *Inflammopharmacology*. 2018;26(1):105–118. <https://doi.org/10.1007/s10787-017-0381-9>
21. Smith BN, Dilger RN. Immunomodulatory potential of dietary soybean-derived isoflavones and saponins in pigs. *Journal of Animal Science*. 2018;96(4):1288–1304. <https://doi.org/10.1093/jas/sky036>
22. Dossena S, Marino A. Cellular oxidative stress. *Antioxidants*. 2021;10(3). <https://doi.org/10.3390/antiox10030399>
23. Rizzo G. The antioxidant role of soy and soy foods in human health. *Antioxidants*. 2020;9(7). <https://doi.org/10.3390/antiox9070635>
24. Mazumder AR, Hongsprabhas P. Genistein as antioxidant and antibrowning agents *in vivo* and *in vitro*: A review. *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 2016;82:379–392. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2016.05.023>
25. Asbaghi O, Yaghubi E, Nazarian B, Kelishadi MR, Khadem H, Moodi V, *et al.* The effects of soy supplementation on inflammatory biomarkers: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Cytokine*. 2020;136. <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2020.155282>
26. Wypych TP, Marsland BJ, Ubags NDJ. The impact of diet on immunity and respiratory diseases. *Annals of the American Thoracic Society*. 2017;14(5):S339–S347. <https://doi.org/10.1513/AnnalsATS.201703-255AW>
27. Kim I-S. Current perspectives on the beneficial effects of soybean isoflavones and their metabolites for humans. *Antioxidants*. 2021;10(7). <https://doi.org/10.3390/antiox10071064>
28. Pabich M, Materska M. Biological effect of soy isoflavones in the prevention of civilization diseases. *Nutrients*. 2019;11(7). <https://doi.org/10.3390/nu11071660>
29. Kim I-S, Hwang C-W, Yang W-S, Kim C-H. Current perspectives on the physiological activities of fermented soybean-derived Cheonggukjang. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(11). <https://doi.org/10.3390/ijms22115746>

30. Kim I-S, Kim C-H, Yang W-S. Physiologically active molecules and functional properties of soybeans in human health – A current perspective. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(8). <https://doi.org/10.3390/ijms22084054>
31. 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>
32. Determination of the content of phospholipids [Internet]. [cited 2021 Dec 20]. Available from: <https://www.chem21.info/info/1665386>
Определение содержания фосфолипидов. URL: <https://www.chem21.info/info/1665386> (дата обращения: 20.12.2021).
33. Chemist's Handbook 21 [Internet]. [cited 2021 Dec 20]. Available from: <https://www.chem21.info/page/107228006230103096127033172128220092250234055138>
- Справочник химика 21. URL: <https://www.chem21.info/page/107228006230103096127033172128220092250234055138> (дата обращения: 20.12.2021).
34. Statsenko ES, Litvinenko OV, Korneva NYu, Pokotilo OV. Method of producing functional purpose desserts. Russia patent RU 2728374C1. 2020.
Способ получения десертов функционального назначения: пат. 2728374C1 Рос. Федерация. № 2019135583 / Стаценко Е. С. [и др.]; заявл. 05.11.2019; опубл. 29.07.2020; Бюл. № 22. 9 с.
35. Statsenko ES, Litvinenko OV, Korneva NYu, Pokotilo OV, Shtarberg MA, Borodin EA. Development of production process of functional food on the basis of soybeans and pumpkin. *Food Industry*. 2021;(7):41–45. (In Russ.). <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.7.7.011>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2358>
<https://elibrary.ru/OZYTYK>

Оригинальная статья
<https://fppt.ru>

Исследование антиоксидантных свойств тритерпеноидов в составе жиросодержащих продуктов



Е. В. Аверьянова^{1,*}, М. Н. Школьников^{1,2}, О. В. Чугунова²

¹ Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», Бийск, Россия

² Уральский государственный экономический университет , Екатеринбург, Россия

Поступила в редакцию: 04.04.2022

Принята после рецензирования: 24.04.2022

Принята в печать: 04.05.2022

*Е. В. Аверьянова: averianova.ev@bti.secna.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>

М. Н. Школьников: <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

О. В. Чугунова: <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

© Е. В. Аверьянова, М. Н. Школьников, О. В. Чугунова, 2022



Аннотация.

Растительные антиоксиданты способны подавлять процессы окислительной порчи в жиросодержащих пищевых продуктах. Это определило цель исследования антиоксидантных свойств *in vivo* тритерпенового спирта бетулина, выделенного из бересты березы *Betula pendula* Roth., в составе жиросодержащих продуктов на примере майонеза.

Объектами исследования являлись образцы майонеза: опытный – с внесением 0,2 %-ого раствора бетулина в растительном масле, контрольный – без добавления бетулина. Для исследования показателей качества образцов применяли общепринятые и стандартные методы. Антиоксидантную активность определяли расчетным методом как величину, обратную значению перекисного числа. Физиолого-биохимические исследования антиоксидантной активности образцов проводились *in vivo* на сертифицированных крысах линии Wistar.

Добавление бетулина снижает окислительную порчу майонеза: значение кислотного числа составило 0,013 и 0,033 г/дм³ в опытном и контрольном образцах соответственно. По истечении 60 суток хранения произошло его увеличение в 1,4 и 2,3 раза для опытного и контрольного образцов соответственно. Значение перекисного числа в 8–10 раз выше в контрольном образце на протяжении срока хранения, чем в опытном. Антиоксидантная активность свежеработанного опытного образца составила 5,00 и 0,50 ед. по истечении 60 суток хранения, тогда как антиоксидантная активность контрольного – 0,50 и 0,06 ед. соответственно. Установлено, что в опытном образце бетулин замедлил скорость роста колоний микроорганизмов. Антиоксидантные свойства опытных образцов майонеза доказаны *in vivo* на модели острого токсического гепатита крыс.

Употребление майонеза с бетулином способствует укреплению антиоксидантной защиты организма. Это выражается в положительном влиянии на активность антиокислительных ферментов, которые принимают участие в разрушении органических перекисей, особенно перекисей липидов, нарушающих строение клеточных мембран.

Ключевые слова. Бетулин, майонез, береза, антиоксидант, антиоксидантная активность, кислотное число, перекисное число

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) (мнемокод 0611-2020-013; номер темы FZMM-2020-0013, ГЗ № 075-00316-20-01).

Для цитирования: Аверьянова Е. В., Школьников М. Н., Чугунова О. В. Исследование антиоксидантных свойств тритерпеноидов в составе жиросодержащих продуктов // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 233–243. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2358>

Antioxidant Properties of Triterpenoids in Fat-Containing Products

Elena V. Averyanova^{1,*}, Marina N. Shkolnikova^{1,2}, Olga V. Chugunova²

¹ Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University,
Biysk, Russia

² Ural State University of Economics , Yekaterinburg, Russia

Received: 04.04.2022
Revised: 24.04.2022
Accepted: 04.05.2022

*Elena V. Averyanova: averianova.ev@bti.sechna.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2144-1238>
Marina N. Shkolnikova: <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>
Olga V. Chugunova: <https://orcid.org/0000-0002-7039-4047>

© E.V. Averyanova, M.N. Shkolnikova, O.V. Chugunova, 2022



Abstract.

Natural antioxidants of plant origin include chemical compounds, extracts, and essential oils isolated from plant raw materials. They are able to inhibit oxidative spoilage in fat-containing foods. The present research featured the antioxidant and *in vivo* properties of triterpene alcohol betulin, isolated from the bark of *Betula pendula* Roth., in fat-containing products, e.g., mayonnaise.

Experimental samples of mayonnaise were prepared using the Provencal mayonnaise technology: 6 of 0.2% betulin solution was introduced in vegetable oil during emulsification. The control sample contained no betulin. The experiment relied on standard methods to study the sensory, physicochemical, and microbiological properties of mayonnaise samples. Antioxidant activity was calculated as the inverse of the value of the peroxide number. The antioxidant and hepatoprotective properties underwent physiological and biochemical *in vivo* tests on certified white male Wistar rats.

The research resulted in a new formulation of mayonnaise with triterpenoid betulin, which proved to be a good plant antioxidant as it reduced the values of acid and peroxide numbers. In freshly processed samples, the acid number was 0.013 g/dm³ in the experimental sample and 0.033 g/dm³ in the control. After 60 days of storage, it increased by 1.4 and 2.3 times, respectively. The peroxide number was 8–10 times higher in the control sample during the storage period. Betulin inhibited the oxidation of triacylglycerides. The antioxidant activity of the fresh prototype was 5.00 units and 0.50 units after 60 days. In the control, it was 0.50 and 0.06 units, respectively. In the experimental sample, betulin slowed down the growth rate of microorganisms. In the control sample, the yeast content increased 1.6 times, and mold exceeded the permissible value by 20%.

The antioxidant properties of experimental mayonnaise were proven *in vivo* on a model of acute toxic hepatitis in rats. Based on biochemical studies of animal blood plasma, the use of mayonnaise with betulin improved the antioxidant protection. Betulin had a positive effect on antioxidant enzymes that destroy organic peroxides, e.g., lipid peroxides, which violate the structure of cell membranes.

Keywords. Betulin, mayonnaise, birch, antioxidant, antioxidant activity, acid number, peroxide number

Funding. The research was ordered by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)  (Project No. 075-00316-20-01; FZMMM-2020-0013; mnemonic 0611-2020-013).

For citation: 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>

Введение

Майонез – эмульсионный масложировой продукт, предназначенный для улучшения вкуса и усвояемости основных блюд. Является привычной и популярной приправой, используемой в рационе большинством россиян. Однако майонез не относится к продуктам «здорового питания» из-за высокого

содержания жировой составляющей, соли, сахара и пищевых добавок (консерванты, антиоксиданты, стабилизаторы консистенции и др.) синтетического происхождения, к которым у большинства потребителей сформировалось негативное отношение. Это способствовало увеличению спроса на пищевые продукты с натуральными и легко узнаваемыми

пищевыми добавками, с «чистой» маркировкой, а также обусловило перспективность разработки майонеза с функциональной направленностью [1].

В составе майонеза в эмульгированной форме содержатся незаменимые пищевые ингредиенты – ненасыщенные жирные кислоты [2]. Однако из-за высокой способности к окислению может нарушаться их химическая стабильность. Это приводит к образованию нежелательных компонентов, таких как свободные радикалы, перекисные и карбонильные соединения, появлению неприятных запаха (прогорклый) и привкусов, снижению пищевой ценности и срока годности майонеза.

Доказано, что окислению липидов в майонезе препятствуют пищевые добавки – антиоксиданты (антиокислители), – вносимые в составе экстрактов или индивидуальных химических соединений [3–5]: – синтетические фенольные соединения – бутилгидроксанизол (БНА, Е320), бутилгидрокситолуол (БНТ, Е321), пропилгаллат (Е310) и трет-бутилгидрохинон (ТВНҚ, Е319) – являются широко используемыми пищевыми антиоксидантами из-за своей низкой стоимости, высокой эффективности и доступности. Их максимальное содержание регулируется ТР ТС 029/2011. Например, Е320 – 200 мг/кг (на жир продукта). Имеются сведения о прооксидантном действии пропилгаллата в зависимости от его содержания в продукте [5]; – этилендиаминтетраацетат кальция-нитрат (ЭДТА, Е385, норма внесения в майонез и майонезные соусы по ТР ТС 029/2011 – 75 мг/кг), лимонная кислота (Е330) и др.; – натуральные антиоксиданты: индивидуальные соединения – аскорбиновая кислота (ascorbic acid, Е300, витамин С), галловая кислота, α -токоферол (Е307, витамин Е) и др., а также экстракты различных частей растений.

Антиоксидантная активность свойственна и терпенам. Например, тритерпеновый спирт бетулин предложено использовать в составе таких жиросодержащих пищевых продуктах, как творог, сливочное масло и его растительный аналог – спред, йогурт и хлебобулочные изделия, в том числе в функциональных и специализированных продуктах [6–12].

Данные факты послужили предпосылкой для выбора бетулина в качестве функционального пищевого ингредиента в рецептуре майонеза. Его хорошая растворимость в масле и проявление антиоксидантной активности позволяют рассматривать бетулин как эффективный и безопасный консервант, способствующий защите и сохранению здоровья человека. В исследовании W. Zhang и др. приведено теоретическое обоснование безопасности и эффективности

бетулина как консерванта. Также рассмотрен механизм его консервирующего действия, основанный на способности бетулина улавливать свободные радикалы [13].

Бетулин и его производные обладают доказанной физиологической активностью при лечении болезней, вызванных нарушением обмена веществ, инфекционных и сердечнососудистых заболеваний, неврологических расстройств и др. Бетулин имеет структурное сходство с компонентами клеточных мембран человека, что свидетельствует о безопасности его употребления в составе продуктов питания. Он не токсичен, не вызывает аллергических реакций, не обладает тератогенным, кожно-раздражающим, канцерогенным, кумулятивным и мутагенным действиями и не влияет на развитие плаценты [14]. В чистом виде и в составе экстракта бересты березы (*Betula pendula* Roth.) бетулин препятствует образованию бляшек на стенках сосудов за счет способности понижать уровень «вредного» холестерина в крови, мягко снижает уровень глюкозы в крови, ингибируя активность α -глюкозидазы, проявляет иммуномодулирующую, желчегонную и гепатопротекторную активности [15]. Исследования физиологической активности бетулина и его производных свидетельствуют о повышении общей резистентности организма, восстановлении функций клеток печени и снижении показателей общей интоксикации. Диникотинат бетулина проявляет выраженные антиоксидантные свойства, снижая интенсивность окисления липидов в 1,8 раза, и способствует поддержанию уровня щелочной фосфатазы и билирубина в плазме крови [16]. Морфологические исследования действия амидов окисленной формы бетулина – бетулоновой кислоты – показали их высокую активность против острого токсического гепатита, а их прием уменьшает нефротоксическое действие [17].

Целью работы является исследование антиоксидантных свойств *in vivo* тритерпенового спирта бетулина, выделенного из бересты березы *Betula pendula* Roth., в составе жиросодержащих продуктов на примере майонеза.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись экспериментальные образцы майонеза, приготовленные из традиционных ингредиентов по классической технологии майонеза «Провансаль» с внесением в опытный образец 0,2 %-ого раствора бетулина в растительном масле в количестве 6 % на этапе эмульгирования рецептурных компонентов. Контролем являлся образец майонеза без бетулина, приготовленный аналогичным способом. Бетулин получен по методу, заявленному в [18], спиртовой экстракцией предварительно активированной бересты.

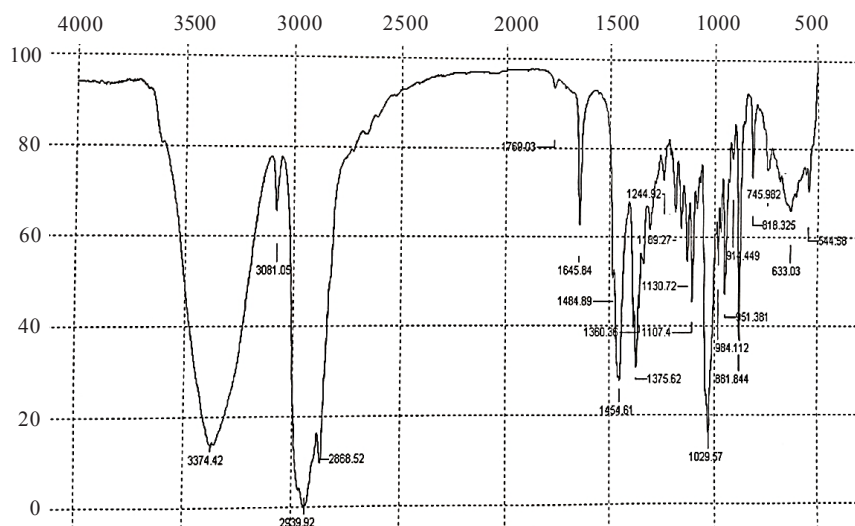


Рисунок 1. ИК-спектр бетулина

Figure 1. IR spectrum of betulin

Коэффициент извлечения составил 97 %; $T_{пл.} = 259–260\text{ }^{\circ}\text{C}$ (из этилового спирта). Подлинность препарата подтверждена данными ИК-спектроскопии (рис. 1) и результатами элементного анализа: найдено: С – 81,2 %, Н – 11,5 %, $\text{C}_{31}\text{H}_{50}\text{O}_2$; вычислено: С – 81,4 %, Н – 11,3 %.

В течение срока хранения образцов майонеза в стандартном режиме при $t = 2 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в холодильной камере в течение 60 суток в герметичной стерильной стеклянной таре стандартными методами по ГОСТ 31762-2012 определяли внешний вид, консистенцию, цвет, запах и вкус, массовую долю влаги (ускоренным методом), жира (методом экстракции смесью растворителей) и яичных продуктов в пересчете на сухой желток, кислотность, pH, стойкость эмульсии, перекисное число и эффективную вязкость. Показатели микробиологической безопасности устанавливал по ГОСТ 10444.12-2013, ГОСТ 31747-2012 и ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002). Антиоксидантную активность (ед. АОА) образцов майонеза определяли расчетным методом как величину, обратную значению перекисного числа по [19, 20]. Значение перекисного числа определено йодометрическим методом по ГОСТ 31762-2012.

Физиолого-биохимические экспериментальные исследования антиоксидантной активности образцов майонеза проводились *in vivo* в зимне-весенний период на сертифицированных белых крысах мужского пола линии Wistar массой 210–265 г, предоставленных Институтом цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск). Эксперименты проводились в соответствии с «Правилами лабораторной практики в Российской Федерации» (приказ МЗ РФ № 708н от 23.08.2010 г.).

Из подопытных крыс выделены для наблюдения две контрольные (контрольная группа 1 – интактные животные, контрольная группа 2 – животные с инициированным CCl_4 токсическим гепатитом) и опытная группы (животные с инициированным CCl_4 токсическим гепатитом) по 10 животных в каждой. Животные всех групп, находясь в стандартных условиях содержания и при естественном световом режиме, получали общевиварный рацион и воду *ad libitum*. Дополнительно в общевиварный рацион животных опытной группы введен майонез с добавлением тритерпеноида бетулина.

Модель токсического гепатита инициирована внутрижелудочным введением животным 1 мл 25 %-ого масляного раствора CCl_4 в течение шести суток. Экспериментальные образцы майонеза (с бетулином и без) вводили один раз в сутки перорально в дозировке 1 мл в течение 21 дня после формирования модельной патологии. На 28-й день под эфирным наркозом путем декапитации осуществляли эвтаназию экспериментальных животных с последующим забором крови для исследований.

В плазме крови животных определяли показатели оксидантного статуса: общую оксидантную активность и содержание тиобарбитурчувствительных продуктов, в том числе малонового диальдегида. Антиоксидантный статус оценивали по интегративному показателю общей антиоксидантной активности и показателям активности отдельных ферментов: каталазы и супероксиддисмутазы по [21].

Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований проводилась с использованием программы Statistica 6.1 с вычислением значений средней величины (М) и

Таблица 1. Примеры использования натуральных антиоксидантов в майонезе

Table 1. Natural antioxidants in mayonnaise

Антиоксидант/ консервант (концентрация)	Эффективность действия	Источник
Индивидуальные соединения		
Галловая кислота	Проявляет антиоксидантную активность благодаря способности восстанавливать ионы металлов до их активной формы. Например, Fe^{3+} до Fe^{2+} . Способствует уменьшению размера жировых капель в прямой эмульсии. Это приводит к увеличению скорости перекисного окисления липидов, что показано на примере рыбьего жира в составе майонеза	[5]
Аскорбиновая кислота	Проявляет антиоксидантное действие, обрывая цепные радикальные реакции посредством переноса электронов, может действовать как поглотитель O_2 . В смеси с лимонной кислотой/цитратом натрия и пропилгаллатом проявляет консервирующее действие, увеличивая срок годности майонеза до 49 суток при температуре 25 °С. Катализирует распад гидропероксидов липидов (липид-ООН) путем восстановления Fe^{3+} до Fe^{2+} при комнатной температуре	[22]
Токоферолы (α , β , γ и δ)	Антиоксидантный эффект токоферола в майонезе зависит от его концентрации и растворимости в воде или в масле: токоферол, растворимый в воде (Grindox 1032) в умеренной концентрации, обеспечивает максимальный антиоксидантный эффект как в отношении пероксидов, так и образующихся летучих веществ. В высоких концентрациях (более 700 мг/кг, что соответствует 140 мг/кг токоферола) Grindox 1032 проявляет прооксидантный эффект. Токоферол в высоких концентрациях, растворимый в масле (Тосо 70), оказывает прооксидантное действие	[23, 24]
Ликопин (50 мг/кг)	В составе майонеза действует как антиоксидант, препятствуя автоокислению липидов и замедляя развитие неприятных вкуса и запаха. Способствует сохранению цвета продукта	[25]
Растительные экстракты		
Экстракт розмарина обыкновенного (<i>Rosmarinus officinalis</i>) (0,03 %)	Подавляет процессы фотоокисления липидов подсолнечного масла в составе майонеза, что приводит к понижению содержания летучих соединений. Оказывает хелатирующее действие на железо	[26]
Горчичная паста (0,75–1,5 %)	Повышает стабильность майонеза, снижает перекисное число и прогорклость майонеза. Действует как эмульгатор	[27]
Экстракт пажитника (<i>Trigonella foenumgraecum</i>) (200, 500 и 1500 мг/кг)	В дозировке 500 мг/кг показывает аналогичный антиоксидантный эффект, что и синтетический антиоксидант ТВНҚ (200 мг/кг), но более эффективен, чем ВНТ (200 мг/кг). В дозировке 1500 мг/кг его эффективность выше, чем у синтетических антиоксидантов	[5]
Экстракт из листьев падуба парагвайского (<i>Ilex paraguariensis</i>) (138,0 mgGAE/g powder)	Проявляет заметное увеличение стабильности к окислению образцов майонеза. Время окисления, по сравнению с контрольным образцом (без внесения экстракта), увеличилось в 6 раз. Антиоксидантная активность пропорциональна содержанию полифенолов, причем инкапсулированные экстракты обладают более высоким потенциалом	[1]
Экстракт семян черного риса (1000 мг/кг)	В концентрации 1000 мг/кг эффективно повышает окислительную стабильность майонезов. Однако это приводит к изменению цвета продукта вследствие реакции Майяра и окисления антоцианина до продуктов коричневого цвета	[28]
Экстракт имбиря (<i>Zingiber officinale</i>) порошок (1,0 и 1,25 %)	В концентрациях от 1,00 до 1,25 % предотвращает образование продуктов первичного и вторичного окисления, увеличивая стабильность образцов майонеза при хранении до 20 недель. Не оказывает влияния на реологические свойства майонеза, улучшает вкус и аромат в течение срока хранения	[29]
Экстракт виноградных косточек (<i>Vitis vinifera</i>) (0,05 %)	Обеспечивает высокую защиту от окисления при хранении в течение 8 недель	[30]
Экстракты пижмы (<i>Tanacetum vulgare</i>)	Повышает окислительную стабильность майонеза за счет содержания β -гуйона (86 %) и фенольных компонентов (производные лютеолина, апигенина и хлорогеновой кислоты)	[31]

Окончание табл. 1

Антиоксидант/ консервант (концентрация)	Эффективность действия	Источник
Экстракт шелухи кукурузной пурпурной (0,4 г/кг)	Антиоксидантный эффект майонеза, содержащего антоцианы шелухи пурпурной кукурузной, был выше, чем у майонеза с синтетическими антиоксидантами ВНТ и EDTA. Образцы майонеза с антоцианами имели пурпурный цвет. Это было оценено потребителями как положительный момент, т. к. необычный цвет связывают с натуральностью продукта	[32]
Экстракт куркумы (<i>Curcuma longa</i>) (0,002–0,009 %)	Добавление в концентрации 0,002–0,009 % приводит к увеличению устойчивости жировой фазы соуса к окислению и способствует продлению сроков годности образцов майонеза. При содержании менее 0,002 % антиоксидантный эффект не наблюдается, при концентрации более 0,009 % наблюдается выраженное прооксидантное действие	[33]
Экстракт зеленого чая <i>Camellia sinensis</i> (0,025–0,75 %)	В количестве 0,025–0,25 %масс. в образце майонеза эффективно замедляет процесс окислительной порчи с сохранением традиционных органолептических показателей. Перекисное число жировой фазы, выделенной из продукта, для контрольного образца майонеза за 30 суток хранения при комнатной температуре увеличилось в 22 раза, в образцах с добавкой экстракта зеленого чая – в 4–9 раз в зависимости от дозировки. Увеличение дозировки экстракта зеленого чая до 0,5–0,75 %масс. приводит к резкому ухудшению органолептических свойств продукта. При этом высокие антиоксидантные свойства добавки сохраняются	[34]
Экстракт из листьев мяты перечной (<i>Mentha piperita</i>) и крапивы двудомной (<i>Urtica dioica</i>)	Способствует увеличению содержания антиоксидантов и минеральных веществ в образцах майонеза. Также образец длительное время сохраняет свои реологические свойства и не расслаивается	[35]
Эфирные масла		
Семена индийского тмина (<i>Carum copticum</i>) (0,030 и 0,045 %)	В концентрации от 0,030 до 0,045 % проявляет антиоксидантную активность, аналогичную синтетическим антиоксидантам (ВНА и ВНТ), за счет содержания в эфирном масле тимола, который придает образцам характерный запах	[31, 36]
Цветочных почек гвоздики (<i>Syzygium aromaticum</i>)	Образцы майонеза устойчивы к окислению в течение 6 месяцев хранения при комнатной температуре без изменения органолептических и физико-химических показателей за счет содержащегося в эфирном масле эвгенола	[37]

стандартного отклонения (m). При определении статистической достоверности использовались критерии Shapiro-Wilk, Mann-Whitney и t-критерий Стьюдента.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе обобщены сведения по влиянию растительных антиоксидантов на процесс окислительной порчи майонеза (табл. 1).

Согласно данным таблицы 1 эффективность природных антиоксидантов в составе майонезов обусловлена антимикробным действием фенольных веществ и компонентов эфирных масел, что обеспечивает их консервирующий эффект. Как было сказано выше, терпенам присуща антиоксидантная активность, что доказано в эксперименте при исследовании влияния бетулина на качество и окислительную стабильность образцов майонеза в течение срока хранения – 60 суток при $t = 2 \pm 1$ °C.

В ходе дегустации установлено, что цвет контрольного образца равномерный светло-жел-

тый, опытного – равномерный кремовый; запах контрольного и опытного образцов – приятный, свойственный майонезу высокого качества с ощутимыми тонами яичного желтка и горчицы; вкус образцов – приятный, нежный, свойственный майонезу высокого качества, в меру острый, с легким привкусом горчицы; консистенция образцов однородная, сметанообразная. Результаты определения физико-химических показателей качества и антиоксидантной активности образцов представлены в таблице 2

Как видно из данных таблицы 2, внесение функционального пищевого ингредиента бетулина в опытный образец майонеза не привело к снижению или отклонению от допустимых ГОСТ 31762-2012 значений. Наблюдается снижение значений кислотного числа: в свежеработанных образцах значение кислотного числа составило для опытного 0,013 г/дм³, для контрольного – 0,033 г/дм³; по истечении 60 суток хранения произошло его увеличение в 1,4 и 2,3 раза соответственно. Контрольный образец имеет более высокое значение

Таблица 2. Физико-химические свойства образцов майонеза в течение срока хранения ($n = 5$, $M \pm m$)Table 2. Physical and chemical properties of mayonnaise samples during shelf life ($n = 5$, $M \pm m$)

Наименование показателя	Норма по ГОСТ 31761-2012	Контрольный образец		Опытный образец	
		Продолжительность хранения, сутки			
		0	60	0	60
Массовая доля влаги, %	*	25,2 ± 0,7	26,7 ± 0,7	23,0 ± 0,7	23,5 ± 0,7
pH, ед.	3,5–5,0**	3,8 ± 0,1	4,3 ± 0,1	3,4 ± 0,1	3,6 ± 0,1
Кислотность, в перерасчете на уксусную кислоту, г/дм³	Не более 1,0	0,032 ± 0,001	0,074 ± 0,001	0,012 ± 0,001	0,017 ± 0,001
Массовая доля жира, %	Не менее 50,0	64,0 ± 1,0	64,0 ± 1,0	64,0 ± 1,0	64,0 ± 1,0
Массовая доля яичных продуктов, %	Не менее 1,0	11,1 ± 0,3	11,1 ± 0,3	11,1 ± 0,3	11,1 ± 0,3
Стойкость эмульсии, % не разрушенной эмульсии	Не менее 98	99,0 ± 0,5	96,0 ± 0,5	99,0 ± 0,5	98,0 ± 0,5
Эффективная вязкость при температуре 20 °С, Па×с (при скорости сдвига D _г = 3 с ⁻¹)	Не менее 5,0**	6,5 ± 0,5	6,3 ± 0,5	6,5 ± 0,5	6,5 ± 0,5
Перекисное число, мэкв/кг	Не более 10,0***	2,6 ± 0,1	16,7 ± 0,1	0,3 ± 0,1	2,1 ± 0,1
Антиоксидантная активность, ед.	****	0,55 ± 0,02	0,05 ± 0,02	5,20 ± 0,02	0,60 ± 0,02

* в соответствии с техническим документом на продукт конкретного наименования; ** значения, рекомендуемые ГОСТ 31761-2012;

*** по ТР ТС 024/2011; **** не регламентируется.

* based on the technical document for the product; ** values recommended by State Standard 31761-2012; *** TR CU 024/2011;

**** not regulated.

перекисного числа как изначально, так и по истечении 60 суток хранения. Это свидетельствует о высокой активности бетулина в составе опытного образца. Перекисное число говорит о накоплении продуктов окисления, происходящее с течением времени и ускоряющееся в присутствии кислорода, под воздействием света и высокой температуры. Исходя из данных таблицы 2, можно сделать вывод о том, что при большом значении перекисного числа значение антиоксидантной активности будет уменьшаться до 2,60 мэкв/кг у контрольного образца и до 0,21 мэкв/кг у опытного, по истечении 60 суток – 16,7 и 2,14 мэкв/кг соответственно. Значение антиоксидантной активности опытного образца в 10 раз выше, чем в контрольном, как в начале хранения, так и по истечении 60 суток. Спустя 60 суток у опытного образца значение данного показателя приблизилось к значению свежеприготовленного контрольного образца майонеза без бетулина.

Микробиологические показатели, являющиеся основными показателями безопасности пищевой масложировой продукции, определены в образцах майонеза на соответствие требованиям ТР ТС 024/2011 (табл. 3).

Установлено отсутствие патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонелл и бактерий группы кишечной палочки, в контрольном и опытном образцах майонеза в течение срока хранения. Количество дрожжей составило в свежеприготовленном контрольном образце $2,5 \times 10^2$ и $4,0 \times 10^2$ КОЕ/г по истечении 60 суток, в опытном – $1,0 \times 10^2$ КОЕ/г в течение всего срока хранения.

Плесени в свежеприготовленных образцах майонеза не обнаружены. По истечении срока хранения плесени не обнаружены в опытном образце, тогда как в контрольном их значение составило 60 КОЕ/г.

Обобщая полученные в процессе хранения результаты по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям образцов майонеза можно сделать следующий вывод относительно срока хранения майонеза, обогащенного бетулином. При выбранном стандартном режиме хранения ($t = 2 \pm 1$ °С) в герметичной стерильной стеклянной таре образец показал высокую стабильность в течение 60 суток без признаков микробиологической порчи и утраты качества. В контрольном образце обнаружена плесень в количестве, превышающем безопасное значение, а также на 60 % увеличилось содержание дрожжей по сравнению с исходным значением. Таким образом, можно сделать вывод о положительном влиянии бетулина на сохраняемость майонеза за счет устойчивости по отношению к микроорганизмам и окислительным процессам, способствующим накоплению в жирах свободных жирных кислот и продуктов их превращения, в том числе кетонов и альдегидов. Доказано образование интермедиатов, способствующих порче жиродержащих продуктов питания и наносящих вред здоровью человека [38]. Представленные факты позволяют рассматривать бетулин как натуральный консервант для жиродержащих продуктов.

Доказано, что бетулин подавляет процессы перекисного окисления липидов, в результате

Таблица 3. Микробиологические показатели образцов майонеза в течение срока хранения ($n = 5$, $M \pm m$)Table 3. Microbiological parameters of mayonnaise samples during shelf life ($n = 5$, $M \pm m$)

Наименование показателя	Значение по ТР ТС 024/2011	Контрольный образец		Опытный образец	
		Продолжительность хранения, суток			
		0	60	0	60
Бактерии группы кишечной палочки, в 0,1 г продукта	Не допускается	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г продукта	Не допускается	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Дрожжи, КОЕ/г	Не более 5,0×10 ²	2,5×10 ²	4,0×10 ²	1,0×10 ²	1,0×10 ²
Плесени, КОЕ/г	Не более 50	Не обнаружено	60	Не обнаружено	Не обнаружено

которых образуются активные формы кислорода. Мишенями для их атаки являются ненасыщенные жирные кислоты и фосфолипиды в составе цитоплазматических мембран [39].

Возникающий на пике воспалительной реакции типичный окислительный стресс характеризуется резким повышением активности прооксидантной системы (тиобарбитурчувствительные продукты и общая оксидантная активность) с последующей активацией ферментов антиоксидантной защиты и интегративного показателя общей антиоксидантной активности. Данная модель позволяет оценить стимулированное свободно-радикальное окисление как взаимодействие прооксидантного и антиоксидантного процессов. При исследовании антиоксидантной активности майонеза с бетулином в экспериментах *in vivo* получены результаты, представленные в таблице 4.

На модели острого токсического гепатита установлено ингибирование окисления липидов печени крыс опытной группы, получавших майонез с бетулином. Об этом свидетельствуют данные по увеличению активности антирадикального фермента супероксиддисмутазы. Падение показателя общей антиоксидантной активности свидетельствует о стимулировании неферментативных факторов

антиоксидантной активности при употреблении майонеза. Падение обусловлено присутствием в нем бетулина.

Согласно литературным данным ингибирующее действие бетулина связано с вовлечением спиртовых групп в процесс окисления, где происходит обмен активных радикалов на оксипероксильные радикалы, в структуре которых существует внутримолекулярная водородная связь. Это снижает их активность в реакциях роста цепи свободно-радикальных процессов. В ингибирование процесса перекисного окисления липидов наибольший вклад вносит первичный гидроксил при C_{28} молекулы бетулина, что составляет более половины эффективности всей структуры бетулина в целом. Учитывая характер процессов свободно-радикального окисления, моделируемых *in vivo*, можно сделать вывод о том, что майонез с бетулином способен подавлять процесс перекисидации посредством прямой нейтрализации свободных радикалов, т. е. выступать в качестве их «ловушек».

Выводы

Изучена возможность внесения в майонез тритерпенового спирта бетулина, выделенного из бересты березы *Betula pendula* Roth. Доказана его эффективность как антиоксиданта, способствующего

Таблица 4. Влияние майонеза с бетулином на показатели окислительного стресса крови крыс ($M \pm m$, $n = 10$)Table 4. Effect of mayonnaise with betulin on oxidative stress in rat blood ($M \pm m$, $n = 10$)

Показатель крови	Контрольная 1 (интактная)	Контрольная 2 (с CCl_4 – гепатитом)	Опытная (CCl_4 – гепатит + майонез с бетулином)
Общая оксидантная активность, %	$28,7 \pm 1,3$	$45,4 \pm 1,6^*$	$23,1 \pm 1,8^*$
Общая антиоксидантная активность, %	$56,7 \pm 2,2$	$67,3 \pm 1,3^*$	$58,2 \pm 2,1$
Тиобарбитурчувствительные продукты, мкмоль	$2,8 \pm 0,2$	$5,7 \pm 0,3^*$	$2,6 \pm 0,4$
Каталаза, %	$15,4 \pm 1,2$	$26,3 \pm 1,6^*$	$21,7 \pm 0,3^*$
Супероксиддисмутаза, %	$12,9 \pm 0,8$	$26,9 \pm 1,1^*$	$29,2 \pm 0,5^*$

* $P \leq 0,05$ при сравнении с контрольной (интактной) группой 1.

* $P \leq 0.05$ compared with control 1.

увеличению срока хранения майонеза за счет снижения значений кислотного и перекисного чисел. В свежеработанных образцах значение кислотного числа составило 0,013 и 0,033 г/дм³ для опытного и контрольного образцов соответственно. По истечении 60 суток хранения произошло его увеличение в 1,4 и 2,3 раза соответственно. Значение перекисного числа в 8–10 раз выше в контрольном образце на протяжении всего срока хранения по сравнению с опытным. Бетулин способствовал замедлению процессов окисления триацилглицеридов: антиоксидантная активность опытного образца составила 5,00 ед. АОА в начале срока хранения и 0,50 ед. АОА по истечении 60 суток, контрольного – 0,50 и 0,06 ед. АОА соответственно. В опытном образце бетулин замедляет скорость роста колоний микроорганизмов, тогда как в контрольном образце содержание дрожжей увеличилось в 1,6 раза, а плесеней превысило допустимое значение на 20 %. Функциональные свойства опытных образцов майонеза с бетулином доказаны в экспериментах *in vivo* на модели острого токсического гепатита крыс. На основании биохимических исследований плазмы крови животных установлено, что употребление майонеза с бетулином способствует укреплению антиоксидантной защиты организма, выражающейся в положительном влиянии на активность антиокислительных ферментов, которые

принимают участие в разрушении органических перекисей, особенно перекисей липидов, нарушающих строение клеточных мембран.

Критерии авторства

Е. В. Аверьянова – руководство исследованием, описание полученных экспериментальных данных и написание рукописи. М. Н. Школьников – разработка концепции и консультация в ходе эксперимента, редактирование рукописи. О. В. Чугунова – обработка и анализ полученных данных, литературный обзор, подготовка и оформление статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

E.V. Averyanova supervised the research, described the experimental data, and wrote the manuscript. M.N. Shkolnikova developed the concept, provided consultations, and proofread the manuscript. O.V. Chugunova processed and analyzed the obtained data, wrote the review, and formatted the manuscript.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Fenoglio D, Soto-Madrid D, Alarcón Moyano J, Ferrario M, Guerrero S, Matiacevich S. Active food additive based on encapsulated yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extract: effect of drying methods on the oxidative stability of a real food matrix (mayonnaise). *Journal of Food Science and Technology*. 2021;58(4):1574–1584. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04669-y>
2. McClements DJ, Decker E. Interfacial antioxidants: A review of natural and synthetic emulsifiers and coemulsifiers that can inhibit lipid oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018;66(1):20–25. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b05066>
3. Yang S, Verhoeff AA, Merckx DWH, van Duynhoven JPM, Hohlbein J. Quantitative spatiotemporal mapping of lipid and protein oxidation in mayonnaise. *Antioxidants*. 2020;9(12). <https://doi.org/10.3390/antiox9121278>
4. Decker EA, McClements DJ, Bourlieu-Lacanal C, Durand E, Figueroa-Espinoza MC, Lecomte J, *et al.* Hurdles in predicting antioxidant efficacy in oil-in-water emulsions. *Trends in Food Science and Technology*. 2017;67:183–194. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.001>
5. 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>
6. Reshetnik EI, Babukhadiya KR, Derzhapolskaya YuI, Gribanova SL. Study of enriching components that provide functional and technological properties of albumin cottage cheese. *ESSUTM Bulletin*. 2020;78(3):21–26. (In Russ.).
- Изучение обогащающих компонентов, обеспечивающих функционально-технологические свойства альбуминного творога / Е. И. Решетник [и др.] // Вестник ВСГУТУ. 2020. Т. 78. № 3. С. 21–25.
7. Yuferova AA, Sudareva BA, Dubnyak YaV. The use of natural antioxidants in dairy technology. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex-Healthy Food Products*. 2021;(2):98–107. (In Russ.).
- Юферова А. А., Сударева М. А., Дубняк Я. В. Применение природных антиоксидантов в технологии молочных продуктов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 2. С. 98–107.
8. Sheveleva TL. Nonconventional vegetable raw materials in bakery recipes. *Bulletin of KSAU*. 2021;167(2):143–150. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-2-143-150>

9. Zobkova ZS, Fursova TP, Kotenkova EA, Zenina DV. Impact of yogurt enriched with protein, betulin and bioflavonoids on growth and biochemical indices of blood in experimental animals. *Storage and Processing of Farm Products*. 2018;(4):118–125. (In Russ.).

Влияние йогурта обогащенного белком, бетулином и биофлавоноидами на рост и биохимические показатели крови экспериментальных животных / З. С. Зобкова [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018. № 4. С. 118–125.

10. Simonenkova AP, Mamaev AV, Masalov VN, Luneva ON, Demina EN, Sergeeva EYu. Evaluation of the quality and safety of butter with an antioxidant complex of natural origin (birch bark extract and Aloe Vera). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;640(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/3/032004>

11. Krolevets AA, Myachikova NI, Grebennik MM, Andreenkov VS. Nanostructured betulin in fermented dairy functional foods. *Food Products Commodity Expert*. 2017;(9):35–41. (In Russ.).

Применение наноструктурированного бетулина при производстве кисломолочных функциональных продуктов питания / А. А. Кролевец [и др.] // *Товаровед продовольственных товаров*. 2017. № 9. С. 35–41.

12. Presnova GA, Tyurina NA. Betulin containing birch bark extract is a natural ingredient for the creation of specialized food products (Birch world). *Bread products*. 2016;(3):32–33. (In Russ.).

Преснова Г. А., Тюрина Н. А. Бетулинсодержащий экстракт бересты – натуральный ингредиент для создания специализированных продуктов питания // *Хлебопродукты*. 2016. № 3. С. 32–33.

13. Zhang W, Jiang H, Yang J, Jin M, Du Y, Sun Q, *et al.* Safety assessment and antioxidant evaluation of betulin by LC-MS combined with free radical assays. *Analytical Biochemistry*. 2019;587. <https://doi.org/10.1016/j.ab.2019.113460>

14. Chen H, Xiao H, Pang J. Parameter optimization and potential bioactivity evaluation of a betulin extract from white birch bark. *Plants*. 2020;9(3). <https://doi.org/10.3390/plants9030392>

15. Vasilenko IK, Semenchenko VF, Frolova LM, Konopleva GE, Parfent'eva EP, Skul'te IV. The pharmacological properties of the triterpenoids from birch bark. *Eksperimental'naiia i klinicheskaia farmakologiya*. 1993;56(4):53–55.

16. Flekhter OB, Karachurina LT, Nigmatullina LR, Sapozhnikova TA, Baltina LA, Zarudii FS, *et al.* Synthesis and pharmacological activity of betulin dinicotinate. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2002;28(6):494–500. <https://doi.org/10.1023/A:1021297600187>

17. Shapekova NL, Aymakov OA, Safarov RZ, Almanov GA. Bioactivity of betulin, betulinaldehyde, and their derivatives. *Conference Proceedings: Global Science and Innovations IV*; 2018. Sofia. Astana: ECID DARA; 2018. p. 122–131. (In Russ.).

Биоактивность бетулина, бетулинового альдегида и их производных / Н. Л. Шапекова [и др.] // *Conference Proceedings: Global Science and Innovations IV*. Астана, 2018. Р. 122–130.

18. Averyanova EV, Shkolnikova MN, Tsyganok SN, Khmelev VN, Shakura VA. Method of obtaining betulin. Russia patent RU 2640587C1. 2018.

Способ получения бетулина: пат. 2640587C1 Рос. Федерация. № 2017104346 / Аверьянова Е. В. [и др.]; заявл. 09.02.2017; опубл. 10.01.2018; Бюл. № 1. 10 с.

19. Gorelikova GA, Shigina YeV, Mayurnikova LA, Tereschuk LV. Research of antioxidant properties of extracts of herbs. *Storage and Processing of Farm Products*. 2007;(3):26–30. (In Russ.).

Исследование антиоксидантных свойств экстрактов лекарственных растений / Г. А. Гореликова [и др.] // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2007. № 3. С. 26–30.

20. Trofimov AN, Klabukova IN, Kislitsyn AN, Tkachenko YuA. Food fatty composition for functional feeding and method of production thereof. Russia patent RU 2335146C1. 2008.

Пищевая жировая композиция для функционального питания и способ ее получения: пат. 2335146C1 Рос. Федерация. № 2006143350/13 / Трофимов А. Н. [и др.]; заявл. 08.12.2006; опубл. 10.10.2008; Бюл. № 28. 15 с.

21. Dubovaya EV, Bessonova VP, Lyzhenko II. Effect of a complex of pollutants on the content of sugars and total acidity of the dog rose and cinnamon rose pulp. *Issues of Ecology and Conservation in the Forest-Steppe and Steppe*. Samara: Samara State University; 1995. 128–134 p. (In Russ.).

Дубовая Е. В., Бессонова В. П., Лыженко И. И. Влияние комплекса загрязнителей на содержание сахаров и общую кислотность мякоти плодов розы собачьей и розы коричной // *Вопросы экологии и охраны природы в лесостепной и степной зонах*. Самара: Самарский государственный университет, 1995. С. 128–134.

22. Gülçin İ. Antioxidant activity of food constituents: An overview. *Archives of Toxicology*. 2012;86(3):345–391. <https://doi.org/10.1007/s00204-011-0774-2>

23. Jacobsen C, Hartvigsen K, Lund P, Adler-Nissen J, Hømler G, Meyer AS. Oxidation in fish-oil-enriched mayonnaise: 2. Assessment of the efficacy of different tocopherol antioxidant systems by discriminant partial least squares regression analysis. *European Food Research and Technology*. 2000;210(4):242–257. <https://doi.org/10.1007/s002179900070>

24. Jacobsen C, Hartvigsen K, Lund P, Thomsen MK, Skibsted LH, Hømler G, *et al.* Oxidation in fish oil-enriched mayonnaise: 4. Effect of tocopherol concentration on oxidative deterioration. *European Food Research and Technology*. 2001;212(3):308–318. <https://doi.org/10.1007/s002170000251>

25. Kaur D, Wani AA, Singh DP, Sogi DS. Shelf life enhancement of butter, ice cream, and mayonnaise by addition of lycopene. *International Journal of Food Properties*. 2011;14(6):1217–1231. <https://doi.org/10.1080/10942911003637335>
26. Lagunes-Galvez L, Cuvelier ME, Ordonnaud C, Berset C. Oxidative stability of some mayonnaise formulations during storage and daylight irradiation. *Journal of Food Lipids*. 2002;9(3):211–224. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4522.2002.tb00220.x>
27. Milani Adeli M, Mizani M, Ghavami M, Eshratbadi P. The physico-chemical influences of yellow mustard paste-comparison with the powder in mayonnaise. *Journal of Food Processing and Technology*. 2013;4(3). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000210>
28. Tananuwong K, Tewaruth W. Extraction and application of antioxidants from black glutinous rice. *LWT – Food Science and Technology*. 2010;43(3):476–481. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.09.014>
29. Kishk YFM, Elsheshetawy HE. Effect of ginger powder on the mayonnaise oxidative stability, rheological measurements, and sensory characteristics. *Annals of Agricultural Sciences*. 2013;58(2):213–220. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2013.07.016>
30. Altunkaya A, Hedegaard RV, Harholt J, Brimer L, Gökmen V, Skibsted LH. Oxidative stability and chemical safety of mayonnaise enriched with grape seed extract. *Food and Function*. 2013;4(11):1647–1653. <https://doi.org/10.1039/C3FO60204D>
31. Gavahian M, Hashemi SMB, Mousavi Khaneghah A, Mazaheri Tehrani M. Ohmically extracted Zenyan essential oils as natural antioxidant in mayonnaise. *International Food Research Journal*. 2013;20(6):3189–3195.
32. Li C-Y, Kim H-W, Li H, Lee D-C, Rhee H-I. Antioxidative effect of purple corn extracts during storage of mayonnaise. *Food Chemistry*. 2014;152:592–596. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.152>
33. Kazantseva IL, Tyrsin YuA, Ramazaeva LF, Manujlova ML. Mayonnaise sauce. Russia patent RU 2514415C1. 2014. Соус майонезный: пат. 2514415C1 Рос. Федерация. № 2012153079/13 / Казанцева И. Л. [и др.]; заявл. 07.12.2012; опубл. 27.04.2014; Бюл. № 12. 8 с.
34. Tyrsin YuA, Kazantseva IL. Perspective natural supplements for mayonnaise with functional properties. Message 2. Green tea extract. *Fat and oil processing industry*. 2014;(4):21–23. (In Russ.).
Тырсин Ю. А., Казанцева И. Л. Перспективные натуральные добавки для майонезов с функциональными свойствами. Сообщение 2. Экстракт зеленого чая // Масложировая промышленность. 2014. № 4. С. 21–23.
35. Naumova NL, Lukin AA, Bets YuA, Eremina YuK. Mayonnaise sauce “Pomidorka”. Russia patent RU 2751914C1. 2021. Майонезный соус «Помидорка»: пат. 2751914C1 Рос. Федерация. № 2020134864 / Наумова Н. Л. [и др.]; заявл. 23.10.2020; опубл. 20.07.2021; Бюл. № 20. 8 с.
36. Chatterjee D, Bhattacharjee P. Use of eugenol-lean clove extract as a flavoring agent and natural antioxidant in mayonnaise: product characterization and storage study. *Journal of Food Science and Technology*. 2015;52(8):4945–4954. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1573-6>
37. Baranauskienė R, Kazernavičiūtė R, Pukalskienė M, Maždžierienė R, Venskutonis PR. Agrorefinery of *Tanacetum vulgare* L. into valuable products and evaluation of their antioxidant properties and phytochemical composition. *Industrial Crops and Products*. 2014;60:113–122. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.047>
38. Naumova NL, Lukin AA, Koval AS. Quality formation of mayonnaise with antioxidant properties during oxidative deterioration. *Bulletin of Altai State University of Agriculture*. 2014;116(6):133–139. (In Russ.).
Наумова Н. Л., Лукин А. А., Коваль А. С. Формирование качества майонеза с антиоксидантными свойствами в процессе окислительной порчи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. Т. 116. № 6. С. 133–139.
39. Rastogi S, Pandey MM, Rawat AKS. Medicinal plants of the genus *Betula* – Traditional uses and a phytochemical-pharmacological review. *Journal of Ethnopharmacology*. 2015;159:62–83. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.11.010>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2360>
<https://elibrary.ru/PKTUON>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Влияние технологической обработки растительного сырья на уменьшение остатков пестицидов в готовой продукции



Т. А. Андреев*, В. Ю. Цыганков

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Поступила в редакцию: 12.07.2021

Принята после рецензирования: 30.12.2021

Принята в печать: 11.04.2022

*Т. А. Андреев: timoha200120@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0001-7558-8636>

В. Ю. Цыганков: <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>

© Т. А. Андреев, В. Ю. Цыганков, 2022



Аннотация.

Пестициды в пищевых продуктах представляют собой большую опасность для здоровья человека. Их использование нельзя прекратить из-за вредителей сельскохозяйственных угодий, но можно снизить содержание при помощи технологической обработки. Цель обзора – обобщить и систематизировать полученные ранее сведения и результаты о возможном сокращении остатков контаминантов в продуктах растительного происхождения в ходе последовательных технологических стадий приготовления или производства.

Объектом исследования являлась отечественная и зарубежная научная литература по теме пестицидов в пищевых продуктах за последние тридцать лет. Информация, использованная для анализа, была получена из следующих баз: Elsevier, Taylor & Francis, Springer, PubMed, Google и Google Scholar. Основные методы анализа – обобщение и систематизация результатов и сведений.

В результате технологической обработки концентрация пестицидов понижается в отдельных случаях до 99 %. Однако из-за физико-химических свойств возможно накопление ксенобиотика и его трансформация в более опасные соединения. В таких условиях выбор операций, осуществляемых в течение производства, имеет важнейшее значение для удаления остатков пестицидов. В ходе анализа информации было установлено, что эффективный способ технологической обработки растительного сырья для сокращения остатков пестицидов – снятие плодовой оболочки и промывка в химических растворах. Для некоторых соединений уменьшение концентрации достигается на 85 %, вторая операция способна уменьшать их количество еще в 2 раза. Таким образом, остается примерно 7,5 % пестицидов от начального уровня.

В обзоре структурирована информация о способах уменьшения пестицидов в продуктах растительного происхождения. Применение различных методов технологической обработки сырья позволяет повышать его биобезопасность. Дальнейшие исследования по проблеме деградации пестицидов в пищевых продуктах необходимы, поскольку количество соединений, применяемых для обработки сельскохозяйственных угодий, продолжает увеличиваться, что представляет опасность для здоровья человека.

Ключевые слова. Пестициды, технологическая обработка, риск для здоровья, ксенобиотики, сельское хозяйство, биологическая безопасность, растительное сырье

Для цитирования: Андреев Т. А., Цыганков В. Ю. Влияние технологической обработки растительного сырья на уменьшение остатков пестицидов в готовой продукции // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 244–253. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2360>

Effect of Technological Processing of Plant Raw Materials on the Reduction of Pesticide Residues in Finished Products

Timofey A. Andreev*, Vasiliy Yu. Tsygankov

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Received: 12.07.2021

Revised: 30.12.2021

Accepted: 11.04.2022

*Timofey A. Andreev: timoha200120@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0001-7558-8636>

Vasiliy Yu. Tsygankov: <https://orcid.org/0000-0002-5095-7260>

© T.A. Andreev, V.Yu. Tsygankov, 2022



Abstract.

Pesticides in food cause great harm to human health. Unfortunately, agricultural pests make their use unavoidable. However, special processing can lower the content of pesticides in plant products. The present article summarizes and systematizes the previously obtained data on the possible reduction of contaminant residues in plant products during various processing stages. The review featured 30 years of domestic and foreign publications on pesticides in Elsevier, Taylor & Francis, Springer, PubMed, Google, and Google Scholar.

Proper technological processing can reduce the concentration of pesticides by 99%. However, particular physicochemical properties can lead to the accumulation of the xenobiotics, which may later transform into more dangerous compounds. Such cases require special operations to remove pesticides. Most contaminants usually remain on the surface. As a result, peeling and chemical washing seem to be the most effective method of anti-pesticide technological processing. These procedures can lower the amount of pesticides by 85% and more, if repeated. Eventually, the remaining pesticides fall below 7.5% of the initial content.

The review structured information on the anti-pesticide procedures in food industry. By combining various methods, farmers can increase the biosafety of their products. Further research is prospective because the number of compounds used as pesticides continue to grow.

Keywords. Pesticides, processing, health risks, xenobiotics, agriculture, biosecurity, plant materials

For citation: Andreev TA, Tsygankov VYu. Effect of Technological Processing of Plant Raw Materials on the Reduction of Pesticide Residues in Finished Products. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):244–253. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2360>

Введение

Пища является основным источником поступления любых соединений в организм человека. Безопасные пищевые продукты необходимы для нормальной жизнедеятельности, т. к. в их состав входят различные нутриенты. Помимо полезных веществ, в организм также поступают чужеродные (ксенобиотики), способные нарушать биологические и обменные процессы. Они или продукты их биотрансформации могут вызывать аллергические реакции, изменения наследственности, снижение иммунитета, специфические заболевания и нарушение обмена веществ [1–3].

Мировая химическая промышленность выпустила большое количество пестицидов различного действия. Первыми сложными составами были хлорорганические

пестициды, к которым относятся изомеры гексахлорциклопексана, дихлордифенилтрихлорэтана и его метаболиты. В середине XX века эти соединения активно применялись, но из-за детального изучения их свойств и действий на живые организмы и окружающую среду их использование сократилось. Несмотря на запрет, некоторые страны продолжают их применять для борьбы с эпидемиями малярии [4].

Технологическая обработка является последней частью производства продуктов перед поступлением к потребителю, в процессе которой можно удалять до 99 % остатков пестицидов. Это происходит из-за их физико-химических свойств. В результате продукт становится безопаснее для человека [5]. В России подобные исследования не проводились,

проверялись только фактические концентрации по государственным стандартам [6–9].

Цель обзора – структурировать информацию о возможном уменьшении остатков пестицидов в продуктах растительного происхождения посредством последовательной обработки сырья и выбора процедуры от вида пестицида.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись научные публикации по теме пестицидов в пищевом сырье и способах снижения их концентрации. Использовались базы Elsevier, Taylor & Francis, Springer, PubMed, Google и Google Scholar. В процессе применялись методы анализа, систематизации и обобщения накопленной информации от отечественных и зарубежных исследователей в области экологии питания.

Результаты и их обсуждение

Пестициды: применение, следовые количества и нормативные документы. Существует огромное количество ксенобиотиков, но преимущественно в продуктах питания содержатся пестициды. Их используют для обработки сельскохозяйственных угодий от вредителей, паразитов и сорняков, а также для уничтожения переносчиков опасных болезней. По данным Департамента по экономическим и социальным вопросам, население планеты составляет 7,794 млрд человек [10]. Удовлетворение потребности в питании при таких условиях становится достаточно сложной задачей. Во-первых, из-за большого количества людей, во-вторых, из-за вредителей сельскохозяйственных угодий. Использование пестицидов в этом случае является необходимостью. Однако их остатки аккумулируются в продуктах питания (рис. 1).

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) и Продовольственная и сельскохозяйственная орга-

низация ООН (FAO) регулярно проводят совещание, на котором фиксируются допустимые суточные и кратковременные дозы, рекомендуемые пределы остатка, суточные поступления пестицидов и оценки воздействия на организм [4]. Несмотря на все ограничительные меры, применяющиеся для снижения содержания контаминантов, они остаются в продуктах.

По данным, представленным в таблице 1, можно сделать вывод о том, что поступление пестицидов в организм человека за один год превышает пределы, указанные в нормативных документах, таких как СанПиН 1.2.3685-21. Например, остатки метафоса не должны содержаться в овощах и фруктах, но они поступают в количестве 219,1 мкг, а максимально допустимый уровень линдана превышен в 3 раза. Таким образом, необходимо ужесточить контроль над использованием пестицидов, а производителям предпринять действия для снижения их остатков.

Виды обработки пищевого сырья. Перед тем, как продукт попадает к человеку, первичное сырье проходит огромное количество процессов, которые способны изменить структуру, химический состав, органолептические свойства и т. д. Виды обработки пищевой продукции, которые могут производиться на всем пути производства, подразделяются на [11]:

- подготовительную: мытье водой, промывка солевыми растворами, удаление частей продукта/сырья;
- термическую: пастеризация, варка/приготовление на пару;
- производственную: высушивание и обезвоживание, приготовление нектара/пюре/сока/концентрата, выпечка, брожение, консервирование и оклейка виноматериалов;
- производство масел;
- охлаждение/хранение.

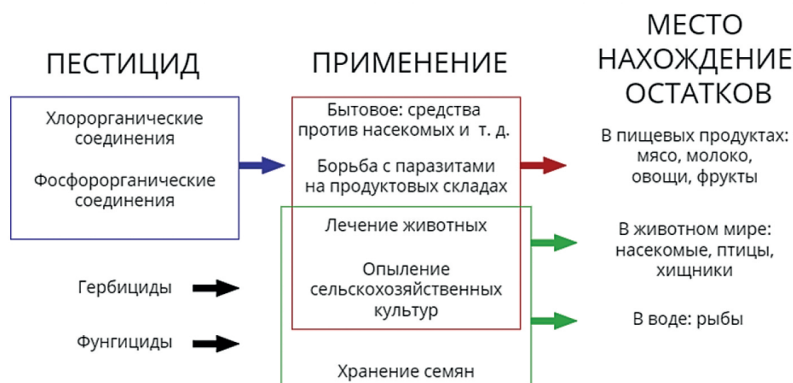


Рисунок 1. Применение и местонахождение остатков пестицидов

Figure 1. Application and location of pesticide residues

Таблица 1. Годовое поступление пестицидов и сравнение с гигиеническими нормативами [6]

Table 1. Annual intake of pesticides vs. hygiene standards [6]

Продукт питания	Годовое потребление, кг/чел	Содержание остаточных количеств, мкг		
		Линдан	Метафос	Карбофос
Рыба	9,56	7,3	—*	—
Мясо	68,42	6,1	—	—
Молочные продукты	107,39	17,4	—	—
Растительные масла	11,10	26,8	—	—
Зерно и зерновые продукты	85,20	6,6	—	96,7
Овощи	144,80	4,9	45,3	53,6
Фрукты	71,50	6,0	173,8	56,2
Допустимая суточная доза, мг/кг массы тела человека		0,01 0,005 (для детей)	0,001	0,02
Максимально допустимый уровень в продукции, мг/кг		0,05	Не допускается	0,5

* – не исследовалось.

* – no publications found.

Подготовительная обработка. Подготовительная часть является одним из самых важных этапов обработки сырья (рис. 2). Большая часть пестицидов, например, концентрируется на коже плодов. Правильно подобранная обработка может удалять в отдельных случаях до 80 % их остатков.

Мытье водой. В 2006 г. было проведено исследование по уменьшению количества дихлофоса и диазона в огурцах, которые были выращены на территории Анталии. Результаты показали, что промывка проточной водой снижает содержание первого на 22,4 %, второго – на 22,3 % [12].

Учеными Технологического университета имени Джавахарлала Неру в Анантапуре в 2015 г. были получены данные о содержании в винограде целого ряда пестицидов: диметоата, профенофоса, хлорпирифоса, малатиона, фосалона, хиналфоса, триазофоса, λ -цигалотрина, а также о действии разных химических растворов на их конечное содержание в плодах. Пестициды уменьшились на $53,12 \pm 4,432$ %, исключением являлись хлорпирифос – 28 %, λ -цигалотрин – 43 % и триазофос – 40,1 % [13].



Рисунок 2. Процессы подготовительной обработки

Figure 2. Initial processing

Промывка химическими растворами. Растворы химических реагентов также способны удалять остатки пестицидов, содержащихся на внешней части плодов. Растворы тамарида 2 %, бикарбоната натрия 0,1 % и уксусной кислоты 4 % удаляют с кожи винограда в среднем 59,35, 57,84 и 62,4 % соответственно остатков пестицидов. Для некоторых пестицидов удаление может достигать до более высоких значений. Например, для хиналфоса – 80,4, 77,0 и 79,5 %, малатиона – 78,5, 56,2 и 70,0 % [13].

В Центре ядерной энергии в сельском хозяйстве Университета Сан-Паулу изучали удаление из кожицы томатов таких пестицидов, как ацетамиприд, азоксистробин, дифлубензурон, диметоат, фипронил, имидаклоприд, процимидон и тиаметоксам. Как средство обработки использовался 10 % раствор уксуса и 10 % раствор столовой соды. Результаты показали среднее уменьшение дифлубензурана, фипронила и процимидона на 59,27 и 52,27 %, но для остальных снижение содержания было незначительным – на 2,30 и 3,52 % соответственно [14].



Рисунок 3. Процессы термической обработки

Figure 3. Thermal treatment

Удаление частей продукта/сырья. В 1993 г. ученые выяснили, что снятие кожуры у плодов манго удаляет остатки пестицидов диметоата, фентиона, циперметрина и фенвалерата. Было обнаружено, что процесс удаления оболочки полностью выводит остатки на всех этапах, что отражает накопление пестицидов только на оболочке и отсутствие дальнейшего перемещения к мякоти. Процесс очистки оказал влияние на удаление остатков пестицидов из томатов. Потери гексахлорбензола, линдина, п,п-дихлордифенилтрихлорэтана, диметоата, профенофоса и пиримифос-метила варьировались от 80,6 до 89,2 % [15].

Влияние шлифования на уровни остатков пестицидов в образцах риса было исследовано в 2008 г. японским Институтом экологической токсикологии. Контролировалось содержание фентиотриона, диазинона, паратион-метила, малатиона, карбарилкарбофурана, фосфамидона, диметоата и диквата. В процессе производства без шлифовки коэффициент передачи (общее количество остатков пестицида в обработанном продукте к количеству в первоначальном сырье) рисовых отрубей составлял от 0,40 до 1,06, а коэффициент передачи с обработкой риса от 0,09 до 0,65. Эти значения варьировались от пестицида к пестициду. Потеря пестицидов в процессе обработки не коррелировалась ни с одним физическим или химическим свойством, т. к. включает в себя механическое удаление части зерна [16].

S. S. Herrmann и др. исследовали извлечение пестицидов в процессе зернового помола с разными диаметрами крупинки. Суммарная средняя эффективность экстракции для всех зерновых была 100, 97, 85 и 80 % при измельчении с размером сита 1, 3 и 5 мм и ножевой мельницы. При дроблении с диаметром крупинки 0,2 мм производится нагрев, который может дополнительно снижать концентрацию пестицидов из-за испарения воды, содержащейся в зернах [17].

Термическая обработка. Термическое воздействие (рис. 3) и последующие разделы относятся к группам процессов, которые следуют после первичной обработки. Их относят к комбинированным. В результате их применения содержание пестицидов в отдельных случаях сводится к нулю. Для этого необходима подробная информация о времени, температуре, степени потери влаги и физико-химических свойствах соединения. Например, содержание летучих соединений уменьшается из-за теплового воздействия, используемого при варке или жарке. Для соединений с низкой летучестью и относительно устойчивых к гидролизу, таких как дихлордифенилтрихлорэтан и синтетические пиретроиды, потери остатков при тепловой обработке без учета жирных компонентов, отделяемых после, могут быть низким, а концентрация может увеличиваться из-за потери влаги. Поэтому

необходима точная информация о воздействии тепловой обработки на каждый пестицид.

Консервирование. Испанские ученые в 2005 г. подвергли воздействию тремя инсектицидами (ацефатом, хлорпирифосом и циперметрином), тремя фунгицидами (манкоцебом, манебом, пропинебом) и тетраметилдитиокарбаматным фунгицидом тирам образцы томатов, перца, спаржи, шпината и персиков для изучения влияния промышленной обработки. В большинстве случаев операции по консервированию вместе с процессами мойки, бланширования, очистки от кожуры и варки приводили к постепенному снижению уровня остатков в готовой продукции. Результаты показали, что удаление верхнего покрова плодов и кратковременная варка привели к потере более чем 50 % остатков пестицидов. Исключением стали персики. Общее количество пестицидов, удаленных в результате всех комбинированных операций по консервированию, составило от 90 до 100 % для большинства продуктов. В перце осталось 61 % хлорпирифоса, но эти остатки исчезли после 3-х месяцев хранения готовых продуктов в банках. Ацефат показал стойкость пестицидов, поскольку 11 % исходных остатков все еще присутствовали в банках, хранящихся в течение 2 лет [18].

Учеными из Египта были получены данные о консервировании помидоров. Их обработка при 100 °С в течение 30 мин уменьшила количество остатков контаминантов. Содержание фосфорорганических пестицидов (диметоата, профенофоса и пиримифос-метила) снизилось сильнее, чем хлорорганических соединений (гексахлорбензола, линдана, п,п-дихлордифенилтрихлорэтана). Уровни снижения первых составили 71,0–81,6 %, вторых 30,7–45,4 %. Такой результат может быть связан с высокой устойчивостью хлорорганических пестицидов к термической обработке [19].

Варка/приготовление на пару. S. R. Lee и др. в 1991 г. обогащали шлифованные зерна риса хлорпирифосом в концентрации 500 нг/г [20]. Остатки этого соединения и продукт его распада 3,5,6-трихлор-2-пиридиол были извлечены из обогащенных рисовых зерен в количестве 456,0 и 3,4 нг/г соответственно. Промывание рисовых зерен водой удалило примерно 60 % остатков пестицида. Хлорпирифос был обнаружен в вареном рисе на уровне 130 нг/г, т. е. 70 % было удалено в результате промывания и варки зерен.

В 1994 г. японские ученые обнаружили, что варка снижает остатки пестицидов в лапше. Результаты показали уменьшение контаминантов на 40–70 % для удоны, 80 % для гречневой и 4–5 % для китайской лапши. Общее содержание пестицидов в изделиях было ниже после варки, а большинство соединений перешли в воду [21].

Тоширо Нагаяма в 1996 г. исследовал изменение концентрации фосфорорганических пестицидов в

апельсине под действием варки [22]. От 20 до 45 % соединений из свежих апельсинов перешли в воду во время мойки. В процессе варки уровни фенитроциона и метидатиона были снижены на 15 и 35 % соответственно, но у мекарбама и пиридафентиона концентрация уменьшилась менее чем на 2 %.

Жарка. D. J. Lewis и др. в 1998 г. было изучено влияние жарки картофеля на концентрацию гидразида малеиновой кислоты [23]. Различия между концентрациями остатков в неочищенном и очищенном картофеле были небольшими. Уровни остатков, измеренные в картофельные чипсах с кожурой и без, были одинаковы. Эти результаты согласуются с тем, что гидразид малеиновой кислоты равномерно распределяется по картофелю. Если образец картофеля содержал пестицид в количестве 50 мг/кг, то концентрация в картофельных чипсах, сделанных из этих клубней, могла быть в районе 90 мг/кг. Концентрирование происходило из-за потери влаги в клубнях.

Производственная обработка является комбинированным процессом, включающим в себя некоторые этапы из подготовительной и термической обработки (рис. 4). Производственная обработка представляет большую важность для потребительского рынка, т. к. обеспечивает конечный вид и состав продукта.

Высушивание и обезвоживание. Сушка – широко распространенная технология в пищевой промышленности. Ее действия на разные соединения являются предметом многих исследований. Сырье для сушки может содержать различные виды пестицидов, которые могут как испаряться с водой, так и еще сильнее концентрироваться в продуктах. Ввиду этих

факторов необходимы данные о физико-химических свойствах пестицидов [24].

В 2017 г. в Турции было исследовано воздействие сушки винограда на пестициды при разных условиях. В духовых шкафах при температуре 80 °С наблюдалось резкое снижение концентрации хлорпирифоса, диазинона, метидатиона и диметоата до 9, 0, 2 и 0 % соответственно. Сушка на солнце дала результаты в 26, 8, 18 и 60 % от первично внесенной дозы. По результатам, полученным в процессе эксперимента, был сделан вывод о том, что диазон и метидатион лучше всего деградируют как при термическом, так и при фотолитическом разложении, а концентрации хлорпирифоса и диметоата уменьшаются только при первом виде воздействия [25].

Приготовление нектара/юре/сока/концентрата. Выжимка сока из фруктов и овощей после этапов очистки осуществляется путем измельчения, отделения сока и отходов, которые могут быть повторно переработаны. В промышленном производстве за вышеуказанными шагами обычно следует обработка ферментами, нагревание, отжим, осветление и фильтрация [26].

Ученые исследовательского Института Гейзенхайма в 1999 г. проводили обработку клубники дихлофлуанидом, процимидоном и ипродионом. Для точного превышения предела обнаружения и дальнейших аналитических расчетов дозировки были в 6 раз выше рекомендованной. Свежеприготовленное сусло являлось отправной точкой для производства сока и вина. Применение шестикратной дозы привели к остаточным значениям от 0,17 до 1,40 мг/кг. Эти значения были нормой для немецких стандартов. В конце производства осветленного клубничного сока или вина было обнаружено снижение дихлофлуанида



Рисунок 4. Процессы производственной обработки

Figure 4. Production processing

до 100 %, а в случае процимидона и ипродиона – до 70–80 % [27].

В 2003 г. Расмусеном и др. были изучены остаточные концентрации пестицидов хлорпирифоса, циперметрина, дельтаметрина, диазинона, эндосульфана, сульфат эндосульфана, фенитротриона, фенпропатрина, ипродиона, крезоксим-метила, λ -цигалотрина, хиналфоса, толилфлуанида и винклозолина после выжимки сока из яблок без подготовительных процедур, таких как мойка и снятие кожуры. Все остатки пестицидов были сконцентрированы в жмыхе. Для тех пестицидов, которые можно было обнаружить, их остатки были 2–7 % от вводимой дозы. Остатки сульфат эндосульфана и толилфлуанида были исключением и наблюдались в соке с содержанием 13 и 23 % соответственно. Концентрация пестицидов в мякоти была в 2,0–3,5 раза больше, чем в необработанном яблоке. На основании полученных данных был сделан вывод о том, что для уменьшения поступления пестицидов в готовый продукт удаление выжимки из основной массы необходимо делать сразу [27].

Выпечка. В 2009 г. учеными Университета Хаджеттепе в Турции исследовано остаточное содержание пестицидов малатиона, хлорпирифос-метила и карбофоса в печенье. Результаты эксперимента показали, что главным фактором наличия контаминантов является исходное сырье, из которого был произведен продукт. Условия, используемые в процессе приготовления, такие как высокая температура (205 °C) и степень потери влаги, важны для количественного воздействия на уровни остатков. Малатион в печенье без отрубей и с ними уменьшился на 45 и 60 % соответственно. Скорости разложения и улетучивания остатков были увеличены из-за тепла, участвующего в процессе. Хотя степень деградации была высокой, уровни остатки карбофоса в печенье все еще превышали нормативные значения, особенно в печенье с оболочками зерна. Поскольку остатки были сконцентрированы в отрубях из-за липофильности этого пестицида, то уровни остатков оказались примерно на 1,5–2 раза больше, чем в печенье без них [28].

Брожение/ферментация. В 2000 г. итальянские ученые подвели итог по изучению влияния брожения на итоговую концентрацию пестицидов в вине. Контаминанты в большинстве случаев адсорбировались на коже винограда и лишь небольшая их часть переходила в вино. Сырье обогатили восемью фунгицидами: беналаксиллом, фенаримолом, ипродионом, металаксиллом, миклобутанилом, процимидоном, триадимефоном и винклозолином, а также пятью инсектицидами: диметоатом, фентионом, метидатионом, паратион-метилом и хиналфосом. В дистиллятах были обнаружены только фентион, хиналфос и винклозолин. Они перешли в дистиллят из осадка винограда тогда, когда их концентрация

была высокой, но с низким процентом передачи: 2, 1 и 0,1 % соответственно [29].

Оклейка виноматериалов. Солис и Голдберг провели исследование по влиянию осветляющих агентов на конечные остатки пестицидов в винах [30]. В качестве осветителей были добавлены бентонит или кизельсол в количестве 0,25 или 0,5 г/л. В сусло внесли 15 пестицидов. Когда осветляющий агент не добавлялся, остатки 11 пестицидов присутствовали в готовых винах в концентрации 40 % от начальной. Количество пестицидов, удаленных осветителями, варьировалось между видами, но в отдельных случаях достигало до 90 %. Постферментационная обработка в этом случае оказалась более эффективной, чем предварительное брожение.

Производство масел. Учеными Японского университета жиров и масел было изучено влияние разных видов очисток соевого масла. Пять фосфорорганических пестицидов – дихлофос, паратион-метил, малатион, хлорпирифос и хлорфенвинфос – добавляли к исходному сырью. Их удаляли дегуммированием, выщелачиванием, отбеливанием и дезодорацией. Количество фосфорорганических соединений пестицидов в масле определяли сразу после каждого процесса. Получили следующие результаты:

1. При дегуммировании содержание каждого из фосфорорганических пестицидов в масле уменьшилось незначительно;

2. При щелочной обработке содержание дихлофоса в дегуммированном масле уменьшилось, хотя других фосфорорганических пестицидов осталось около 80 % и более;

3. Отбеливающая обработка абсорбентом снижала уровень дихлофоса и хлорфенвинфоса до 70 и 60 % соответственно, снижение уровня карбофоса и хлорпирифоса составило 30 и 5 % соответственно;

4. Каждый из фосфорорганических пестицидов был полностью удален дезодорацией при 260 °C;

5. Было подтверждено, что фосфорорганические пестициды дихлофос, паратион-метил, малатион, хлорпирифос и хлорфенвинфос в неочищенном соевом масле были полностью удалены обычной рафинирующей обработкой [31].

Охлаждение и хранение. Эти два этапа являются конечными в пищевом производстве, т. к. от их эффективности зависит итоговое содержание пестицидов в готовой продукции.

Охлаждение. В Университете штата Джорджия (США) в 2002 г. было проведено исследование о влиянии гидроохлаждения на уровень метилпаратиона и каптана. На начальном этапе оба соединения были обнаружены в образцах фруктов. Чистка плодов щетками уменьшала содержание на 52,7 %, на долю гидроохлаждения приходилось 37 %. Обе операции привели к снижению метилпаратиона на 61,8 %. Чистка удаляла в среднем 78,7 % остатка каптана

из переработанных фруктов, гидроохлаждение – на 39,5 %. После процедур уровень пестицида был на уровне 11,7 % от начального содержания [32, 33].

Хранение. R. Chauhan и др. в 2012 г. исследовали уменьшение остатков λ -цигалотрина в томатах при хранении [34]. Начальные концентрации при введении двух доз составили 0,144 и 0,354 мг/кг, на третий день сократились до 0,086 и 0,206 мг/кг. Они рассеялись на 40,27 и 41,80 % при комнатной температуре. Данные показали, что остатки в обеих дозах снизились за 7 дней ниже определяемого уровня – 0,010 мг/кг. В условиях охлаждения уменьшение было ниже по сравнению с комнатной температурой. В этих условиях начальные дозы достигли уровней 0,090 и 0,210 мг/кг через 3 дня, показывая рассеяние 37,50 и 40,67 %. Через 10 дней в товарных фруктах не было обнаружено никаких остатков пестицидов.

Группа пражских ученых в 2006 г. провела эксперимент, в ходе которого они наблюдали за динамикой остатков пестицидов в яблоках сорта Мелроуз. Хранили их в холодильнике при 1–3 °C в течение 5 месяцев. В пестицидных препаратах содержалось 21 соединение. Во время сбора урожая были обнаружены только шесть фунгицидов: каптан, ципродинил, додин, пириметанил, тебуконазол, толифлуанид, а также один инсектицид – фосалон. Другие загрязнители – ацетамиприд, хлорпирифос-метил, дифеноконазол, дифлубензурон, дитианон, манкозеп, тирам, феноксикарб, крезоксим-метил, тефлубензурон, тиаклоприд, триазамат и трифлуксистробин – не были зафиксированы при использовании газожидкостной хроматографии. Последовательное уменьшение остатков происходило в течение периода хранения. Через 5 месяцев были обнаружены только следы фунгицида додина и инсектицида фосфалона [35].

В результате совместной работы Литовского сельскохозяйственного института и Службы сельскохозяйственных исследований США было изучено влияние хлорпрофама на прорастание клубней картофеля и его выведение из плодов под действием разных технологических обработок. Немытые клубни диаметром около 6–10 см погружали в водную эмульсию 1 % хлорпрофама в течение 5 мин. Средняя концентрация для плодов уменьшилась с 15,5 мг/кг на 28-й день до 10,2 мг/кг на 85-й день [36].

В 2000 г. в Индии было исследовано влияние пестицидов на картофель. Определялись остатки гербицидов профама и хлорпрофама при внесении их смеси объемом 60 мл на 1 т продукта в количестве 29 %. Образцы картофеля изучались через 2 и 21 день после обработки. Остатки профама оставались ниже обнаруживаемого уровня в целых клубнях, кожуре и мякоти. Хлорпрофам был обнаружен в наибольших количествах в покровной части. Средние его остатки в кожуре картофеля, целых клубнях и мякоти составляли 4,69, 0,50 и 0,085 мкг/г на 2-й

день, уменьшились до 2,61, 0,15 и 0,032 мкг/г на 21-й день [37].

A. Dikshit в 2001 г. провел тестирование устойчивости циперметрина на фасоли, нуте, вигне и чечевице [38]. Зерна были обработаны циперметрином на уровне 3 и 5 мг/кг и хранились в течение шести месяцев. Извлечение в пределах 62–71 % от применяемой дозы показало его высокую стойкость после 6 месяцев обработки. Выведение циперметрина было двухфазным с начальным быстрым снижением до 3 месяцев, за которым следовала фаза медленного и устойчивого рассеивания.

Условия выбора вида технологической обработки.

Наиболее эффективный способ технологической обработки растительного сырья для сокращения остатков пестицидов – снятие плодовой оболочки и промывка в химических растворах из-за того, что большинство загрязнителей находится на поверхности сырья и не проникает в глубь. Для некоторых соединений (гексахлорбензол, линдин, п,п-дихлордифенилтрихлорэтан, диметоат, профенофос и пиримифос-метил) уменьшение концентрации достигается на 85 %, вторая операция способна уменьшать их количество еще в 2 раза [14]. Таким образом, остается примерно 7,5 % пестицидов от начального уровня [12]. Однако дальнейшее использование кожуры для приготовлений, например, пюре, ведет к увеличению концентрации загрязнителей в 2,5–3 раза. Это уменьшает безопасность готового продукта.

Комплекс технологических операций, применяемых вместе, может приближать итоговое значение концентрации пестицида к 0. Например, удаление оболочки плода, сушка сырья и консервирование снижают количество диметоата на 99 % [15, 16, 22]. Однако при таком выборе обработки могут возникать проблемы с экономической целесообразностью этой процедуры, т. к. вместе с пестицидом уменьшается количество самого сырья.

Определенные классы соединений могут оставаться в сырье, даже после технологической обработки. Например, карбофос после выпечки продолжал находиться в отрубях [28]. Требуется изучение влияния технологической обработки на конкретные соединения.

Выводы

Пестициды – одна из основных химических опасностей, загрязняющих продукты питания. Различные научные исследования, направленные на уменьшение остатков пестицидов, важны для формирования базы знаний, применяя которые можно повысить биологическую безопасность готовой продукции. Это исследование показало значение правильного выбора использования обработки в зависимости от физико-химических свойств загрязнителя, находящегося в сырье.

Критерии авторства

В. Ю. Цыганков руководил проектом и редактировал материал. Т. А. Андреев выполнил основной литературный обзор и сделал первый вариант рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

V.Yu. Tsygankov supervised the project and proofread the article. T.A. Andreev reviewed scientific publications and drafted the manuscript.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Tsygankov VYu. The dirty dozen of the Stockholm convention. Chemistry and toxicology of persistent organic pollutants (pops): A review. In: Tsygankov VYu, editor. Persistent organic pollutants (pops) in the far eastern region: Seas, organisms, human. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2020. pp. 12–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.24866/7444-4891-2/12-61>
2. Tsygankov VYu, Lukyanova ON, Boyarova MD, Gumovskiy AN, Donets MM, Lyakh VA, et al. Organochlorine pesticides in commercial Pacific salmon in the Russian Far Eastern seas: Food safety and human health risk assessment. Marine Pollution Bulletin. 2019;140:503–508. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.008>
3. Khristoforova NK, Tsygankov VYu, Lukyanova ON, Boyarova MD. High mercury bioaccumulation in Pacific salmon from the Sea of Okhotsk and the Bering Sea. Environmental Chemistry Letters. 2018;16(2):575–579. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0704-0>
4. Report of the Joint Meeting of the FAO Panel of Experts on Pesticide Residues in Food and the Environment and the WHO Core Assessment Group on Pesticide Residues Berlin, Germany, 18–27 September 2018. Rome: FAO; 2019. 668 p.
5. Turova NA, Paskarelov SI. Effect of pesticides on human health. Modern Science. 2020;(12–3):11–14. (In Russ.).
Турова Н. А., Паскарелов С. И. Влияние пестицидов на организм человека // Modern science. 2020. № 12–3. С. 11–14.
6. Alekhina NN, Ponomareva EI, Zharkova IM, Grebenshchikov AV. Assessment of functional properties and safety indicators of amaranth flour grain bread. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):323–332. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>
7. Fazullina OF, Smirnov SO. New safety management system for pasta production. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):736–748. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-736-748>
8. Moskvina NA, Golubtsova YuV. Dairy products with herbal supplements: Methodical aspects of quality control. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(1):32–42. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-32-42>
9. Boldina AA, Sokol NV, Sanzharovskaya NS. Using rice bran for functional purpose bread production technology. Food Processing: Techniques and Technology. 2017;47(4):21–26. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-21-26>
10. World Population Prospects 2019 [Internet]. [cited 2021 Jul 15]. Available from: <https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population>
11. Aguilera JM. The food matrix: implications in processing, nutrition and health. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2019;59(22):3612–3629. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1502743>
12. Bian Y, Liu F, Chen F, Sun P. Storage stability of three organophosphorus pesticides on cucumber samples for analysis. Food Chemistry. 2018;250:230–235. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.008>
13. Harinathareddy A, Prasad NBL, Lakshmi DK, Ravindranath D, Ramesh B. Risk mitigation methods on the removal of pesticide residues in Grapes fruits for food safety. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2015;6(2):1568–1572.
14. Andrade GCRM, Monteiro SH, Francisco JG, Figueiredo LA, Rocha AA, Tornisiello VL. Effects of types of washing and peeling in relation to pesticide residues in tomatoes. Journal of the Brazilian Chemical Society. 2015;26(10):1994–2002. <https://doi.org/10.5935/0103-5053.20150179>
15. Ajeep L, Alnaser Z, Tahla MK. Effect of household processing on removal of multi-classes of pesticides from tomatoes. Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences. 2021;10(5). <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2015>
16. Watanabe M, Ueyama J, Ueno E, Ueda Y, Oda M, Umemura Y, et al. Effects of processing and cooking on the reduction of dinotefuran concentration in Japanese rice samples. Food Additives and Contaminants: Part A. 2018;35(7):1316–1323. <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1451659>
17. Herrmann SS, Hajeb P, Andersen G, Poulsen ME. Effects of milling on extraction efficiency of incurred pesticides in cereals. Food Additives and Contaminants: Part A. 2017;34(11):1948–1958. <https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1339915>

18. Ranjitha Gracy TK, Sharanyakanth PS, Radhakrishnan M. Non-thermal technologies: Solution for hazardous pesticides reduction in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020;62(7):1782–1799. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1847029>
19. Venkatachalapathy R, Anoop Chandra IR, Das S, Vajiha Aafrin B, Lalitha Priya U, Peter MJ, *et al.* Effective removal of organophosphorus pesticide residues in tomatoes using natural extracts. *Journal of Food Process Engineering*. 2019;43(2). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13351>
20. Medina MB, Munitz MS, Resnik SL. Effect of household rice cooking on pesticide residues. *Food Chemistry*. 2021;342. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128311>
21. Shakoori A, Yazdanpanah H, Kobarfard F, Shojaei MH, Salamzadeh J. The effects of house cooking process on residue concentrations of 41 multi-class pesticides in rice. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*. 2018;17(2):571–584.
22. Lee J, Shin Y, Lee J, Lee J, Kim BJ, Kim J-H. Simultaneous analysis of 310 pesticide multiresidues using UHPLC-MS/MS in brown rice, orange, and spinach. *Chemosphere*. 2018;207:519–526. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.116>
23. Visse-Mansiaux M, Tallant M, Brostaux Y, Delaplace P, Vanderschuren H, Dupuis B. Assessment of pre- and post-harvest anti-sprouting treatments to replace CIPC for potato storage. *Postharvest Biology and Technology*. 2021;178. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111540>
24. Nguyen TT, Rosello C, Bélanger R, Ratti C. Fate of residual pesticides in Fruit and Vegetable Waste (FVW) processing. *Foods*. 2020;9(10). <https://doi.org/10.3390/foods9101468>
25. Özbey A, Karagöz Ş, Cingöz A. Effect of drying process on pesticide residues in grapes. *Gida*. 2017;42(2):204–209.
26. Keikotlhaile B. Influence of the processing factors on pesticide residues in fruits and vegetables and its application in consumer risk assessment. PhD Thesis. Belgium: University Gent; 2011. 141 p.
27. Liu N, Pan X, Yang Q, Ji M, Zhang Z. The dissipation of thiamethoxam and its main metabolite clothianidin during strawberry growth and jam-making process. *Scientific Reports*. 2018;8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33334-w>
28. Li C, Li C, Yu H, Cheng Y, Xie Y, Yao W, *et al.* Chemical food contaminants during food processing: sources and control. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021;61(9):1545–1555. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1762069>
29. Yu L, Zhang H, Niu X, Wu L, Zhang Y, Wang B. Fate of chlorpyrifos, omethoate, cypermethrin, and deltamethrin during wheat milling and Chinese steamed bread processing. *Food Science and Nutrition*. 2021;9(6):2791–2800. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1523>
30. Shen Y, Li Z, Ma Q, Wang C, Chen X, Miao Q, *et al.* Determination of six pyrazole fungicides in grape wine by solid-phase extraction and gas chromatography-tandem mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016;64(19):3901–3907. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00530>
31. Philipp C, Eder P, Hartmann M, Patzl-Fischerleitner E, Eder R. Plant fibers in comparison with other fining agents for the reduction of pesticide residues and the effect on the volatile profile of Austrian white and red wines. *Applied Sciences*. 2021;11(12). <https://doi.org/10.3390/app11125365>
32. Lacoste F, Carré P, Dauguet S, Petisca C, Campos F, Ribera D, *et al.* Experimental determination of pesticide processing factors during extraction of seed oils. *Food Additives and Contaminants: Part A*. 2020;37(9). <https://doi.org/10.1080/19440049.2020.1778188>
33. Bhilwadikar T, Pounraj S, Manivannan S, Rastogi NK, Negi PS. Decontamination of microorganisms and pesticides from fresh fruits and vegetables: A comprehensive review from common household processes to modern techniques. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2019;18(4):1003–1038. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12453>
34. Chauhan R, Monga S, Kumari B. Effect of processing on reduction of λ -cyhalothrin residues in tomato fruits. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 2012;88(3):352–357. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0483-9>
35. Bahri BA, Mechichi G, Rouissi W, Ben Haj Jilani I, Ghrabi-Gammar Z. Effects of cold-storage facility characteristics on the virulence and sporulation of *Penicillium expansum* and the efficacy of essential oils against blue mold rot of apples. *Folia Horticulturae*. 2019;31(2):301–317.
36. Li Z. Modeling distribution and dissipation kinetics of pesticides in peel and medulla tissues of postharvest tuber crops. *ACS Food Science and Technology*. 2021;1(10):1909–1919. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00246>
37. Gill K, Kumari B, Kathpal TS. Dissipation of alphas-methrin residues in/on brinjal and tomato during storage and processing conditions. *Journal of Food Science and Technology*. 2001;38(1):43–46.
38. Dikshit A. Persistence of cypermethrin on stored pulses and its decontamination. *Pesticide Research Journal*. 2001;13(2):141–146.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2361>
<https://elibrary.ru/PUHOFM>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Изучение процесса ферментативного гидролиза предобработанной биомассы мискантуса



О. Б. Калашникова^{1,*}, Е. А. Буденкова¹, Е. В. Ульрих²,
Е. Г. Чупахин¹, О. В. Кригер¹, Я. А. Масютин¹,
М. А. Смага¹, Ю. С. Басова¹

¹ Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта^{ROR}, Калининград, Россия

² Калининградский государственный технический университет^{ROR}, Калининград, Россия

Поступила в редакцию: 24.01.2022

Принята после рецензирования: 17.02.2022

Принята в печать: 11.04.2022

*О. Б. Калашникова: stas-asp@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-6105-8631>

Е. А. Буденкова: <https://orcid.org/0000-0003-4854-5459>

Е. В. Ульрих: <https://orcid.org/0000-0003-4107-7277>

Е. Г. Чупахин: <https://orcid.org/0000-0001-5284-4748>

О. В. Кригер: <https://orcid.org/0000-0002-1489-0716>

Я. А. Масютин: <https://orcid.org/0000-0003-4347-3425>

М. А. Смага: <https://orcid.org/0000-0001-5304-5761>

Ю. С. Басова: <https://orcid.org/0000-0001-5361-5971>

© О. Б. Калашникова, Е. А. Буденкова, Е. В. Ульрих, Е. Г. Чупахин,
О. В. Кригер, Я. А. Масютин, М. А. Смага, Ю. С. Басова, 2022



Аннотация.

В связи с тем что лесные ресурсы являются трудновозобновляемыми, ведется поиск альтернативных энергетических источников. Мискантус является одним из таких источников энергии. Целью данной работы являлось изучение процесса ферментативного гидролиза предобработанной биомассы мискантуса.

Объектом исследования являлась биомасса мискантуса китайского «Стриктус» (*Miscanthus sinensis* Strictus). Использовались методы предварительной обработки сырья, ферментативный гидролиз мискантуса, определение остатков моносахаров с помощью МАЛДИ-ТОФ и негидролизованного лигнина методом ЯМР ¹H спектроскопии.

Установлено, что для предварительной механической обработки биомассы мискантуса рационально применять молотковую дробилку с размером частиц мискантуса 0,2–0,3 мм. При данном виде обработки наблюдается максимальный выход углеводсодержащей биомассы (62,33 ± 1,87 %). Ферментативный гидролиз мискантуса целесообразно проводить с помощью мультиферментной композиции следующего состава: «Целлюлаза Ультра», полученная на основе селекционного штамма *Trichoderma reesei*, ксиланаза из *Thermomyces lanuginosus* и β-глюканаза из *Myceliophthora fergusii*. Температура ферментации 50 ± 1 °С, продолжительность 72 ± 1 ч. При указанных параметрах конверсия холоцеллюлозы биомассы мискантуса составляет 96,0 ± 4,8 %, выход редуцирующих веществ 97,00 ± 4,85 %.

В результате проведенных исследований научно обоснованы параметры ферментативного гидролиза предобработанной биомассы мискантуса китайского «Стриктус» для получения углеводсодержащих субстратов и последующего их использования для биосинтеза бактериальной целлюлозы. Анализ углеводного состава гидролизатов показал наличие остаточного лигнина, полисахаридов (глюкана и ксилана) и моносахаридов (арабинозы, ксилозы, галактозы, глюкозы и урановых кислот). Рекомендуется использовать гидролизированный мискантус в качестве возобновляемого и экологически чистого биотоплива.

Ключевые слова. Мискантус, биотопливо, ферментативный гидролиз, предобработка, редуцирующие сахара, негидролизированный лигнин, целлюлоза

Финансирование. Научно-исследовательская работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ)^{ROR} (соглашение № 19-416-390001), а также при поддержке Правительства Калининградской области (соглашение № 14-с/2021).

Для цитирования: Изучение процесса ферментативного гидролиза предобработанной биомассы мискантуса / О. Б. Калашникова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 254–270. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2361>

Enzymatic Hydrolysis of Pretreated Miscanthus Biomass

Olga B. Kalashnikova^{1,*}, Ekaterina A. Budenkova¹, Elena V. Ulrikh²,
Evgeny G. Chupakhin¹, Olga V. Kriger¹, Yakov A. Masiutin¹,
Maria A. Smaga¹, Yulia S. Basova¹

¹ Immanuel Kant Baltic Federal University , Kaliningrad, Russia

² Kaliningrad State Technical University , Kaliningrad, Russia

Received: 24.01.2022

Revised: 17.02.2022

Accepted: 11.04.2022

*Olga B. Kalashnikova: stas-asp@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-6105-8631>

Ekaterina A. Budenkova: <https://orcid.org/0000-0003-4854-5459>

Elena V. Ulrikh: <https://orcid.org/0000-0003-4107-7277>

Evgeny G. Chupakhin: <https://orcid.org/0000-0001-5284-4748>

Olga V. Kriger: <https://orcid.org/0000-0002-1489-0716>

Yakov A. Masiutin: <https://orcid.org/0000-0003-4347-3425>

Maria A. Smaga: <https://orcid.org/0000-0001-5304-5761>

Yulia S. Basova: <https://orcid.org/0000-0001-5361-5971>

© O.B. Kalashnikova, E.A. Budenkova, E.V. Ulrikh, E.G. Chupakhin,
O.V. Kriger, Ya.A. Masiutin, M.A. Smaga, Yu.S. Basova, 2022



Abstract.

Forests being mostly non-renewable, miscanthus seems to be a promising alternative energy resource. This study investigates the enzymatic hydrolysis of pretreated miscanthus biomass.

The research featured *Miscanthus sinensis* Strictus biomass. The methods included raw material pretreatment, enzymatic hydrolysis, matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry (MALDI-TOF) of monosaccharide residues, and nuclear magnetic resonance (¹H NMR) spectrometry of non-hydrolyzed lignin.

A hammer mill with a particle size of 0.2–0.3 mm proved to be effective for preliminary mechanical processing of miscanthus. This type of treatment provided the maximal yield of carbohydrate-containing biomass (62.33 ± 1.87%). The optimal multi-enzyme composition included Cellulase Ultra obtained from *Trichoderma reesei*, xylanase obtained from *Thermomyces lanuginosus*, and β-gluconase obtained from *Myceliophthorafergusii*. The fermentation temperature was 50 ± 1°C (72 ± 1 h). At these parameters, the conversion of holocellulose of miscanthus biomass was 96.0 ± 4.8%, and the yield of reducing substances was 97.00 ± 4.85%.

The article introduces the optimal enzymatic hydrolysis parameters for pretreating *Miscanthus sinensis* Strictus biomass as a source of carbohydrate-containing substrates and describes their subsequent use for bacterial cellulose biosynthesis. The carbohydrate composition of hydrolysates included residual lignin, such polysaccharides as glucan and xylan, and various monosaccharides, namely arabinose, xylose, galactose, glucose, and uronic acids. Hydrolyzed miscanthus proved to be an effective renewable and environmentally friendly biodiesel.

Keywords. Miscanthus, biofuel, enzymatic hydrolysis pretreatment, reducing sugars, non-hydrolysed lignin, cellulose

Funding. The research was supported by The Russian Foundation for Basic Research (RFBR)  (Agreement No. 19-416-390001) and the government of the Kaliningrad Region (Agreement No. 14-c/2021).

For citation: Kalashnikova OB, Budenkova EA, Ulrikh EV, Chupakhin EG, Kriger OV, Masiutin YaA, *et al.* Enzymatic Hydrolysis of Pretreated Miscanthus Biomass. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):254–270. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2361>

Введение

В качестве основных источников энергии используют природный газ, каменный уголь, торф и нефть [1, 2]. Все эти ресурсы невозобновляемые и их запасы истощаются. В этой связи остро стоит вопрос поиска альтернативных возобновляемых

энергетических источников, среди которых можно выделить растительное сырье. Такое возобновляемое растительное сырье, как деревья, является медленно возобновляемым энергетическим ресурсом. 23 % территории Российской Федерации занято

лесополюс: на более 71,4 млн га приходится 81,2 м³ запаса этого ресурса [3].

В связи с тем что лесные ресурсы являются трудновозобновляемыми и в России формируется бережливое отношение к лесу, перспективным и актуальным является вопрос поиска альтернативных возобновляемых энергетических источников, помимо древесины [4]. Кроме того, необходимо задумываться об экологических вопросах, связанных с производством и применением энергетических ресурсов. Большое внимание уделяется возможностям применения растительного сырья для производства биологического топлива. Создание энергосберегающей малоотходной технологии переработки растительных компонентов, содержащих большое количество целлюлозы, в энергопродукты является фундаментальным и актуальным направлением развития биотехнологии во всех странах [5]. В Финляндии 23 % энергоресурсов обеспечивается за счет переработки растительного сырья, а в Швеции и Австрии на долю биологического топлива приходится 18 и 12 % соответственно [6]. Подробный анализ сложившейся ситуации в Российской Федерации свидетельствует о том, что в качестве основного источника биологического топлива могут выступать отходы, образующиеся на деревоперерабатывающих предприятиях. Маркетологи выяснили, что к 2025 г. уровень отходов достигнет 110 млн т, из которых можно произвести более 8 млн т биотоплива [7]. Количество этого биологического топлива достаточно, чтобы повысить качественные показатели используемого бензина [8, 9].

Получаемая биологическая масса в процессе переработки древесного и растительного сырья может быть применена в качестве источника тепла или преобразована с помощью биотехнологических и/или химических методов в дизельное топливо, газ или биологический этиловый спирт [10]. Источником сырья для таких продуктов могут выступать подсолнечная лузга, солома, отходы производства кукурузы и т. д. Доля этих отходов в России увеличивается с каждым годом [11]. Количество растительных отходов в России за последние годы возросло до 50 млн т. Согласно данным, представленным в базе данных IENICA (www.ienica.net/cropsdatabase.htm), в мире существует более 90 видов травянистых растений, которые перспективны в качестве альтернативных энергетических источников в топливно-энергетической и химической промышленности. Повышенное внимание к данному типу растений можно объяснить тем, что такие растения размножаются преимущественно семенами, легко возделываются, хорошо культивируются в любых климатических и сезонных условиях и не требуют обогащения дополнительными питательными компонентами грунта [9, 10]. Основным

преимуществом таких видов растения является высокая скорость накопления целлюлозы.

Среди таких растений можно выделить травянистое растение рода мискантус (*Miscanthus*) [11]. Он характеризуется повышенной продуктивностью целлюлолитических веществ и способностью активно расти и развиваться даже в сложных климатических условиях (низкие температурные режимы, обедненная питательными веществами почва) [12]. Еще одним преимуществом растения рода мискантус является то, что он устойчив практически ко всем вредителям и болезням. Это снижает экономические затраты на его обработку химическими препаратами [3]. Мискантус способен расти на одном месте с высокой продуктивностью более 15 лет [4]. Растение семейства (рода) мискантус способно улучшать экологическое состояние окружающей среды и почвы: защищать ее от процессов эрозии, снижать содержание углекислого газа и повышать содержание органических веществ [1, 11]. Установлено, что на первых этапах возделывания культура хорошо культивируется на почвах, где ранее высаживались крахмалосодержащие культуры, такие как кукуруза. При хорошей влажности почвы мискантус дает высокий урожай растительной биомассы [4, 6]. Подробные исследования показали, что Россия имеет благоприятные климатические условия для возделывания травянистого растения рода мискантус, а также богата посевными площадями в северо-западной и западной частях страны [7].

Потенциальная продуктивность мискантуса при благоприятных факторах внешней среды может достигать 40 т сухой массы с 1 га. Реальная зависит от величины прихода фотосинтетической активной радиации и эффективности ее использования, почвенно-гидротермических условий выращивания, продолжительности вегетационного периода и вида растения. По усредненным данным [13], урожайность трехлетних посадок мискантуса в условиях Англии составила, т/га: у *Miscanthus giganteus* – 13,8–18,7, *Miscanthus sacchariflorus* – 11,0–12,0, *Miscanthus sinensis* – 4,6–10,9; в Германии – 22,8–29,1, 12,0–13,0 и 9,1–12,8, в Португалии – 34,7–37,8, 35,0–36,0 и 16,1–22,4 соответственно. Влияние климатических условий региона на урожайность мискантуса показано в работах ряда отечественных и зарубежных авторов [13].

В таких штатах США, как Нью-Джерси, Иллинойс и Небраска, урожайность *M. giganteus* составила 9,5, 15,6 и 27,7 т/га, соответственно в Испании – 17,6 т/га, во Франции – 22 т/га; в Европейской части России 7,8, 5,7 и 4,2 т/га для *M. sinensis*, *M. giganteus* и *M. sacchariflorus* соответственно; в Западной Сибири урожай *M. giganteus* составил 16,6 т/га, *M. sacchariflorus* – 12,0 т/га.

Растительная биомасса травянистого растения рода *Miscanthus* может применяться в промышленности

в качестве источника получения композитных материалов, строительных элементов, топливных брикетов или топлива, а также для производства бумаги, хлорофилла, питательного компонента для микроорганизмов, растений и т. д. [13, 14].

Основными преимуществами применения растительной биомассы мискантуса в качестве источника биологического топлива являются [15]:

- низкая себестоимость полученного тепла: затраты на производство 1 Гкал тепла из мискантуса составят \$ 4–15, в то время как затраты на производство этого же количества тепла, выработанного из мазута, составят более \$ 28, из газа – более \$ 34, из каменного угля – более \$ 20;
- возобновляемый ресурс;
- экологичность продукта и сырья.

Также мискантус является перспективным сырьем для получения технической целлюлозы, потребность в которой последние двадцать лет увеличилась. Уже ведутся научные изыскания по возможности применения мискантуса для получения технической целлюлозы [16–19].

Растительная биомасса является источником глюкозы, которую можно получить гидролитическим способом с применением ферментных препаратов [20–23]. Простые сахара являются головным сырьем для получения различного биологического топлива, органических кислот, белков, аминокислот и гормонов, которые получают в результате биотехнологических процессов, в том числе микробиологического синтеза [24–27]. Главным недостатком растительного сырья является то, что растительная клеточная стенка очень прочная и не может быть использована микроорганизмами как субстрат, а современные методы биотехнологии с этой задачей еще не справляются [28–30].

С целью изучения возможностей применения травянистого растения рода мискантус в промышленных масштабах в 2012 г. ученые начали исследования по теме «Оптимизация производства биомассы мискантуса» в рамках реализации проекта Европейского Союза FP7-KBBE-2011-5. Проект охватывает шесть стран Европейского союза, которые по единой схеме на полях засеяли различные сорта мискантуса [26]. В исследованиях участвовала Россия (полевые испытания ведутся на территории станции РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева). В ходе эксперимента на полях высевали различные виды мискантуса: мискантус сахароцветковый (*M. sacchariflorus*), мискантус китайский (*M. sinensis* Anderss), мискантус гибридный (*Miscanthus × hybrid*) и мискантус гигантский (*Miscanthus × giganteus* GreefatDeu). В ходе эксперимента выявлено, что урожайность мискантуса зависит от места его возделывания [2]. Наилучшая урожайность мискантуса отмечена в Германии, Турции и Украине. Незначительные результаты по урожайности пока-

зали такие страны, как Великобритания и Россия. В России урожайность мискантуса в 2013 г. составила 3 т сухого вещества с 1 га, в то время как в Турции это значение достигло более 12 т сухого вещества с 1 га [6]. Исследования продолжаются [1–3, 5–7, 11–13].

Целью данной работы являлось изучение процесса ферментативного гидролиза предобработанной биомассы мискантуса.

В задачи исследования входили:

- подбор параметров предварительной механической и химической обработки биомассы мискантуса с целью последующего получения углеводсодержащих субстратов для биотехнологии;
- разработка рациональных режимов проведения ферментативного гидролиза предобработанной биомассы мискантуса для получения углеводсодержащих субстратов для биотехнологии (состав мультиферментной композиции, температура, продолжительность гидролиза);
- анализ углеводного состава гидролизатов, полученных в результате ферментативного гидролиза биомассы мискантуса.

Объекты и методы исследования

С целью разработки технологии получения углеводсодержащих субстратов для биотехнологии из травянистого растения мискантус китайский «Стриктус» (*Miscanthus sinensis* Strictus) проводили подбор основных параметров предварительной механической обработки биомассы мискантуса. Выбор механической обработки зависел от способа обработки, размера частиц, выхода и химического состава углеводсодержащей биомассы [31–33]. Подбор условий механической обработки мискантуса осуществляли на основании общего выхода углеводсодержащей биомассы из мискантуса. Механическую обработку мискантуса проводили тремя способами: измельчением до размера частиц 1 см и 1 мм ножевой мельницей SecoMS (NETZSCH-Feinmahltechnik GmbH, Германия) и измельчением до размера частиц 0,2–0,3 мм молотковой дробилкой (ООО «Уральский завод котельного оборудования», Асбест, Россия). Размер частиц после помола изучали штангельциркулем и линейкой. Выводили среднее значение. Каждое измерение проводили в трех повторностях. Выход углеводсодержащей биомассы определяли хлорным методом [34].

Температура предварительной обработки была установлена 121 ± 2 °C. Предварительная обработка щелочью проводилась с концентрацией гидроксида натрия 1,0 % в течение 30 ± 2 мин. Концентрация кислот составляла 3,0 %, обработку проводили в течение 60 ± 2 мин. Для этого 50 г измельченной с помощью молотковой дробилки биомассы мискантуса предварительно обрабатывали в стеклянных колбах, каждая из которых содержала 10 г измельченного

мискантуса и 100 мл химического реагента (раствор гидроксида натрия или растворы органических кислот). Далее колбы герметично закрывали и автоклавировали в автоклаве (модель 3021, Amsco, Mentor, США) при температуре 121 ± 2 °C в течение времени предварительной обработки (30 ± 2 мин). На следующей стадии предварительно обработанный мискантус собирали с помощью метода вакуумной фильтрации и промывали 500 мл деионизированной водой для удаления остаточных реагентов. Биомассу, полученную из колб, смешивали в пластиковых банках (500 мл) и проводили анализ по разложению углеводов.

Для оценки разложения углеводов изучали количественное содержание (глюкана и ксилана) [35]. Для этого влажный и предварительно обработанный мискантус в количестве 4 г сушили в вакуумном сушильном шкафу при температуре 40 ± 2 °C. Оставшийся предварительно обработанный мискантус хранили не более трех дней при температуре 4 ± 2 °C для последующего ферментативного гидролиза.

Для исследования использованы образцы биомассы мискантуса китайского «Стриктус», измельченной на молотковой дробилке до размеров 0,2–0,3 мм с последующей делигнификацией трихлоуксусной кислотой [36].

Для ферментативного гидролиза были использованы коммерчески доступные препараты целлюлаз грибного происхождения: целлюлаза из *Aspergillus niger*, целлюлаза из *Trichoderma reesei* («Целлюлаза Ультра»), ксиланаза из *Thermomyces lanuginosus* и β -глюканаза из *Myceliophthorafergusii*.

Проводили оценку целлюлазной активности коммерческого ферментного препарата «Целлюлаза Ультра» и мультферментных композиций в диапазоне концентрации 0,1–10,0 мг/мл цитратного буфера, в отношении субстрата с концентрацией 50 г/л при температуре 40 ± 1 °C и pH 4,7. Степень гидролиза определяли в пересчете на холоцеллюлозу из расчета содержания холоцеллюлозы в растительной биомассе 70 %.

Ферментативный гидролиз осуществляли стационарно в течение 72 ч для всех образцов при температуре 40 ± 1 °C и pH 4,7. Концентрация субстрата во всех пробах составляла 50 г/л, концентрация ферментного препарата в каждом образце – 0,1 мг/мл цитратного буфера.

Определение содержания редуцирующего вещества и D-глюкозы в пробе осуществлялось с использованием реагента 3,5-динитросалициловой кислоты на спектрофотометре Shimadzu UV-1800 (Shimadzu, Япония) при длине волны 530 нм в кюветах с толщиной поглощающего свет слоя 10 мм.

Далее проводили анализ углеводного состава гидролизатов, полученных в результате ферментативного гидролиза биомассы мискантуса китайского «Стриктус».

Полученные гидролизаты исследовали методом МАЛДИ-ТОФ с целью определения остатков моносахаридов, полисахаридов и лигнина. Для этого проводили оценку профиля молекулярных масс экстрагированных лигнинов с использованием техники MALDI-TOF спектрометрии по модифицированной методике [37].

Масс-спектры получены с применением времяпролетного масс-спектрометра Bruker Autoflex с системой ионизации методом лазерной десорбции ионизации в линейном режиме сканирования положительно заряженных ионов. Параметры настройки во всех случаях одинаковы:

- напряжение на ионных источниках 19,5 и 18,45 кВ соответственно;
- напряжение ионной линзы 8 кВ;
- лазер: Nd: YAG;
- частота излучения 1 ГГц;
- количество импульсов на одно измерение – 500.

Во всех случаях в качестве матрицы применяли насыщенный раствор α -циано-4-гидрокси-коричной кислоты в смеси 1:1 ацетонитрил:вода с добавкой 0,1 %-ной трифторуксусной кислоты.

Негидролизированный лигнин определяли следующим образом: отделяли негидролизированный остаток после ферментативного гидролиза фильтрацией, подкисляли фильтрат лигнина соляной кислотой до образования осадка лигнина, разделяли лигнин методом препаративной ВЭЖХ с использованием хроматографа Shimadzu (Shimadzu, Япония), скорость потока 10 мл/мин, градиент фазы А–Б 1–90 % за 15 мин (фаза А – 0,1 % трифторуксусной кислоты, Б – ацетонитрил). Каждую индивидуальную фракцию упаривали до суха, взвешивали, определяли выход, структуру соединений идентифицировали методом ЯМР ^1H спектрометрии.

Наибольшее распространение в исследовании органических веществ имеет спектроскопия протонного магнитного резонанса (ЯМР ^1H). ЯМР ^1H спектры получали с помощью ЯМР-спектрометра Bruker Avance (Bruker, Германия) с рабочей частотой 400 МГц. Данная частота магнитного поля отвечает за разность энергетических уровней водородного ЯМР-спектра. При данной частоте именно ядро водорода будет поглощать энергию и перейдет с нижнего энергетического уровня на верхний, на спектрограмме фиксируются данные пики (рис. 6). Частота 400 МГц не позволяет зафиксировать углеродный ЯМР-спектр.

Результаты и их обсуждение

Результаты выхода углеводсодержащей биомассы, в зависимости от способа механической обработки, представлены в таблице 1.

С целью более полной оценки влияния механической обработки травянистого растения

Таблица 1. Условия механической обработки мискантуса китайского «Стриктус»

Table 1. Conditions for mechanical processing of *Miscanthus sinensis* Strictus

Способ механической обработки/размер частиц	Размер частиц, мм	Выход углеводсодержащей биомассы %
Ножевая мельница/1 см	9,8–13,0	36,00 ± 1,08
Молотковая дробилка/0,2–0,3 мм	0,2–0,3	62,33 ± 1,87
Ножевая мельница/1 мм	0,8–1,1	60,33 ± 1,81

мискантус китайский «Стриктус» (*Miscanthus sinensis* Strictus) изучали химический состав полученной разными способами механической обработки углеводсодержащей биомассы. Для этого методом ВЭЖХ оценивали качественный и количественный состав углеводов [38]. Результаты представлены в таблице 2.

Далее проводили подбор параметров химической обработки биомассы мискантуса с целью последующего получения углеводсодержащих субстратов для биотехнологии [39]. Для этого использовали гидроксид натрия (NaOH), разбавленные бензойная, перфторуксусная, надуксусная и пербензойная кислоты, делигнификацию и ультразвук.

Результаты изучения представлены в таблице 3.

Таблица 2. Химический состав полученной разными способами механической обработки углеводсодержащей биомассы травянистого растения мискантус китайский «Стриктус»

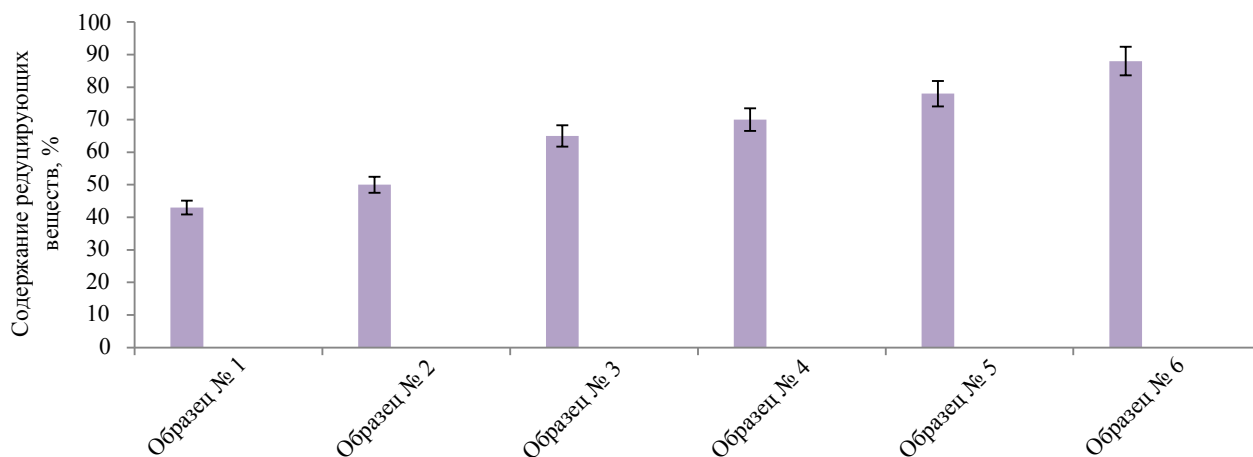
Table 2. Chemical composition of the carbohydrate-containing biomass of *Miscanthus sinensis* Strictus obtained by various methods of mechanical treatment

Наименование вещества	Массовая доля, %		
	Ножевая мельница/1 см	Молотковая дробилка/0,2–0,3 мм	Ножевая мельница/1 мм
Целлюлоза	27,80 ± 0,83	63,50 ± 1,90	48,20 ± 1,44
Лигнин	22,30 ± 0,67	19,60 ± 0,58	11,40 ± 0,34
Углеводы	26,90 ± 0,80	7,30 ± 0,21	29,30 ± 0,88
Глюканы	10,80 ± 0,32	6,30 ± 0,19	4,60 ± 0,14
Ксиланы	12,20 ± 0,37	3,30 ± 0,09	6,50 ± 0,19

Результаты ферментативного гидролиза целлюлозосодержащего сырья мискантуса китайского «Стриктус» различными видами ферментных препаратов и мультиферментными композициями представлены на рисунках 1 и 2.

Влияние продолжительности ферментативного гидролиза мискантуса на выход редуцирующих веществ при различных температурах представлено на рисунке 3.

Результаты исследования лигнина, полученного в процессе ферментативного гидролиза из биомассы



Ферменты и ферментные композиции

Образец № 1 – Целлюлаза из *Aspergillus niger*; Образец № 2 – Целлюлаза «Целлюлаза Ультра»; Образец № 3 – Целлюлаза из *Aspergillus niger* с ксиланазой из *Thermomyces lanuginosus*; Образец № 4 – Целлюлаза «Целлюлаза Ультра» с ксиланазой из *Thermomyces lanuginosus*; Образец № 5 – Целлюлаза из *Aspergillus niger* с ксиланазой из *Thermomyces lanuginosus* и β -глюканазой из *Myceliophthorafergusii*; Образец № 6 – Целлюлаза «Целлюлаза Ультра» с ксиланазой из *Thermomyces lanuginosus* и β -глюканазой из *Myceliophthorafergusii*

Рисунок 1. Ферментативный гидролиз биомассы мискантуса

Figure 1. Enzymatic hydrolysis of miscanthus biomass

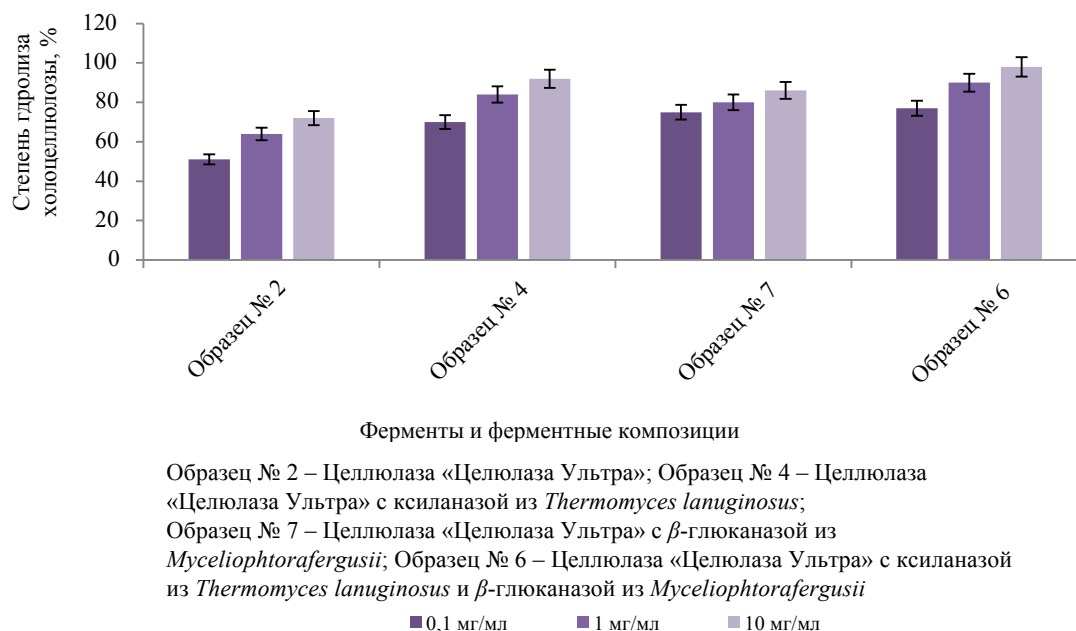


Рисунок 2. Ферментативный гидролиз биомассы мискантуса при различных концентрациях ферментных препаратов

Figure 2. Enzymatic hydrolysis of miscanthus biomass at various concentrations of enzyme preparations

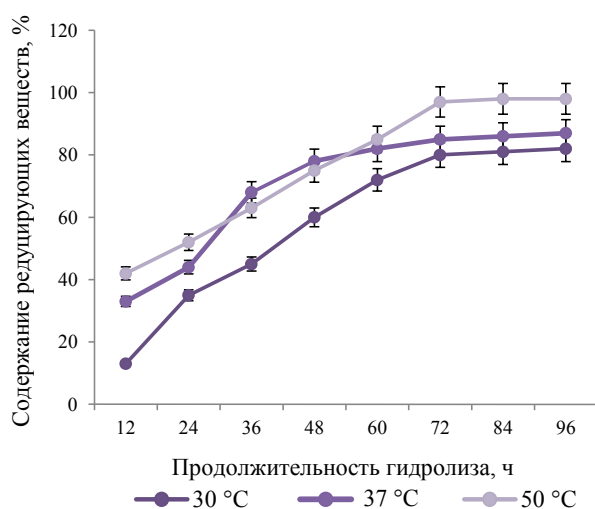


Рисунок 3. Влияние продолжительности гидролиза на выход редуцирующих веществ при различных температурах

Figure 3. Effect of hydrolysis time on the yield of reducing substances at different temperatures

мискантуса китайского «Стриктус», представлены на рисунке 4.

В результате анализа полученных данных МАЛДИ-ТОФ масс-спектрометрии сделан вывод о структуре фрагментов лигнина, полученного в результате ферментативного гидролиза биомассы мискантуса (рис. 5).

Состав лигнина и полисахаридов, полученных методом ферментативного гидролиза при различной продолжительности, представлен в таблице 4.

Состав моносахаридов, полученных в результате воздействия ферментативного гидролиза на целлюлозу мискантуса, определенный методом МАЛДИ-ТОФ спектрометрии, представлен в таблице 5.

Химический состав мискантуса после ферментативного гидролиза представлен в таблице 6. ЯМР ^1H спектры остаточного лигнина представлены на рисунке 6.

Анализ ЯМР ^1H спектров позволил предположить варианты структуры негидролизованного остаточного лигнина после ферментативного гидролиза мискантуса, которые представлены на рисунке 7.

Анализ результатов, представленных в таблице 1, свидетельствует о том, что максимальный выход углеводсодержащего сырья наблюдается при применении молотковой дробилки (2,33 %), а наименьший – при применении ножевой мельницы (36,00 %) с применением частиц от 9,8 до 13,0 мм. В случае применения ножевой мельницы и более мелких частиц растительного сырья выход углеводсодержащей биомассы увеличивается практически в два раза, т. е. составил 60,33 %.

Из табличных данных следует, что при способе механической обработки ножевой мельницей с размером частиц мискантуса 1 см выход углеводсодержащей биомассы составил 36 %. При этом наблюдался наименьший выход целлюлозы (21 %) и наибольший выход лигнина ($22,30 \pm 0,67$ %).

Таблица 3. Степень разложения углеводов углеводсодержащей биомассы травянистого растения мискантус китайский «Стриктус»

Table 3. Decomposition of carbohydrates in the carbohydrate-containing biomass of *Miscanthus sinensis* Strictus

Способ химической обработки	Степень разложения углеводов %	
	Глюкан	Ксилан
NaOH	31,92 ± 0,95	29,40 ± 0,88
Бензойная кислота	43,26 ± 1,29	56,86 ± 1,70
Перфторуксусная кислота	87,41 ± 2,62	80,55 ± 2,41
Надуксусная кислота	64,90 ± 1,94	47,23 ± 1,41
Пербензойная кислота	51,61 ± 1,55	32,89 ± 0,98
Ультразвук	68,97 ± 2,07	75,31 ± 2,26
Делигнификация трифторуксусной кислотой	95,72 ± 2,87	75,94 ± 2,27

Анализ данных с использованием молотковой дробилки с размером частиц мискантуса 0,2–0,3 мм позволяет сделать вывод о том, что максимальное накопление углеводсодержащей биомассы составило 62,33 %. Установлено, что при применении молотковой дробилки наблюдался максимальный выход целлюлозы $63,50 \pm 1,90$ % и наименьший выход ксиланов $(3,30 \pm 0,09$ %) и углеводов

$(7,30 \pm 0,21$ %). Определено, что массовая доля лигнина составила $19,60 \pm 0,58$ %. Это выше, чем в углеводсодержащей биомассе, полученной с помощью ножевой мельницы с размером частиц мискантуса 1 мм. Содержание гликанов при использовании молотковой дробилки в 1,37 раз выше, чем при применении ножевой мельницы с размерами частиц мискантуса 1 мм. Установлено, что при использовании ножевой мельницы и размера частиц мискантуса 1 мм наблюдается максимальный выход углеводов $(29,30 \pm 0,88$ %) и наименьший выход лигнина $(11,40 \pm 0,34$ %). Полученные данные согласуются с исследованиями [40–42].

В исследовании [43] описано, что энергозатраты на измельчение мискантуса с помощью молотковой мельницы могут достигать 50–65 кДж/кг собранной биомассы мискантуса. Это может увеличить затраты на обработку мискантуса перед ферментативным гидролизом. Однако, согласно исследованию [43], необходимость такой обработки не вызывает сомнений, т. к. выход целлюлозы из предобработанной биомассы мискантуса превышает значения, полученные без предварительной обработки.

Исходя из анализа табличных данных (табл. 1–3), можно сделать вывод о том, что оптимальным является способ механической обработки с помощью молотковой мельницы с размером частиц мискантуса

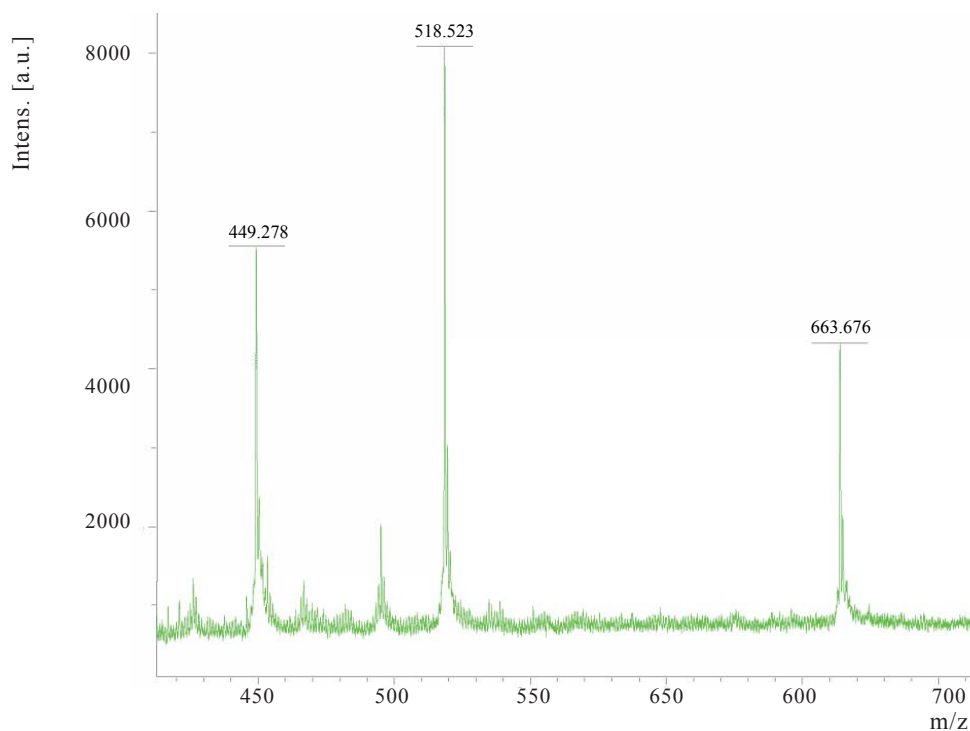


Рисунок 4. Результаты исследования гидролизатов, полученных методом ферментативного гидролиза биомассы мискантуса, методом МАЛДИ-ТОФ спектрометрии

Figure 4. Hydrolysates obtained by enzymatic hydrolysis of miscanthus biomass by MALDI-TOF spectrometry

Таблица 4. Состав лигнина и полисахаридов, полученных в результате ферментативного гидролиза при различной продолжительности

Table 4. Composition of lignin and polysaccharides obtained as a result of enzymatic hydrolysis at various times

Время ферментативного гидролиза, ч	Полисахариды, %		Остаточный лигнин, %		
	Глюкан	Ксилан	Не растворимый в кислоте	Растворимый в кислоте	Негидролизированный
24	18,40 ± 0,11	2,50 ± 0,81	7,80 ± 0,52	1,70 ± 0,06	9,50 ± 0,46
48	32,20 ± 2,14	4,40 ± 0,33	7,60 ± 1,40	1,50 ± 0,02	8,40 ± 1,72
72	38,80 ± 0,27	7,20 ± 0,01	1,00 ± 2,19	1,30 ± 0,06	2,10 ± 2,13
96	29,70 ± 5,32	н.о.*	6,80 ± 1,72	1,60 ± 0,01	8,10 ± 2,48
120	29,10 ± 0,21	н.о.	7,40 ± 2,48	1,50 ± 0,04	9,10 ± 1,42

н.о.* – не обнаружено.

н.о.* – not detected.

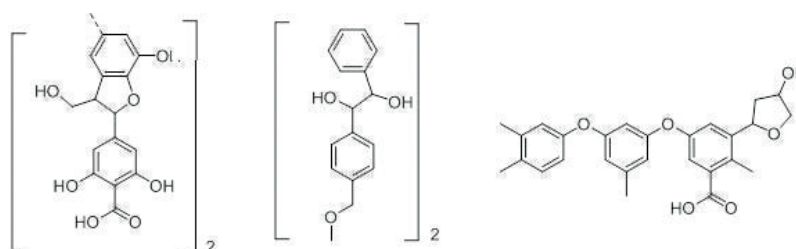


Рисунок 5. Структура фрагментов гидролизованного лигнина, полученного в результате ферментативного гидролиза биомассы мискантуса

Figure 5. Fragments of hydrolyzed lignin obtained as a result of enzymatic hydrolysis of miscanthus biomass

0,2–0,3 мм, выходом углеводсодержащей биомассы 62,33 ± 1,87 % и целлюлозы 63,50 ± 1,90 %.

Анализ данных таблицы 3 позволяет сделать вывод о том, что наибольшее разложение углеводов наблюдалось при применении метода делигнификации трифторуксусной кислотой за счет полного разрушения перекрестно-сложноэфирных связей между лигнином и гемицеллюлозой. В ходе гидролиза происходило формирование темной гуминоподобной окраски за счет образования гуминоподобных веществ – природных органических соединений. Количество разложившегося глюкана в этом случае составило 95,72 ± 2,87 %, ксилана – 75,94 ± 2,27 %. При обработке ультразвуком разлагается достаточно большое количество углеводов на глюкан (68,97 ± 2,07 %) и ксилан (75,31 ± 2,26 %) по сравнению с использованием водного раствора гидроксида натрия и растворов органических кислот. При применении водного раствора гидроксида натрия образуется 31,92 ± 0,95 % глюкана и 29,40 ± 0,88 % ксилана, а при использовании водного раствора бензойной кислоты – 43,26 ± 1,29 % глюкана и 56,86 ± 1,70 % ксилана. В случае применения перфторуксусной кислоты для разложения углеводов углеводсодержащей биомассы травянистого растения мискантус китайский «Стриктус»

образуется 87,41 ± 2,62 % глюкана и 80,55 ± 2,41 % ксилана. При использовании водного раствора надуксусной кислоты образуется 47,23 ± 1,41 % глюкана и 80,55 ± 2,41 % ксилана. Установлено, что степень разложения углеводов углеводсодержащей биомассы травянистого растения мискантус китайский «Стриктус» при применении пербензойной кислоты достигает 51,61 ± 1,55 % по глюкану и 32,89 ± 0,98 % по ксилану.

Наиболее рациональной является механическая обработка биомассы мискантуса с использованием молотковой дробилки с размером частиц мискантуса 0,2–0,3 мм и выходом углеводсодержащей биомассы 62,33 ± 1,87 %. В качестве химической обработки биомассы мискантуса выбрана делигнификация трифторуксусной кислотой со степенью разложения углеводов до глюкана 95,72 ± 2,87 % и ксилана 75,94 ± 2,27 % для проведения ферментативного гидролиза предобработанной биомассы мискантуса с целью получения углеводсодержащих субстратов для биотехнологии. Полученные данные подтверждаются несколькими исследованиями, в которых получены аналогичные результаты [44].

Основной проблемой, ограничивающей использование растительной биомассы в биотехнологии, является отсутствие технологий переработки, способных преобразовать клеточную

Таблица 5. Состав моносахаридов, полученных в результате воздействия ферментативного гидролиза на целлюлозу мискантуса

Table 5. Composition of monosaccharides obtained as a result of enzymatic hydrolysis of miscanthus cellulose

№ п/п	Название моносахаридов	Содержание моносахаридов, %				
		24 ч	48 ч	72 ч	96 ч	120 ч
1	Арабиноза	1,86 ± 0,09	2,05 ± 0,10	2,45 ± 0,12	2,25 ± 0,11	1,95 ± 0,10
2	Ксилоза	18,68 ± 0,93	20,42 ± 1,02	24,40 ± 1,22	23,40 ± 1,17	22,50 ± 1,13
3	Галактоза	0,32 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,50 ± 0,03	0,48 ± 0,02	0,37 ± 0,02
4	Глюкоза	28,40 ± 1,42	35,10 ± 1,76	40,50 ± 2,02	38,20 ± 1,91	35,50 ± 1,76
5	Уроновые кислоты	1,50 ± 0,08	1,90 ± 0,10	2,10 ± 0,10	1,80 ± 0,09	1,70 ± 0,09

Таблица 6. Химический состав мискантуса после ферментативного гидролиза

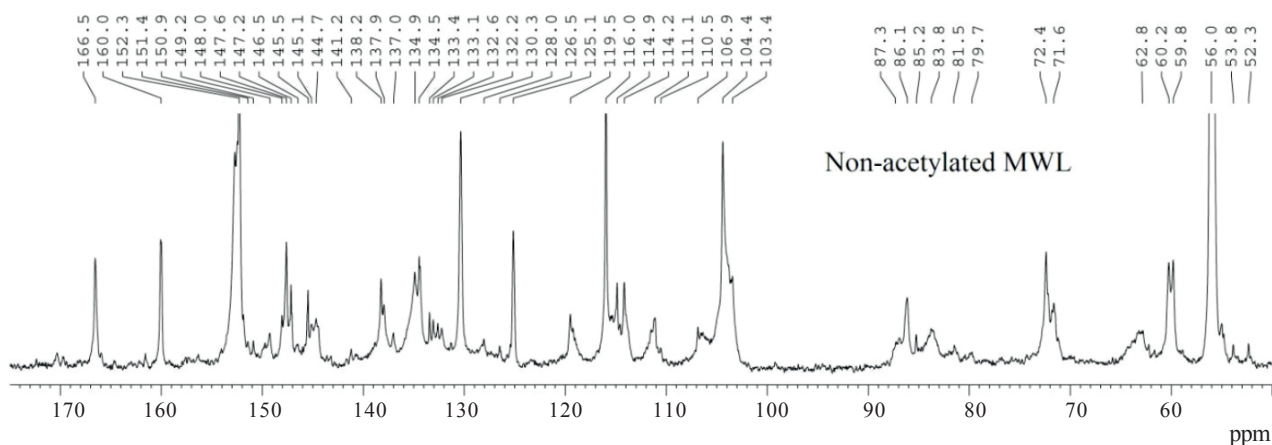
Table 6. Chemical composition of miscanthus after enzymatic hydrolysis

№ п/п	Показатель	Массовая доля, %
1	Жировосковая фракция	4,95 ± 0,05
2	Зольность	5,82 ± 0,05
3	Лигнина	22,50 ± 0,50
4	Пентозаны	20,80 ± 0,50
5	Целлюлоза по Кюршнеру	53,30 ± 0,50

стенку растений в субстрат для микроорганизмов [45–47]. На данном этапе исследования осуществляли подбор параметров ферментативного гидролиза предобработанной биомассы мискантуса целлюлолитическими ферментами препаратами для выявления наибольшей степени биоконверсии целлюлозосодержащего сырья и дальнейшего использования полученных гидролизатов в качестве субстратов для биосинтеза бактериальной целлюлозы [48–50].

Для расщепления целлюлозы необходимо синергическое действие трех ферментов: эндо-глюканазы (ЕС 3.2.1.4); экзоглюканазы, включая целлодекстриназы (ЕС 3.2.1.74) и целлобиогидролазы (ЕС 3.2.1.91, ЕС 3.2.1.176); β -глюкозидазы (ЕС 3.2.1.21). Цепь целлюлозы случайным образом разрезает эндоглюканазы, целлобиогидролазы атакуют конец целлюлозной цепи, а β -глюкозидазы гидролизуют целлобиозу и короткие (растворимые) сахара до глюкозы.

Для более полного гидролиза гемицеллюлозы требуется эндо- β -1,4-ксилазная активность. Эля этого планируется использовать ксиланазу. Ксиланаза представляет собой комплекс ферментов, задействованных в деградации гетерогенного полисахарида – ксилана. Основным является фермент эндо-1,4-ксилаза (КФ 3.2.1.8), который катализирует распад ксилана до ксилоолигосахаридов. Другие ферменты, такие как ксилозидаза, L-арабинофуразидаза, глюкуронидаза и эстераза (ксилацетиластераза и ферилоиластераза), выполняют полный гидролиз ксилоолигосахаридов до мономеров [51–53].

Рисунок 6. ЯМР ^1H спектры негидролизованного остаточного лигнинаFigure 6. ^1H NMR spectra of non-hydrolyzed residual lignin

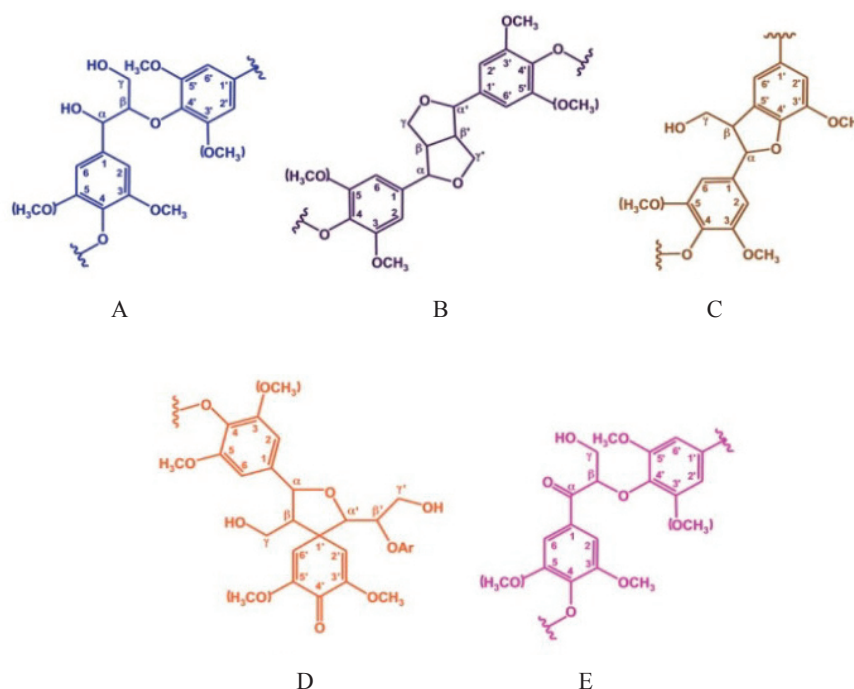


Рисунок 7. Предположительные варианты структуры негидролизованного остаточного лигнина

Figure 7. Presumable variants of the structure of non-hydrolyzed residual lignin

Из рисунка 1 видно, что добавление в реакционную смесь ксиланазы способствует более полному расщеплению холоцеллюлозы мискантуса. Содержание редуцирующих веществ увеличивается на $12,0 \pm 0,6$ % в комбинации с целлюлазой из *Aspergillus niger* (Образец № 1) и на $20,0 \pm 1,0$ % в комбинации с целлюлазой «Целлюлаза ультра» (Образец № 2). Наибольшее содержание редуцирующих веществ наблюдается при использовании мультиферментных композиций, в составе которых находится β -глюканаза (Образцы № 5 и 6), катализирующая 1,3 и 1,4 гликозидные связи из β -глюканов, а также способная к расщеплению гемицеллюлозы, ксиланов и целлюлозы.

Максимальный выход редуцирующих веществ составил $88,0 \pm 4,4$ % в результате гидролиза биомассы мискантуса мультиферментной композицией, состоящей из «Целлюлозы Ультра», ксиланазы из *Thermomyces lanuginosus* и β -глюканазы из *Myceliophthorafergusii* (Образец № 6). Целлюлаза из *A. niger* (Образец № 1) показывает недостаточную целлюлолитическую активность даже в комбинации с другими ферментами (Образцы № 3 и 5). Поэтому дальнейшие исследования будут проводиться с «Целлюлазой Ультра» в комплексе с ксиланазой и β -глюканазой (Образцы № 4 и 6).

Анализ результатов, представленных на рисунке 2, свидетельствует о том, что коммерческий ферментный препарат «Целлюлаза Ультра», который представляет собой комплекс ферментов целлюлазно-глюканазно-ксилааназного действия,

осуществляет неполный гидролиз холоцеллюлозы мискантуса. Процент гидролиза при концентрации фермента 10 мг/мл составляет $72,0 \pm 3,6$ %. Для полного гидролиза холоцеллюлозы необходимо использование мультиферментной композиции, состоящей из «Целлюлозы Ультра» и ксиланазы (Образец № 4) (процент гидролиза – $92,0 \pm 4,6$ % при концентрации 10 мг/мл). Максимальной биоконверсии биомассы мискантуса в сахара удалось достичь при использовании мультиферментной композиции из «Целлюлозы Ультра», ксиланазы и β -глюканазы (Образец № 6). При пересчете на массу гидролизующихся компонентов степень гидролиза составила $96,0 \pm 4,8$ %, что соответствует $67,2$ % конверсии в пересчете на биомассу.

В связи с тем что в состав ферментной композиции входят ферменты с различным оптимумом действия, проведены исследования по изучению влияния температуры и продолжительности гидролиза на выход редуцирующих веществ в процессе биоконверсии биомассы мискантуса мультиферментной композицией из «Целлюлозы Ультра», ксиланазы и β -глюканазы с концентрацией 10 мг/мл цитратного буфера (Образец № 6), концентрацией субстрата 50 г/л и pH 4,7. Температуру варьировали от 30 до 50 °C (рис. 3).

Анализ данных, представленных на рисунке 3, показал, что максимальное содержание редуцирующих веществ наблюдалось через 72 ± 1 ч и составило $80,00 \pm$

4,00 % при температуре ферментации $30 \pm 1^\circ\text{C}$, $85,00 \pm 4,25$ % при температуре $37 \pm 1^\circ\text{C}$ и $97,00 \pm 4,85$ % при температуре $50 \pm 1^\circ\text{C}$.

В результате ферментативного гидролиза лигнина гидролизировался до полисахаридов и остаточного, негидролизованного, растворимого и не растворимого в кислоте лигнина. Целлюлоза мискантуса в результате ферментативного гидролиза превращалась в моносахариды.

Результаты исследования полисахаридов и лигнина, полученных ферментативным гидролизом биомассы мискантуса, представленные на рисунке 4, показывают, что сигнал с массой 663,676 m/z соответствует димеру фенилкумароновой кислоты, сигнал с массой 518,523 m/z – димеру 1-(4-метоксифенил) фенил)-2-фенилэтан-1,2-диола, сигнал с массой 449,278 m/z – фрагменту феноксифенилкумароновой кислоты.

Анализ табличных данных (табл. 4) позволяет сделать вывод о том, что при времени ферментативного гидролиза биомассы мискантуса 72 ч наблюдалось наименьшее количество негидролизованного лигнина – 42,1 %. Данный факт говорит о том, что при времени гидролиза 72 ч гидролиз лигнина проходит наиболее полно. Наблюдается наибольшее количество полисахаридов, образующихся в процессе ферментативного гидролиза биомассы мискантуса: 38,8 % глюкозы и 7,2 % ксилана.

При времени ферментативного гидролиза 24 ч наблюдается наибольшее количество негидролизованного лигнина – 69,5 %, наименьшее количество глюкозы и ксилана – 18,4 и 2,5 % соответственно.

При времени ферментативного гидролиза биомассы лигнина 48 ч количество негидролизованного лигнина составляло 60,4 %, не растворимого в кислоте лигнина – 57,6 %, растворимого в кислоте лигнина – 1,5 %. Глюкоза образовалась 32,2 %, ксилана – 4,4 %.

При времени ферментативного гидролиза 96 и 120 ч ксилан не обнаружен, а глюкоза образовалась 29,7 и 29,1 % соответственно. Негидролизованного лигнина образовалось 58,9 и 59,1 % соответственно. Не растворимого в кислоте лигнина образовалось 58,8 и 57,4 % соответственно. Растворимого в кислоте лигнина образовалось 1,6 и 1,5 % соответственно.

Таким образом, при оптимальном времени ферментативного гидролиза биомассы мискантуса 72 ч гидролиз идет более полно с наименьшим количеством образовавшегося негидролизованного лигнина и с наибольшим количеством образовавшихся полисахаридов.

Из данных таблицы 5 следует, что в результате ферментативного гидролиза целлюлозы, содержащейся в биомассе мискантуса, при продолжительности 72 ч получается наибольшее количество моносахарида глюкозы – 40,5 % и небольшое количество уроновых кислот – 2,1 %. Ксилозы образуется 24,4 %, что почти

в 10 раз больше образовавшейся арабинозы (2,45 %) и в 48,8 раз больше образовавшейся галактозы (0,5 %).

Как следует из представленных в таблице 6 данных, растение характеризуется массовой долей жировосковой фракции 4,95 %, зольностью 5,82 %, массовой долей кислотонерастворимого лигнина 22,5 %, массовой долей пентозанов 20,9 % и массовой долей целлюлозы 53,3 %. Полученные результаты согласуются с зарубежными данными для различных генотипов мискантуса в части основных компонентов: целлюлозы и лигнина [54, 55].

Универсальность ферментативного гидролиза биомассы мискантуса и достоверность полученных данных подтверждаются исследованиями ведущих ученых [56, 57–59]. В данных работах отмечено, что целлюлозосодержащее сырье считается одним из наиболее перспективных видов сырья для производства биопродуктов с добавленной стоимостью. Однако для реализации технологического процесса ферментативного гидролиза биомассы мискантуса обязательным условием является применение универсальных методов предварительной обработки. В данных работах описано исследование биоконверсии образцов целлюлозы овсяной шелухи и мискантуса путем ферментативного гидролиза. Образцы были получены двухступенчатой обработкой сырья разбавленными растворами азотной кислоты и гидроксида натрия. Ферментативный гидролиз проводили с использованием ферментных препаратов Cellolux-A и Ultraflo Core при исходной концентрации субстрата 40 г/л. На первом этапе изучали реакционную способность субстратов к ферментативному гидролизу в ацетатном буферном растворе в течение 72 ч. Было установлено, что образцы целлюлозы из обоих типов сырья обладают одинаково высокой реакционной способностью в отношении восстанавливающих веществ. Глюкоза, полученная из субстрата, составила 94–95 и 88–91 % соответственно. Это свидетельствует об универсальности применяемого метода предварительной обработки сырья с содержанием целлюлозы 35–45 %. На втором этапе гидролиз субстратов проводили в пилотном ферментере в водной среде с избытком ферментных препаратов. В течение 32 ч были получены водные гидролизаты с концентрацией редуцирующих веществ и глюкозы, равных 42 (выход 94 % из субстрата) и 33–35 г/л (выход 74–78 % из субстрата) соответственно. Содержание глюкозы (79–83 %) и пентозы (1–2 %) в редуцирующих веществах указывает на преобладание глюкозы в составе получаемых растворов. Высокая эффективность биоконверсии дополнительно демонстрируется сравнительным анализом результатов сканирующей электронной спектроскопии для субстратов и остатков после гидролиза в пилотном ферментере. Растворы

глюкозы, полученные в водной среде, становятся перспективным материалом для приготовления питательных сред и синтеза ценных метаболитов [56].

Выводы

В результате исследования подобраны параметры предварительной механической и химической обработки биомассы мискантуса с целью последующего получения углеводсодержащих субстратов для биотехнологии. Установлено, что для предварительной механической обработки биомассы травянистого растения мискантус китайский «Стриктус» (*Miscanthus sinensis* Strictus) рационально применять молотковую дробилку с размером частиц мискантуса 0,2–0,3 мм. При данном виде обработки наблюдается максимальный выход углеводсодержащей биомассы ($62,33 \pm 1,87 \%$). Определено, что для химической обработки биомассы мискантуса рационально применять метод делигнификации трифторуксусной кислотой. При данном химическом методе наблюдается максимальное разложение углеводов до глюкозы ($95,72 \pm 2,87 \%$) и ксилана ($75,94 \pm 2,27 \%$).

В результате проведенных исследований научно обоснованы параметры ферментативного гидролиза предобработанной биомассы мискантуса китайского «Стриктус» для получения углеводсодержащих субстратов и последующего их использования для биосинтеза бактериальной целлюлозы. Состав мультиферментной композиции: «Целлюлаза Ультра», полученная на основе селекционного штамма *Trichoderma reesei* (активность препарата 2500 ед/г), ксиланаза из *Thermomyces lanuginosus* (активность препарата 10 000 ед/г) и β -глюканаза из *Myceliophthora fergusii* (активность препарата 10 000 ед/см³). Температура ферментации 50 ± 1 °C, продолжительность 72 ± 1 ч. При указанных параметрах конверсия холоцеллюлозы биомассы мискантуса составила $96,0 \pm 4,8 \%$, выход редуцирующих веществ – $97,0 \pm 4,85 \%$.

Установлено, что в результате ферментативного гидролиза целлюлоза, содержащаяся в биомассе мискантуса, распадается до глюкозы, что коррелирует с данными исследования [56].

Анализ углеводного состава гидролизатов, полученных в результате ферментативного гидролиза биомассы мискантуса показал наличие остаточного лигнина, полисахаридов (глюкана и ксилана) и моносахаридов (арабинозы, ксилозы, галактозы, глюкозы и уоновых кислот), как и в исследовании [60].

Углеводсодержащие субстраты, образующиеся при экстракции целлюлозы из биомассы малоценных растений, могут использоваться в следующих направлениях:

1. В качестве компонентов твердых питательных сред для культивирования микроорганизмов.

Питательные среды для выращивания микроорганизмов на основе сельскохозяйственных отходов и малоценных растений имеют высокую рентабельность и являются альтернативой коммерческим средам как для исследовательских целей, так и для микробиологической промышленности [61];

2. В качестве бульонов для культивирования грибов и микроорганизмов. Производство микробной биомассы в жидкой культуре представляет собой обязательный этап до или часть проведения экспериментов с изолятами бактерий или дрожжей. Как правило, производство сред для таких исследований состоит из использования коммерчески производимых порошкообразных сред или сред, состоящих из определенных количеств очищенного углерода, азота и источников питательных веществ. Однако стоимость этих коммерчески приготовленных питательных или очищенных компонентов сред высока и может стать серьезным препятствием для проведения исследований в местах, где получение этих продуктов затруднено. Известны случаи успешного применения водных экстрактов растительных отходов для выращивания микроскопических грибов [62];

3. В качестве питательных бульонов для производства бактериальной целлюлозы. Бактериальная целлюлоза представляет собой линейный гомополимер, который состоит из d-глюкопиранозы, связанной с β -1,4 связями и может быть синтезирован с природными или генетически модифицированными микроорганизмами. По сравнению с растительной целлюлозой бактериальная представляет собой химически чистую целлюлозу. Несмотря на то, что бактериальная целлюлоза очень востребована в различных областях применения, ее производство является дорогостоящим процессом: стоимость синтетических питательных сред может составлять до 65 % от общей стоимости процесса. Одним из таких решений в мировой практике стало использование питательных бульонов на основе дешевого целлюлозного сырья для получения высокоценной бактериальной целлюлозы [63];

4. Углеводсодержащие субстраты имеют в своем составе простые и сложные сахара, которые могут метаболизироваться микроорганизмами с выделением биоэтанола. Использование углеводсодержащей биомассы в качестве источника биотоплива, в частности биоэтанола, является одним из предварительных условий устойчивого развития. По сравнению с другими возобновляемыми источниками энергии биоэтанол имеет несколько уникальных преимуществ, таких как применение в качестве

жидкого топлива, которое можно использовать в существующих двигателях транспортных средств, и распределение через существующую систему ископаемого топлива, а также он способствует развитию сельской экономики [64].

Критерии авторства

Фактический вклад каждого автора
О. Б. Калашикова – 20 %, Е. А. Буденкова – 20 %, Е. В. Ульрих – 20 %, Е. Г. Чупахин – 10 %, О. В. Кригер – 10 %, Я. А. Масютин – 5 %, М. А. Смага – 10 %, Ю. С. Басова – 5 %.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

O.B. Kalashnikova – 20%, E.A. Budenkova – 20%, E.V. Ulrikh – 20%, E.G. Chupakhin – 10%, O.V. Kriger – 10%, Ya.A. Masiutin – 5%, M.A. Smaga – 10%, Yu.S. Basova – 5%.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Anisimov AA, Khokhlov NF, Tarakanov IG. *Miscanthus (Miscanthus spp.) in Russia: opportunities and prospects. New and non-traditional plants and application prospects.* 2016;12:3–5. (In Russ.).
Анисимов А. А., Хохлов Н. Ф., Тараканов И. Г. Мискантус (*Miscanthus spp.*) в России: возможности и перспективы // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2016. № 12. С. 3–5.
2. Anisimov AA, Khokhlov NF, Tarakanov IG. Photoperiodic regulation of ontogenesis in different miscanthus species (*Miscanthus spp.*). *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy.* 2016;(6):56–72. (In Russ.).
Анисимов А. А., Хохлов Н. Ф., Тараканов И. Г. Особенности фотопериодической регуляции онтогенеза у различных видов мискантуса (*Miscanthus spp.*) // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2016. № 6. С. 56–72.
3. Baibakova OV, Skiba EA. Biotechnological view of ethanol biosynthesis from miscanthus. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding.* 2014;18(3):564–571. (In Russ.).
Байбакова О. В., Скиба Е. А. Биотехнологические аспекты биосинтеза этанола из мискантуса // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2014. Т. 18. № 3. С. 564–571.
4. Buryndin VG, Artyemov AV, Savinovskih AV, Krivonogov PS, Krivonogova AS. Biostability of binder-free wood and plant plastics protected with antiseptics. *Foods and Raw Materials.* 2022;10(1):148–154. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-148-154>
5. Vazetdinova AA, Kharina MV, Loginova IV, Kleschevnikov LI. Enzymatic hydrolysis of cellulosic residuals of furfural production from vegetable raw materials. *Bashkir Chemistry Journal.* 2017;24(1):27–31. (In Russ.).
Ферментализация целлюлозосодержащих остатков производства фурфурола из отходов растительного сырья / А. А. Вазетдинова [и др.] // Башкирский химический журнал. 2017. Т. 24. № 1. С. 27–31.
6. Gushchina VA, Borisova EN. Growth and development of first year *Miscanthus giganteus* depending on hydrothermal conditions. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy.* 2017;37(1):12–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2017-1-12-18>
7. Gushina VA, Kukharev ON, Borisova YeN. Methods of weed control of miscanthus giant in agroecosystems. *Volga Region Farmland.* 2017;43(2):13–18. (In Russ.).
Гушина В. А., Кухарев О. Н., Борисова Е. Н. Способы борьбы с сорняками в агроценозах мискантуса гигантского // Нива Поволжья. 2017. Т. 43. № 2. С. 13–18.
8. Budaeva VV, Skiba EA, Baybakova OV, Makarova EI, Orlov SE, Kukhlenko AA, et al. Kinetics of enzymatic hydrolysis of lignocellulosic materials at different concentrations of substrat. *Catalysis in Industry.* 2015;(5):60–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.18412/1816-0387-2015-5-60-66>
9. Makarova EI, Budaeva VV. Bioconversion of non-food cellulosic biomass. Part 1. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology.* 2016;6(2):43–50. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2016-6-2-43-50>
10. Gushina VA, Volodkin AA, Ostroborodova NI, Agapkin ND, Letuchiy AV. Peculiarities of growth and development of introduction of miscanthus gi-ganteus in the conditions of forest-step zone in Middle Volga. *The Agrarian Scientific Journal.* 2018;(1):10–13. (In Russ.).
Особенности роста и развития интродукта мискантуса гигантского (*Miscanthus giganteus*) в условиях лесостепи среднего Поволжья / В. А. Гушина [и др.] // Аграрный научный журнал. 2018. № 1. С. 10–13.

11. Dorogina OV, Vasilyeva OYu, Nuzhdina NS, Buglova LV, Gismatulina YuA, Zhmud EV, et al. Resource potential of some species of the genus *Miscanthus Anderss.* Under conditions of continental climate of West Siberian forest-steppe. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018;22(5):553–559. (In Russ.). <https://doi.org/10.18699/VJ18.394>
12. Voronova MI, Surov OV, Rubleva NV, Kochkina NE, Prusova SM, Gismatulina YuA, et al. Properties of nanocrystalline cellulose obtained from celluloses of annual plants. Liquid Crystals and their Application. 2017;17(4):97–105. (In Russ.). <https://doi.org/10.18083/LCAppl.2017.4.97>
13. Kapustyanchik SYu, Yakimenko VN. Miscanthus is promising raw material, energy and phytomeliorative crop (literature review). The Journal of Soils and Environment. 2020;3(3). (In Russ.). <https://doi.org/10.31251/pos.v3i3.126>
14. Zapater M, Catterou M, Mary B, Ollier M, Fingar L, Mignot E, et al. A single and robust critical nitrogen dilution curve for *Miscanthus × giganteus* and *Miscanthus sinensis*. Bioenergy Research. 2017;10(1):115–128. <https://doi.org/10.1007/s12155-016-9781-8>
15. Asano K, Ishida M, Ishida M. Effects of inclusion levels of pelleted silvergrass (*Miscanthus sinensis* Anderss.) in the diet on digestibility chewing activity ruminal fermentation and blood metabolites in breeding Japanese Black cows. Animal Science Journal. 2017;88(3):468–475. <https://doi.org/10.1111/asj.12665>
16. Ashman C, Awty-Carroll D, Mos M, Robson P, Clifton-Brown J. Assessing seed priming sowing date and mulch film to improve the germination and survival of direct-sown *Miscanthus sinensis* in the United Kingdom. GCB Bioenergy. 2018;10(9):612–627. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12518>
17. Baibakova OV. Effects of the pre-treatment of the miscanthus energy crop on the ethanol yield. Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2018;8(3):79–84. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-3-79-84>
18. Saletnik B, Zagula G, Bajcar M, Czernicka M, Puchalski C. Biochar and biomass ash as a soil ameliorant: The effect on selected soil properties and yield of giant miscanthus (*Miscanthus × giganteus*). Energies. 2018;11(10). <https://doi.org/10.3390/en1102535>
19. Hu Y, Schäfer G, Duplay J, Kuhn NJ. Bioenergy crop induced changes in soil properties: A case study on *Miscanthus* fields in the Upper Rhine Region. PLoS ONE. 2018;13(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200901>
20. Nakajima T, Yamada T, Anzoua KG, Kokubo R, Noborio K. Carbon sequestration and yield performances of *Miscanthus × giganteus* and *Miscanthus sinensis*. Carbon Management. 2018;9(4):415–423. <https://doi.org/10.1080/17583004.2018.1518106>
21. Cayetano RDA, Kim TH. Two-stage processing of *Miscanthus giganteus* using anhydrous ammonia and hot water for effective xylan recovery and improved enzymatic saccharification. Bioresource Technology. 2018;255:163–170. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.135>
22. El Achaby M, El Miri N, Hannach H, Gmouh S, Trabadelo V, Aboulkas A, et al. Cellulose nanocrystals from *Miscanthus* fibers: insights into rheological physico-chemical properties and polymer reinforcing ability. Cellulose. 2018;25(11):6603–6619. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2047-1>
23. Schäfer J, Sattler M, Iqbal Y, Lewandowski I, Bunzel M. Characterization of *Miscanthus* cell wall polymers. GCB Bioenergy. 2019;11(1):191–205. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12538>
24. Bilska-Kos A, Panek P, Szulc-Głaz A, Ochodzki P, Cisło A, Zebrowski J. Chilling-induced physiological anatomical and biochemical responses in the leaves of *Miscanthus × giganteus* and maize (*Zea mays* L.). Journal of Plant Physiology. 2018;228:178–188. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.05.012>
25. Li Y-H, Lin H-T, Xiao K-L, Lasek J. Combustion behavior of coal pellets blended with *Miscanthus* biochar. Energy. 2018;163:180–190. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.117>
26. Baute K, Van Eerd LL, Robinson DE, Sikkema PH, Mushtaq M, Gilroyed BH. Comparing the biomass yield and biogas potential of *Phragmites australis* with *Miscanthus × giganteus* and *Panicum virgatum* grown in Canada. Energies. 2018;11(9). <https://doi.org/10.3390/en11092198>
27. Danielewicz D, Dybka-Stępień, Katarzyna;Surma-Ślusarska, B. Processing of *Miscanthus × giganteus* stalks into various soda and kraft pulps. Part I: Chemical composition, types of cells and pulping effects. Cellulose. 2018;25(11):6731–6744. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-2023-9>
28. Dhungana P, Reichert NA. Development of transformation and regeneration procedures for *Miscanthus sinensis*. In Vitro Biology Meeting. St. Louis; 2018. p. S49.
29. Tamura K, Uwatoko N, Yamashita H, Fujimori M, Akiyama Y, Shoji A, et al. Discovery of natural interspecific hybrids between *Miscanthus sacchariflorus* and *Miscanthus sinensis* in Southern Japan: Morphological characterization genetic structure and origin. Bioenergy Research. 2016;9(1):315–325. <https://doi.org/10.1007/s12155-015-9683-1>
30. Turner AP, Sama MP, Bryson LS, Montross MD. Effect of stem crushing on the uniaxial bulk compression behaviour of switchgrass and miscanthus. Biosystems Engineering. 2018;175:52–62. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.08.007>
31. Guo H, Wu Y, Hong C, Chen H, Chen X, Zheng B, et al. Enhancing digestibility of *Miscanthus* using lignocellulolytic enzyme produced by *Bacillus*. Bioresource Technology. 2017;245:1008–1015. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.034>

32. Yoo JH, Seong ES, Ghimire BK, Heo K, Jin X, Yamada T, *et al.* Establishment of *Miscanthus sinensis* with decreased lignin biosynthesis by *Agrobacterium*-mediated transformation using antisense *COMT* gene. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2018;133(3):359–369. <https://doi.org/10.1007/s11240-018-1389-6>
33. Guo H, Chen H, Hong C, Jiang D, Zheng B. Exogenous malic acid alleviates cadmium toxicity in *Miscanthus sacchariflorus* through enhancing photosynthetic capacity and restraining ROS accumulation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2017;141:119–128. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.018>
34. Evdokimov IV. Methods for measuring biomass of soil microorganisms. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2018;3(3). (In Russ.). <https://doi.org/10.21685/2500-0578-2018-3-5>
35. Samson A, Mos M, Najser J, Daroch M, Gallagher J. Gasification of *Miscanthus* × *giganteus* pellets in a fixed bed pilot-scale unit. *Frontiers in Energy Research*. 2018;6. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00091>
36. Gismatulina YuA, Budaeva VV. Chemical composition of five *Miscanthus sinensis* harvests and nitric-acid cellulose therefrom. *Industrial Crops and Products*. 2017;109:227–232. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.026>
37. Gontarenko SM, Lashuk SO. Obtaining plant *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack and *Miscanthus sinensis* Andersson *in vitro* culture by indirect morphogenesis. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017;13(1):12–19. (In Ukr.).
- Гонтаренко С. Н., Лашук С. А. Получение растений *Miscanthus sacchariflorus* (Maxim.) Hack и *Miscanthus sinensis* Andersson в культуре *in vitro* путем непрямого морфогенеза. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017. Т. 13. № 2. С. 12–19. (На укр.).
38. Hideno A. Thermal degradation behavior of Ball-milled *Miscanthus* plants and its relationship to enzymatic hydrolysis. *Bioresources*. 2018;13(3):6383–6395.
39. Mihajlović M, Petrović J, Maletić S, Isakovski MK, Stojanović M, Lopičić Z, *et al.* Hydrothermal carbonization of *Miscanthus* × *giganteus*: Structural and fuel properties of hydrochars and organic profile with the ecotoxicological assessment of the liquid phase. *Energy Conversion and Management*. 2018;159:254–263. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.01.003>
40. Che Kamarludin SN, Jainal MS, Azizan A, Safaai NSM, Daud ARM. Mechanical pretreatment of lignocellulosic biomass for biofuel production. *Applied Mechanics and Materials*. 2014;625:838–841. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.625.838>
41. Mayer-Laigle C, Blanc N, Rajaonarivony RK, Rouau X. Comminution of dry lignocellulosic biomass, a review: Part I. From fundamental mechanisms to milling behaviour. *Bioengineering*. 2018;5(2). <https://doi.org/10.3390/bioengineering5020041>
42. Mayer-Laigle C, Rajaonarivony RK, Blanc N, Rouau X. Comminution of dry lignocellulosic biomass: Part II. Technologies, improvement of milling performances, and security issues. *Bioengineering*. 2018;5(3). <https://doi.org/10.3390/bioengineering5030050>
43. Moiceanu G, Paraschiv G, Voicu G, Dinca M, Negoita O, Chitoiu M, *et al.* Energy consumption at size reduction of lignocellulose biomass for bioenergy. *Sustainability*. 2019;11(9). <https://doi.org/10.3390/su11092477>
44. Kriger O, Budenkova E, Babich O, Suhil S, Patyukov N, Masyutin Ya, *et al.* The process of producing bioethanol from delignified cellulose isolated from plants of the miscanthus genus. *Bioengineering*. 2020;7(2). <https://doi.org/10.3390/bioengineering7020061>
45. Choi O, Kang B, Cho SK, Park J, Lee Y, Kim W-I, *et al.* Identification of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* causing bacterial leaf blight of *Miscanthus sinensis*. *Journal of Plant Diseases and Protection*. 2017;124(1):97–100. <https://doi.org/10.1007/s41348-016-0058-4>
46. Hoover A, Emerson R, Ray A, Stevens D, Morgan S, Cortez M, *et al.* Impact of drought on chemical composition and sugar yields from dilute-acid pretreatment and enzymatic hydrolysis of *Miscanthus*, a tall fescue mixture, and switchgrass. *Frontiers in Energy Research*. 2018;6. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00054>
47. Kowalczyk-Jusko A. Chemical composition and energetic characteristics of *Miscanthus sacchariflorus* biomass as used for generation of energy. *Przemysł Chemiczny*. 2016;95(11):2326–2329. <https://doi.org/10.15199/62.2016.11.37>
48. Lanzerstorfer C. Chemical composition and properties of ashes from combustion plants using *Miscanthus* as fuel. *Journal of Environmental Sciences*. 2017;54:178–183. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.03.032>
49. Lanzerstorfer C. Combustion of *Miscanthus*: Composition of the ash by particle size. *Energies*. 2019;12(1). <https://doi.org/10.3390/en12010178>
50. Lee S, Han J, Ro Hee-M. Interpreting the pH-dependent mechanism of simazine sorption to *Miscanthus* biochar produced at different pyrolysis temperatures for its application to soil. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2018;35(7):1468–1476. <https://doi.org/10.1007/s11814-018-0054-4>
51. Schmidt A, Lemaigre S, Ruf T, Delfosse P, Emmerling C. *Miscanthus* as biogas feedstock: influence of harvest time and stand age on the biochemical methane potential (BMP) of two different growing seasons. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2018;8(2):245–254. <https://doi.org/10.1007/s13399-017-0274-6>
52. Dąbkowska K, Alvarado-Morales M, Kuglarz M, Angelidaki I. *Miscanthus* straw as substrate for biosuccinic acid production: Focusing on pretreatment and downstream processing. *Bioresource Technology*. 2019;278:82–91. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.051>

53. Moon Y-H, Lee, J-E, Yu G-D, Song Y-S, Lee Y-H, Kim K-S, et al. Ploidy level and reproductive organ abnormality in interspecific hybrids between tetraploid *Miscanthus sacchariflorus* and diploid *M. sinensis* bred from a single cross. *Industrial Crops and Products*. 2018;116:182–190. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.01.022>
54. Brosse N, Dufour A, Meng X, Sun Q, Ragauskas A. *Miscanthus*: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2012;6(5):580–598. <https://doi.org/10.1002/bbb.1353>
55. Jones MB, Walsh M. *Miscanthus*: For energy and fibre. Earthscan; 2001. 192 p.
56. Kashcheyeva EI, Mironova GF, Budaeva VV, Khan H. Bioconversion of oat hull and miscanthus cellulose to glucose solutions. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2019;9(4):654–664. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-4-654-664>
57. Gismatulina YuA, Budaeva VV, Sakovich GV. Nitrocellulose synthesis from *Miscanthus* cellulose. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*. 2018;43(1):96–100. <https://doi.org/10.1002/prep.201700210>
58. Yang H, Zhang Y, Kato R, Rowan SJ. Preparation of cellulose nanofibers from *Miscanthus* × *Giganteus* by ammonium persulfate oxidation. *Carbohydrate Polymers*. 2019;212:30–39. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.008>
59. Kalinoski RM, Flores HD, Thapa S, Tuegel ER, Bilek MA, Reyes-Mendez EY, et al. Pretreatment of hardwood and *Miscanthus* with *Trametes versicolor* for bioenergy conversion and densification strategies. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2017;183(4):1401–1413. <https://doi.org/10.1007/s12010-017-2507-3>
60. Davey CL, Jones LE, Squance M, Purdy SJ, Maddison AL, Cunniff J, et al. Radiation capture and conversion efficiencies of *Miscanthus sacchariflorus*, *M. sinensis* and their naturally occurring hybrid *M. × giganteus*. *GCB Bioenergy*. 2017;9(2):385–399. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12331>
61. Redcay S, Koirala A, Liu J. Effects of roll and flail conditioning systems on mowing and baling of *Miscanthus × giganteus* feedstock. *Biosystems Engineering*. 2018;172:134–143.
62. Sarkar A, Asaeda T, Wang Q, Kaneko Y, Rashid H. Response of *Miscanthus sacchariflorus* to zinc stress mediated by arbuscular mycorrhizal fungi. *Flora*. 2017;234:60–68. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.05.011>
63. Seibert-Ludwig D, Hahn T, Hirth T, Zibek S. Selection and optimization of a suitable pretreatment method for miscanthus and poplar raw material. *GCB Bioenergy*. 2019;11(1):171–180. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12575>
64. Grams J, Kwapińska M, Jędrzejczyk M, Rzeźnicka I, Leahy JJ, Ruppert AM. Surface characterization of *Miscanthus × giganteus* and *Willow* subjected to torrefaction. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2019;138:231–241. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2018.12.028>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2362>
<https://elibrary.ru/PWMVFV>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Быстрозамороженные фруктово-ягодные десерты: разработка и оценка качества



Б. М. Гусейнова^{1,*}, И. Х. Асабутаев², Т. И. Даудова³

¹ Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан, Махачкала, Россия

² Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова, Махачкала, Россия

³ Прикаспийский институт биологических ресурсов – обособленное подразделение Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Махачкала, Россия

Поступила в редакцию: 01.03.2022

Принята после рецензирования: 24.03.2022

Принята в печать: 11.04.2022

*Б. М. Гусейнова: batuch@yandex.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-3104-5100>

И. Х. Асабутаев: <https://orcid.org/0000-0003-3905-7082>

Т. И. Даудова: <https://orcid.org/0000-0003-2365-4368>

© Б. М. Гусейнова, И. Х. Асабутаев, Т. И. Даудова, 2022



Аннотация.

Создание новых продуктов питания на основе местного растительного сырья со сбалансированным составом дефицитных в рационах питания пищевых компонентов, обладающих функциональной направленностью, ускорит реализацию Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. Цель исследования – разработка рецептур и технологии производства новых взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов функциональной направленности.

Объектами исследования являлись абрикосово-хурмово-облепиховый, абрикосово-фейхоа-терновый, абрикосово-хурмово-кизилловый и абрикосово-фейхоа-смородиновый десерты. Качество готовой продукции оценивали с использованием общепринятых методик по показателям массовой концентрации сахаров, сухих и пектиновых веществ, титруемых кислот, витамина С, β -каротина и минеральных элементов. Содержание токсичных элементов определяли атомно-абсорбционным методом. Определение микробиологических показателей безопасности десертов были проведены после холодильного хранения ($t = -18^\circ\text{C}$) с применением общепринятых методик.

Данные физико-химических исследований стали основой для проектирования рецептур и разработки технологии получения новых видов десертов из плодов садовых культур и дикоросов, взаимно дополняющих друг друга ценными пищевыми компонентами. Установлено, что для стабилизации качества продукта и получения десертов с наилучшими структурно-механическими свойствами необходимо вносить в их состав сахаро-пектиновый раствор (380 г на 1 кг массы смеси для десерта) с 30 %-ой концентрацией сахара и 1,3 %-ой пектина. По массовой концентрации некоторых биологически активных веществ десерты могут быть классифицированы как функциональные пищевые продукты, т. к. их употребление в количестве 250 г удовлетворяет суточную потребность человека в пектиновых веществах на 51,9–61,3 %, витамине С – на 42,9–123,4 %, β -каротине – на 22,5–47,5 %, а также в минеральных элементах: железе – на 8,9–20,5 % и йоде – на 13,3–30,0 %.

Предлагаемая технология обеспечивает получение новых видов быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов функциональной направленности с улучшенными органолептическими показателями и хорошим запасом пищевых компонентов, а также отвечающих требованиям ТР ТС 021/2011 по показателям безопасности.

Ключевые слова. Десерты, функциональный пищевой продукт, технология производства, пищевая ценность, показатели качества

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания, согласно тематическому плану Федерального аграрного научного центра Республики Дагестан (ФАНЦ РД), по теме FNMN-2022-0009 «Создание новых сортов плодовых культур, адаптированных к стрессовым факторам среды, разработка и освоение экологически безопасных и конкурентоспособных систем производства и переработки плодов, овощей и картофеля» (№ 122022400196-7), а также в соответствии с планом научно-исследовательской работы кафедры товароведения технологии продуктов и общественного питания Дагестанского государственного аграрного университета имени М. М. Джамбулатова (Дагестанский ГАУ).

Для цитирования: Гусейнова Б. М., Асабутаев И. Х., Даудова Т. И. Быстрозамороженные фруктово-ягодные десерты: разработка и оценка качества // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 271–281. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2362>

Development and Quality Evaluation of Quick-Frozen Fruit-and-Berry Desserts

Batuch M. Guseynova^{1,*}, Islam H. Asabutaev², Tatyana I. Daudova³

¹ Dagestan Agriculture Science Center, Makhachkala, Russia

² M.M. Dzhambulatov Dagestan State Agricultural University, Makhachkala, Russia

³ Caspian Institute of Biological Resources – a separate division of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Makhachkala, Russia

Received: 01.03.2022

Revised: 24.03.2022

Accepted: 11.04.2022

*Batuch M. Guseynova: batuch@yandex.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-3104-5100>

Islam H. Asabutaev: <https://orcid.org/0000-0003-3905-7082>

Tatyana I. Daudova: <https://orcid.org/0000-0003-2365-4368>

© B.M. Guseynova, I.H. Asabutaev, T.I. Daudova, 2022



Abstract.

New functional foods based on local vegetal raw materials can accelerate the implementation of the Strategy for Improving Food Quality in the Russian Federation through 2030. The present research aimed at developing formulations and technology for new functional quick-frozen fruit-and-berry desserts.

The study featured four dessert mixes: apricot-persimmon-buckthorn, apricot-feijoa-sloeberry, apricot-persimmon-cornel, and apricot-feijoa-currant. The quality of the finished products was evaluated using conventional methods according to the mass concentration of sugars, solids, pectin, titrated acids, vitamin C, β -carotene, and minerals. The desserts were tested for toxic elements based on the atomic absorption method. The microbiological safety parameters were determined after six months of refrigeration storage ($t = -18^{\circ}\text{C}$) using standard methods.

The physicochemical data made it possible to design formulations where all components complemented each other's beneficial properties. To stabilize the quality and obtain the optimal structural and mechanical properties, the formulations were completed with a sugar-pectin solution (380 g per 1 kg) with 30% sugar and 1.3% pectin. The mass concentration of some biologically active substances made the desserts functional: 250 g of each product satisfied the daily intake of pectin substances by 51.9–61.3%, vitamin C – by 42.9–123.4%, β -carotene – by 22.5–47.5%, iron – by 8.9–20.5%, and iodine – by 13.3–30.0%. The new quick-frozen functional fruit-and-berry desserts proved to have advanced organoleptic indices and met the safety requirements provided by Technical Regulations of Customs Union TR TC 021/2011.

Keywords. Desserts, functional food product, production technology, nutritional value, quality indicators

Financing. The research was part of the state task of the Federal Agricultural Scientific Center of the Republic of Dagestan (DASC), research topic FNMN-2022-0009 “New stress-adapted fruit crops: sustainable and competitive production and processing of fruits, vegetables, and potatoes” (No. 122022400196-7), and the Department of Commodity Science of Food and Catering Technology of M.M. Dzhambulatov Dagestan State Agrarian University (Dagestan SAU).

For citation: Guseynova BM, Asabutaev IH, Daudova TI. Development and Quality Evaluation of Quick-Frozen Fruit-and-Berry Desserts. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):271–281. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2362>

Введение

Как во многих странах мира, так и в России у большинства населения наблюдается дефицит витаминов, макро- и микроэлементов, пектиновых и фенольных соединений растительного происхождения, антиоксидантов, радиопротекторов и других биологически активных веществ в рационе питания [1–9]. По данным Росстата, для

населения России характерно низкое потребление фруктов и ягод, являющихся источником полезных для организма человека веществ. Рациональная норма потребления фруктов и ягод, отвечающая современным требованиям здорового питания, – 100 кг фруктов на человека в год [4–6, 10, 11]. В России в 2018 г. потребление фруктов и ягод составило в среднем 61 кг на человека, в то время

как годовая норма их потребления на человека в развитых странах составляет 113 кг. Только 10 % россиян приближается к международному уровню потребления фруктов и ягод; 40 % получают их вдвое меньше рекомендуемого количества; 10 % населения не потребляют свежих фруктов; остальные 40 % граждан покупают их примерно в 1,2–1,5 раза меньше, чем принято в развитых странах [12, 13]. Более 50 % регионов Российской Федерации являются йоддефицитными, причем 60 % населения проживает в регионах с природно-обусловленным дефицитом этого микроэлемента. У 70 % граждан РФ обнаружен дефицит витаминов и минералов в рационе питания [5]. Результатом являются несбалансированные рационы питания. Для устранения этой проблемы необходимо изменить подбор ингредиентов рационов и учитывать баланс макро- и микронутриентов, влияющих на укрепление иммунитета и способствующих профилактике алиментарно-зависимых заболеваний и улучшению функциональной деятельности всех систем человеческого организма [14, 15].

Поэтому разработка пищевых продуктов, характеризующихся сбалансированным составом нутриентов, отличающихся функциональной направленностью и способствующих укреплению здоровья населения, важна для коррекции питания и является актуальной [15–18].

Увеличение ассортимента продуктов, изготовленных из фруктово-ягодного сырья, отличающегося широким спектром нутриентов, способно обеспечить отечественный рынок изделиями с богатым составом полезных веществ для сохранения здоровья и увеличения продолжительности жизни человека [19, 20].

Создание новых продуктов питания на основе местного растительного сырья со сбалансированным составом дефицитных в рационах питания биологически и физиологически активных веществ ускорит реализацию Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1364-р [21].

Продолжатся поиск новых способов хранения фруктово-ягодной продукции. Однако актуальным остается применение быстрого замораживания, которое способствует сохранению качества готовых замороженных продуктов при длительном хранении [22–26]. Однако на сегодняшний день ассортимент замороженной продукции функциональной направленности ограничен и не способен удовлетворить требования современного потребителя. Сегмент замороженных продуктов в структуре продовольственного плодовоовощного рынка страны составляет 16–17 %, около 12 % приходится на замороженные фрукты и ягоды. Поэтому необходимо расширять производство новых видов продуктов питания из натурального растительного сырья,

применяя шоковую заморозку, обеспечивающую длительную стабильность сохранности качества готовой продукции.

Цель исследования – разработка рецептур и технологии производства взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов, отличающихся большим запасом биологически и физиологически активных веществ и обладающих функциональной направленностью, а также изучение качественных показателей и пищевой ценности готовой продукции.

На основании проведенных исследований разработаны и научно обоснованы рецептуры и технология производства новых видов взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов функциональной направленности, отличающихся высокими органолептическими показателями и хорошим запасом пищевых компонентов и отвечающих требованиям ТР ТС 021/2011 по показателям безопасности.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются четыре взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десерта: абрикосово-хурмово-облепиховый, абрикосово-фейхоа-терновый, абрикосово-хурмово-кизильовый и абрикосово-фейхоа-смородиновый. Их качество оценивали по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям.

Пищевую ценность десертов определяли поэтапно: после быстрого замораживания ($t = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$) и последующего шестимесячного холодильного хранения ($t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$). В каждом из этапов определяли содержание сахаров – по ГОСТ 8756.13-87, титруемых кислот – по ГОСТ ISO 750-2013, общих сухих веществ – термogravиметрически по ГОСТ 33977-2016, витамина С (аскорбиновой кислоты) – титриметрически по ГОСТ 24556-89, пектиновых веществ – титриметрически по ГОСТ 29059-91, β -каротина – фотоколориметрически по ГОСТ Р 54058-2010, используя прибор «ФЭК-56М» (Россия). Содержание минеральных веществ: калия (K), кальция (Ca) и железа (Fe), а также токсичных элементов: кадмия (Cd), мышьяка (As), ртути (Hg) и свинца (Pb) определяли атомно-абсорбционным методом с использованием прибора HITACHI-208 (Япония) и на пламенном фотометре FLANPO-4 («Цейс», Германия). Концентрацию йода (I) определяли инверсионно-вольтамперометрическим методом по ГОСТ 31660-2012.

Дегустационную оценку десертов проводили по 10-ти балльной шкале с учетом требований ГОСТ ISO 6658-75, а физико-химические показатели качества оценивали по ГОСТ Р 55624-2013.

Взбитость десертов в процессе их изготовления (на выходе из фризера) определяли весовым методом. Он основан на измерении масс фиксированного

объема смеси, поступающей во фризера, и того же объема смеси, насыщенного воздухом и выходящей из фризера, а также на расчете взбитости десерта (B , %) по формуле:

$$B = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \times 100 \quad (1)$$

где M_2 – масса стакана, заполненного смесью, г; M_3 – масса стакана, заполненного десертом, г; M_1 – масса стакана, г; 100 – коэффициент пересчета отношения в проценты.

Определение микробиологических показателей безопасности десертов были проведены после шестимесячного холодильного хранения ($t = -18^\circ\text{C}$) по ГОСТ 31904-2012, ГОСТ 26669-85, ГОСТ 26670-91, ГОСТ 10444.15-94, ГОСТ 31747-2012, ГОСТ 31659-2012 и ГОСТ 10444.12-2013.

Повторность проведенных исследований 3–4-кратная. Статистическую обработку результатов исследования осуществляли с использованием программы Microsoft Excel 2010. Достоверность полученных отличий устанавливали по t -критерию Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при $P \leq 0,05$. Экспериментальные данные представлены в виде среднего значения (X) и стандартной ошибки среднего значения ($\pm SE$).

Результаты и их обсуждение

Разработка рецептур и технологии получения взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов функциональной направленности включала два этапа.

На первом этапе проводились исследования, направленные на проектирование рецептур фруктово-ягодной основы десертов и определение оптимального количества сахара и пектина, вносимого в десерты в качестве стабилизатора. Сахар и пектин обеспечивают получение готового продукта с хорошими органолептическими, физико-химическими и структурно-механическими свойствами.

На втором этапе изучалась пищевая ценность готовых десертов, определялась их функциональная направленность, оценивалось качество десертов по физико-химическим свойствам, микробиологическим показателям безопасности и содержанию токсичных элементов.

При проектировании рецептур десертов основное внимание уделялось подбору фруктово-ягодного сырья для усиления функциональных свойств, а также вкусо-ароматических показателей готовой продукции. В условиях Дагестана было решено использовать из большого разнообразия местных фруктово-ягодных ресурсов плоды садовых культур – абрикоса, хурмы, фейхоа и смородины черной, а из дикоросов – плоды кизила, облепихи и терна. Данные культуры взаимно дополняют друг друга

недостающими в рационе питания антиоксидантами, пектинами и некоторыми минеральными элементами.

Для Дагестана большое народнохозяйственное значение имеет выращивание абрикоса (*Prunus armeniaca* L.). На территории республики сосредоточено более 85 % его насаждений, имеющих в Российской Федерации. В республике по данным Минсельхозпрода общая площадь территории под посадки различных сортов абрикоса в 2019 г. составила 6234,1 га. В абрикосе содержится большое количество полезных пищевых компонентов (витаминов, полифенолов, пектиновых веществ, каротиноидов и др.). Абрикосы по суммарному запасу биологически активных веществ стоят на первом месте среди косточковых культур [27]. Это стало аргументом для включения абрикосов в рецептуры всех вариантов новых десертов.

Исследования показали, что использование в составе десертов абрикосов сорта Унцукульский поздний придает им функциональную направленность за счет большого количества имеющихся в плодах пектиновых веществ (1,03 %) и антиоксиданта β -каротина (1,59 мг%). Анализ нутриентного состава плодов хурмы сорта Хачиа показал, что природно-климатические условия Дагестана способствуют накоплению в ней кальция в количестве 109,7 мг%, йода – 0,019 мг% и β -каротина – 1,74 мг%. Введение хурмы в состав десертов способствовало увеличению массовой доли этих веществ. Включение в композиции десертов фейхоа, черной смородины и облепихи, которые превосходят плоды многих садовых культур и дикоросов по содержанию йода (0,001–0,032 мг%) и витамина С (32,11–127,40 мг%), привело к усилению полезных свойств готовой продукции. В состав рецептур десертов вошли кизил и терн, содержащие большие массовые доли пектинов (1,05–1,17 %), которые обладают желеобразующими и протекторными свойствами по отношению к тяжелым металлам, канцерогенным соединениям и радионуклидам. В кизиле также было обнаружено больше железа – 3,4 мг%, чем в других исследованных плодах.

В соответствии с ГОСТ Р 55624-2013 во взбитом быстрозамороженном фруктово-ягодном десерте массовая доля общих сухих веществ должна составлять 28–29 %, а взбитость десерта при выходе из фризера должна быть не менее 30 %. Поэтому в состав рецептур новых десертов, помимо фруктово-ягодной основы, также были включены:

- сахар-песок для создания гармоничного вкуса и регулирования массовой доли общих сухих веществ в готовой продукции;

- сухой яблочный пектин в качестве стабилизатора и регулятора структурно-механических и физико-химических свойств десертов.

Взбитость десертов является важным структурно-механическим показателем. На нее положительно

влияют пектиновые соединения. Поэтому следующим этапом исследования стало изучение степени влияния различных концентраций пектина (0,5, 1,0, 1,3 и 1,5 %) и сахара (20, 25, 30 и 35 %) в сахарном сиропе на содержание сухих веществ в десертах и на взбитость при выходе из фризера.

В десертах при использовании пектина в количестве 1,3 % достигалась наилучшая степень взбитости. Увеличение дозировки пектина до 1,5 % вызывало незначительное снижение этого показателя. Использование сахара в количестве 30 % обеспечивало получение продукции, отвечающей требованиям ГОСТ Р 55624-2013 по массовой доле общих сухих веществ. Таким образом, при разработке рецептур и технологии производства новых взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов целесообразно использовать сахаро-пектиновый раствор с 30 %-ой концентрацией сахара и 1,3 %-ой пектина.

Расход основных ингредиентов на получение 1000 кг десертов приведен в таблице 1. Предложенные по разработанной рецептуре соотношения ингредиентов являются оптимальными, поскольку изменение их содержания в продукте приведет к снижению функциональной направленности десертов, а также к ухудшению органолептических характеристик и физико-химических свойств. Массовая доля фруктово-ягодной основы в десертах должна составлять не менее 60 %.

Технологическая схема производства десертов предусматривает подготовку рецептурных компонентов и смешивание протертой фруктово-ягодной массы с охлажденным сахаро-пектиновым сиропом. Согласно рецептуре протертую фруктово-ягодную массу изготавливали путем дозирования и смешивания протертых фруктов и ягод и последующего ее финиширования. Сахаро-пектиновый сироп изготавливали путем внесения в воду температурой 30–35 °С смеси сухого яблочного пектина с сахаром и последующей тепловой обработки полученного раствора при температуре 90–95 °С в течение 9–10 мин. Фрукты и ягоды после предварительной инспекции, мойки и отделения несъедобных частей подвергаются измельчению на протирочной машине для получения пюре. Далее протертые массы фруктов и ягод передаются в сборную емкость для составления фруктово-ягодной основы десертов путем дозирования и смешивания согласно рецептуре (табл. 1). Полученная протертая фруктово-ягодная масса подвергается финишированию (дополнительному измельчению пропусканием через сито с ячейками диаметром 0,4 мм), а затем смешивается с охлажденным сахаро-пектиновым сиропом. Полученную десертную массу после тщательного перемешивания подвергают поэтапно следующим технологическим операциям:

– гомогенизации на плунжерном гомогенизаторе ОГЗМ-5,0/20, что повышает взбитость готовых

Таблица 1. Рецептуры взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов

Table 1. Formulations for whipped quick-frozen fruit-and-berry desserts

Наименование сырья	Массовая доля сухих веществ в сырье, %	Название десерта			
		Абрикосово-хурмово-облепиховый	Абрикосово-фейхоа-терновый	Абрикосово-хурмово-кизиловый	Абрикосово-фейхоа-смородиновый
		Количество сырья, кг на 1000 кг десерта			
Протертая масса абрикосов	13,2	186,0	248,0	248,0	248,0
Протертая масса хурмы	16,8	310,0	–	186,0	–
Протертая масса фейхоа	14,3	–	186,0	–	186,0
Протертая масса смородины черной	11,5	–	–	–	186,0
Протертая масса кизила	15,5	–	–	186,0	–
Протертая масса облепихи	12,2	124,0	–	–	–
Протертая масса терна	12,6	–	186,0	–	–
Сахар	–	114,0	114,0	114,0	114,0
Пектин	–	3,8	3,8	3,8	3,8
Вода	–	262,2	262,2	262,2	262,2
Итого	–	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0

Таблица 2. Физико-химические показатели качества взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов

Table 2. Physical and chemical quality indicators of whipped quick-frozen fruit-and-berry desserts

Показатели качества	Название десерта			
	Абрикосово-хурмово-облепиховый	Абрикосово-фейхоа-терновый	Абрикосово-хурмово-кизильовый	Абрикосово-фейхоа-смородиновый
Массовая доля общих сухих веществ, %	29,20 ± 0,77	28,50 ± 0,69	28,80 ± 0,71	28,30 ± 0,69
Массовая доля сахаров, %	20,10 ± 0,43	18,80 ± 0,37	19,40 ± 0,32	17,90 ± 0,29
Массовая доля титруемых кислот, °Т	42,50 ± 1,02	59,70 ± 1,34	45,10 ± 0,92	62,60 ± 1,17
Взбитость десерта на выходе из фризера, %	34,50 ± 0,64	31,30 ± 0,58	35,60 ± 0,74	30,60 ± 0,62

десертов, а также улучшает их консистенцию и структуру;

– фризерованию, при котором десерты частично замораживаются и одновременно насыщаются воздухом, что приводит к увеличению взбитости десертов. Фризерование фруктово-ягодных десертов осуществляется на фризере непрерывного действия типа Б6-ОФШ.

При выходе из фризера полученную массу расфасовывают в потребительскую тару или упаковку из полипропилена, предназначенную для применения в пищевой промышленности и соответствующую требованиям ТР ТС 005/2011. После расфасовки десерты замораживают ($t = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$) до достижения в толще продукта температуры $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (длительность процесса 25–30 мин), определяемой полупроводниковым измерителем температуры ИТ-1 (шкала от -190 до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$), а затем хранят при $t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности воздуха не выше 75 %. Перед употреблением десерты не дефростируют. Срок годности целевого продукта при соблюдении условий холодильного хранения ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) составляет не менее шести месяцев.

На следующем этапе работы изучалась пищевая ценность готовых десертов и давалась оценка их качества по органолептическим, физико-химическим и микробиологическим показателям и содержанию токсичных элементов.

Органолептическую оценку опытных образцов взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов проводили по 10-ти балльной шкале в хорошо освещенном помещении без посторонних запахов. Для дегустации была создана независимая дегустационная комиссия (15 человек) из лиц, которые ранее принимали участие в органолептических исследованиях (подготовленные испытатели). Для оценки замороженных десертов были применены количественные дескриптивные тесты и тесты с использованием органолептического профиля. Каждый вариант десертов оценивался по 10-ти балльной шкале по показателям внешнего вида, вкуса и запаха, структуры, консистенции и цвета.

На оценку каждого показателя также отводилось 10 баллов: 0–1 – неприемлемый, 2–4 – приемлемый, 5–6 – удовлетворительный, 7–8 – хороший, 9–10 – отличный. По результатам дегустационной оценки опытных образцов десертов были выведены средние баллы по всем показателям. Лучшая общая дегустационная характеристика была дана абрикосово-хурмово-кизильовому десерту (9,6 балла). По вкусо-ароматическим показателям качества наиболее высоко были оценены абрикосово-хурмово-кизильовый (9,7 балла) и абрикосово-хурмово-облепиховый (9,5 балла) десерты. При оценке консистенции высший балл (9,7) получили абрикосово-фейхоа-терновый и абрикосово-фейхоа-смородиновый десерты. Все взбитые быстрозамороженные фруктово-ягодные десерты имели однородную структуру с неощутимыми кристаллами льда и без ощутимых комочков и частиц сахара. По внешнему виду готовый продукт представляет собой порцию однослойного десерта с формой, обусловленной геометрией упаковочной тары.

Для определения соответствия новых десертов ГОСТу Р 55624-2013 были определены их физико-химические показатели (табл. 2).

Как видно из таблицы 2, кислотность десертов варьировалась в пределах от 42,5 (абрикосово-хурмово-облепиховый десерт) до 62,6 °Т (абрикосово-фейхоа-смородиновый десерт). Массовая доля сухих веществ в десертах составила 28,3–29,2 %. Это говорит о соответствии десертов требованиям ГОСТ Р 55624-2013.

При низком показателе взбитости десерты получают слишком плотные, тяжелые и с грубой структурой, а при слишком высокой взбитости структура их становится снежной. Высокими показателями взбитости при выходе из фризера отличались абрикосово-хурмово-облепиховый и абрикосово-хурмово-кизильовый десерты – 34,5 и 35,6 % соответственно. Массовая концентрация сахаров и взбитость во всех десертах отвечали нормативным требованиям ГОСТ Р 55624-2013.

Таблица 3. Содержание токсичных элементов во взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертах

Table 3. Toxic elements in whipped quick-frozen fruit-and-berry desserts

Название десерта	Массовая концентрация, мг/кг			
	Свинец	Кадмий	Ртуть	Мышьяк
Абрикосово-хурмово-облепиховый	0,020 ± 0,001	0,0030 ± 0,0001	0,0020 ± 0,0001	0,040 ± 0,001
Абрикосово-фейхоа-терновый	0,030 ± 0,002	0,0050 ± 0,0002	0,0020 ± 0,0001	0,060 ± 0,002
Абрикосово-хурмово-кизилловый	0,080 ± 0,002	0,0060 ± 0,0002	0,0030 ± 0,0002	0,090 ± 0,002
Абрикосово-фейхоа-смородиновый	0,070 ± 0,001	0,0020 ± 0,0001	0,0020 ± 0,0002	0,030 ± 0,001
Предельно допустимая концентрация согласно ТР ТС 021/2011	0,4	0,03	0,02	0,2

Таблица 4. Микробиологические показатели безопасности взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов после их шестимесячного холодильного хранения (–18 °С)

Table 4. Microbiological safety indicators of whipped quick-frozen fruit-and-berry desserts after six months of refrigeration (–18°C)

Название десерта	Микробиологические показатели				
	КМАФАнМ, КОЕ/г	Дрожжи, КОЕ/г	Плесени, КОЕ/г	БГКП (колиформы), в 0,1 г продукта	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы, в 25 г продукта
Абрикосово-хурмово-облепиховый	3,5×10 ²	1,2×10 ²	1,8×10 ²	Не обнаружены	Не обнаружены
Абрикосово-фейхоа-терновый	1,7×10 ²	1,0×10 ²	2,1×10 ²		
Абрикосово-хурмово-кизилловый	2,8×10 ²	0,9×10 ²	1,7×10 ²		
Абрикосово-фейхоа-смородиновый	3,9×10 ²	1,3×10 ²	2,4×10 ²		
Допустимые уровни по ТР ТС 021/2011	Не более 5×10 ³	Не более 200	Не более 500	Не допускается в 0,1 г продукта	Не допускается в 25 г продукта

Комплексная оценка безопасности десертов включала определение содержания в них токсичных элементов и установление микробиологической чистоты (табл. 3 и 4).

По содержанию токсичных элементов (табл. 3) все десерты соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011.

Готовые пищевые продукты могут представлять опасность для здоровья человека в связи с микробиологической обсемененностью используемого сырья и оборудования, а также из-за нарушения санитарно-гигиенических норм в ходе технологического процесса производства. При низкотемпературном замораживании ($t = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$) и последующем хранении ($t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$) плодово-ягодной продукции не происходит полного уничтожения микроорганизмов и их токсинов. Поэтому для установления микробиологической безопасности десертов к концу шестимесячного срока холодильного хранения ($t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$) определялась их микробиологическая чистота (табл. 4).

Как видно из таблицы 4, во всех десертах (в 25 г) после шестимесячного хранения при $t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ не обнаружены сальмонеллы. Бактерии группы кишечных палочек (колиформные бактерии) в 0,1 г

во всех десертах отсутствовали. Общее количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) к концу эксперимента в готовой продукции, в зависимости от вида десерта, составляло $1,7 \times 10^2$ – $3,9 \times 10^2$ КОЕ/г. Численность дрожжей в десертах после их шестимесячного холодильного хранения составляла в среднем $1,1 \times 10^2$ КОЕ/г и не превышала допустимую норму (200 КОЕ/г). Выявленные в десертах плесневые грибы содержались в количестве $1,7 \times 10^2$ – $2,4 \times 10^2$ КОЕ/г, что меньше допустимой нормы (500 КОЕ/г). По результатам микробиологических исследований десертов установили, что по микробиологическим показателям они отвечают требованиям ТР ТС 021/2011.

Многокомпонентность десертов (табл. 1) обеспечила наличие в них богатого качественного состава и значительного количества витамина С, β -каротина, пектиновых веществ и некоторых макро- и микроэлементов (табл. 5).

С целью максимального сохранения в готовой продукции имеющихся в исходном сырье биологически и физиологически активных веществ, а также получения десертов привлекательного внешнего

Таблица 5. Содержание некоторых пищевых компонентов во взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертах до и после их шестимесячного холодильного хранения при $t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$ Table 5. Food components in whipped quick-frozen fruit-and-berry desserts before and after six months of refrigeration (-18°C)

Название десерта	Массовая концентрация						
	Пектиновые вещества, %	Витамин С, мг%	β -каротин, мг%	Калий, мг%	Кальций, мг%	Железо, мг%	Йод, мг%
	<i>Сразу после быстрого замораживания десертов при $t = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$</i>						
Абрикосово-хурмово-облепиховый	$0,91 \pm 0,01$	$22,18 \pm 0,35$	$1,03 \pm 0,02$	$147,56 \pm 2,24$	$41,01 \pm 0,87$	$1,02 \pm 0,02$	$0,0080 \pm 0,0002$
Абрикосово-фейхоа-терновый	$0,95 \pm 0,02$	$13,44 \pm 0,29$	$0,70 \pm 0,01$	$137,62 \pm 3,06$	$14,50 \pm 0,36$	$0,52 \pm 0,01$	$0,0190 \pm 0,0004$
Абрикосово-хурмово-кизилловый	$1,03 \pm 0,02$	$11,64 \pm 0,34$	$0,74 \pm 0,02$	$165,05 \pm 2,88$	$36,49 \pm 0,58$	$1,20 \pm 0,02$	$0,0060 \pm 0,0001$
Абрикосово-фейхоа-смородиновый	$0,87 \pm 0,01$	$34,08 \pm 0,65$	$0,47 \pm 0,01$	$157,98 \pm 3,15$	$15,72 \pm 0,41$	$0,61 \pm 0,01$	$0,0150 \pm 0,0003$
	<i>После 6 месяцев холодильного хранения десертов при $t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$</i>						
Абрикосово-хурмово-облепиховый	$0,87 \pm 0,02$	$19,45 \pm 0,41$	$0,95 \pm 0,02$	$142,84 \pm 2,95$	$39,82 \pm 0,63$	$0,98 \pm 0,02$	$0,0080 \pm 0,0002$
Абрикосово-фейхоа-терновый	$0,89 \pm 0,01$	$12,24 \pm 0,37$	$0,67 \pm 0,01$	$131,98 \pm 3,15$	$13,91 \pm 0,37$	$0,50 \pm 0,02$	$0,0180 \pm 0,0003$
Абрикосово-хурмово-кизилловый	$0,98 \pm 0,03$	$10,30 \pm 0,26$	$0,70 \pm 0,01$	$158,61 \pm 3,29$	$35,29 \pm 0,55$	$1,15 \pm 0,03$	$0,0060 \pm 0,0001$
Абрикосово-фейхоа-смородиновый	$0,83 \pm 0,02$	$29,62 \pm 0,55$	$0,45 \pm 0,01$	$150,40 \pm 3,07$	$14,90 \pm 0,43$	$0,58 \pm 0,01$	$0,0150 \pm 0,0003$

вида, гармоничного вкуса и аромата при их производстве был исключен процесс нагревания всей рецептурной массы. Применялась технология шоковой заморозки ($t = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Определение содержания пищевых компонентов в десертах показало, что они имели различные массовые концентрации витамина С, обладающего антиоксидантным действием, участвующего в синтезе белка и регулирующего содержания холестерина в организме человека [28]. Наибольшим содержанием витамина С ($34,08\text{ мг\%}$) как после изготовления, так и последующего быстрого замораживания отличался абрикосово-фейхоа-смородиновый десерт. Самая низкая концентрация этого витамина была определена в абрикосово-хурмово-кизилловом десерте ($11,64\text{ мг\%}$). Содержание пектинов в быстрозамороженных десертах составило $0,87\text{--}1,03\text{ \%}$. Особую ценность представляет наличие в десертах антиоксиданта β -каротина. Его массовая концентрация во взбитых фруктово-ягодных десертах после их шоковой заморозки составила $0,47\text{--}1,03\text{ мг\%}$ (табл. 5).

Важное значение, с точки зрения нутрициологов, для организма человека имеют «металлы жизни» – калий, кальций, железо и йод. Как показывали результаты исследований (табл. 5), все десерты содержали значительные количества калия ($137,62\text{--}165,05\text{ мг\%}$), кальция ($14,50\text{--}41,01\text{ мг\%}$), железа ($0,52\text{--}1,20\text{ мг\%}$) и йода ($0,006\text{--}0,019\text{ мг\%}$).

Результаты исследований, направленных на

выявление степени сохранности нутриентного состава десертов в процессе их длительного холодильного хранения ($t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$), свидетельствуют о том, что во всех вариантах к концу срока хранения наблюдалось незначительное снижение массовой концентрации изучаемых представителей химического состава (табл. 5). Самым лабильным оказался витамин С, потеря которого, в зависимости от вида десерта, составила $8,9$ (абрикосово-фейхоа-терновый) и $13,1\text{ \%}$ (абрикосово-фейхоа-смородиновый). К концу срока хранения уменьшение массовой концентрации β -каротина в десертах составило от $4,4$ (абрикосово-фейхоа-смородиновый) до $7,3\text{ \%}$ (абрикосово-хурмово-облепиховый). Сохранность пектиновых веществ после шестимесячного холодильного хранения десертов изменилась в пределах $93,9\text{--}96,0\text{ \%}$. Макро- и микроэлементы (калий, кальций, железо и йод) также проявили высокую степень стойкости. Сохранность их в среднем составила $96\text{ \%}$ (табл. 5).

Исследования показали, что разработанная технология изготовления взбитых фруктово-ягодных десертов с применением быстрого замораживания ($t = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$) и последующего холодильного хранения ($t = -18\text{ }^{\circ}\text{C}$) является эффективным способом, обеспечивающим получение высококачественных продуктов питания, обладающих хорошим товарным видом, гармоничными вкусо-ароматическими показателями и высоким запасом некоторых биологически активных веществ.

Нутрициологами установлено, что физиологическая потребность взрослого человека в витамине С составляет 60 мг/сутки, β -каротине – 5 мг/сутки, калии – 3500 мг/сутки, кальции – 1000 мг/сутки, железу – 14 мг/сутки и йоду – 0,15 мг/сутки (МР 2.3.1.0253-21 и ТР ТС 022/2011). Количество потребляемых с пищевыми продуктами пектиновых соединений должно доходить до 4 г в сутки.

Согласно ГОСТ Р 52349 пищевой продукт является функциональным, если содержание в нем функционального ингредиента составляет не менее 15 % от суточной потребности организма человека. В соответствии с этим требованием новые взбитые быстрозамороженные фруктово-ягодные десерты являются продуктами питания функциональной направленности, т. к. их употребление в количестве 250 г удовлетворяет суточную потребность человека в таких функциональных компонентах, как пектиновые вещества – на 51,9–61,3 %, витамин С – 42,9–123,4 %,

β -каротин – 22,5–47,5 %, а также минеральные элементы: железо – на 8,9–20,5 % и йод – на 13,3–30,0 % (рис. 1).

Выводы

Разработаны рецептуры и технология производства взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов (абрикосово-хурмово-облепиховый, абрикосово-фейхоа-терновый, абрикосово-хурмово-кизиловый и абрикосово-фейхоа-смородиновый) с применением плодов различных садовых культур и дикоросов, взаимно дополняющих друг друга недостающими в рационе питания биологически и физиологически активными веществами. Результаты биохимических исследований новых десертов свидетельствуют о наличии в них витаминов, минералов и других биологически активных веществ. Максимальное количество витамина С (34,08 мг%) обнаружено в абрикосово-фейхоа-смородиновом десерте. Количество пектиновых веществ в десертах составило 0,87–1,03 %. Особую ценность представляет наличие в десертах антиоксиданта β -каротина. Его концентрация после шоковой заморозки готовых продуктов составила 0,47–1,03 мг%. Все десерты содержали значительные количества калия (137,62–165,05 мг%), кальция (14,50–41,01 мг%), железа (0,52–1,20 мг%) и йода (0,006–0,019 мг%).

Новые десерты можно отнести к функциональным пищевым продуктам, т. к. их употребление в количестве 250 г удовлетворяет суточную потребность взрослого человека в пектиновых веществах на 51,9–61,3 %, витамине С – на 42,9–123,4 %, β -каротине – на 22,5–47,5 %, а также в минеральных элементах: железу – на 8,9–20,5 % и йоду – на 13,3–30,0 %.

Разработанная технология обеспечивает производство новых видов быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов, обладающих функциональной направленностью, отличающихся хорошим запасом биологически и физиологически активных веществ и отвечающих требованиям ТР ТС 021/2011 по показателям безопасности. Употребление в пищу новых видов десертов будет способствовать поддержанию физической активности организма человека и усилению его потенциала противодействовать неблагоприятным факторам окружающей среды.

Критерии авторства

Все авторы внесли равный вклад в получении экспериментальных данных и принимали участие в обработке, анализе и обобщении результатов исследований, а также в оформлении статьи.

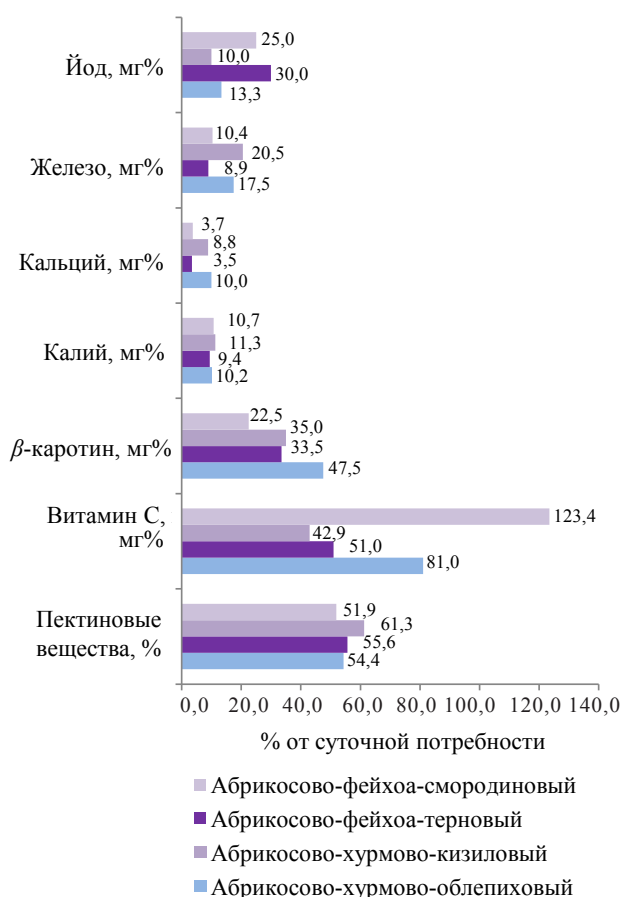


Рисунок 1. Удовлетворение суточной потребности взрослого человека в некоторых функциональных компонентах при употреблении 250 г взбитых быстрозамороженных фруктово-ягодных десертов

Figure 1. Daily intake of some functional components in 250 g of whipped quick-frozen fruit-and-berry desserts

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

results, and bear equal responsibility for the information published in this paper.

Contribution

All authors contributed equally to the experimental work, data processing, analysis, and synthesis of research

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Praskova YuA, Kiseleva TF, Reznichenko IYu, Frolova NA, Shkrabtak NV, Lawrence Yu. Biologically active substances of *Vitis amurensis* Rupr.: Preventing premature aging. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):159–169. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-159-169>
2. Stepakova NN, Reznichenko IYu, Kiseleva TF, Shkrabtak NV, Frolova NA, Praskova YuA. Vegetable raw materials of the far eastern region as a source of biologically active substances. Food Industry. 2020;(3):16–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10025>
3. Kodentsova VM, Vrzhesinskaya OA, Risnik DV, Nikityuk DB, Tutelyan VA. Micronutrient status of population of the Russian federation and possibility of its correction. State of the problem. Problems of Nutrition. 2017;86(4):113–124. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00067>
4. Martinchik AN, Baturin AK, Keshabyants EE, Fatyanova LN, Semenova YaA, Bazarova LB, et al. Dietary intake analysis of Russian children 3–19 years old. Problems of Nutrition. 2017;86(4):50–50. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2017-00059>
5. Diet of the population in 2013: statistical compendium. Moscow: Statistics of Russia; 2013. 220 p. (In Russ.). Рацион питания населения. 2013: статистический сборник. М.: Статистика России, 2016. 220 с.
6. Tutel'yan VA, Spirichev VB, Shatnyuk LN. Correction of micronutrient deficiency as the most important aspect of healthy diet in Russia. Problems of Nutrition. 1999;68(1):3–11. (In Russ.). Тутельян В. А., Спиричев В. Б., Шатнюк Л. Н. Коррекция микронутриентного дефицита важнейший аспект концепции здорового питания населения России // Вопросы питания. 1999. Т. 68. № 1. С. 3–11.
7. Aslam MF, Majeed S, Aslam S, Irfan JA. Vitamins: Key role players in boosting up immune response – A mini review. Vitamins and Minerals. 2017;6(1). <https://doi.org/10.4172/2376-1318.1000153>
8. Yeung AWK, Tzvetkov NT, Zengin G, Wang D, Xu S, Mitrović G, et al. The berries on the top. Journal of Berry Research. 2019;9(1):125–139. <https://doi.org/10.3233/JBR-180357>
9. Agalarov R, Ragimov R, Gasanov R. Characterization of traditional fruit brandy produced in Azerbaijan. Advances in Biology and Earth Sciences. 2017;2(3):263–270.
10. Gramza-Michalowska A, Sidor A, Kulczynski B. Berries as a potential anti-influenza factor – A review. Journal of Functional Foods. 2017;37:116–137. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.07.050>
11. Ivanova NN, Khomich LM, Perova IB, Eller KI. Pineapple juice nutritional profile. Problems of Nutrition. 2019;88(2):73–82. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10020>
12. Khomich LM, Perova IB, Eller KI. Pomegranate juice nutritional profile. Problems of Nutrition. 2019;88(5):80–92. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10057>
13. Efremov IA, Ivanova EV. Development trends in horticultural industry in Russia. Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2020;13(4):276–286. (In Russ.). <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2020.4.276>
14. Food consumption in households in 2017 [Internet]. [cited 2021 Aug 05]. Available from: https://gks.ru/bgd/regl/b18_101/Main.htm
15. Потребление продуктов питания в домашних хозяйствах в 2017 году. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b18_101/Main.htm (дата обращения 05.08.2021).
16. Decree of the Presidium of the Russian Academy of Sciences No. 178 dated November 27, 2018 “Relevant issues of optimizing the diet of the population of Russia: the role of science.” Постановление Президиума РАН № 178 от 27.11.2018 г. «Об актуальных проблемах оптимизации питания населения России: роль науки».
17. Birch CS, Bonwick GA. Ensuring the future of functional foods. International Journal of Food Science and Technology. 2019;54(5):1467–1485. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14060>
18. Alekhina NN, Ponomareva EI, Zharkova IM, Grebenshchikov AV. Assessment of functional properties and safety indicators of amaranth flour grain bread. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(2):323–332. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>

18. Johnson-Down L, Willows N, Kenny T-A, Ing A, Fediuk K, Sadik T, *et al.* Optimisation modelling to improve the diets of first nations individuals. *Journal of Nutritional Science*. 2019;8. <https://doi.org/10.1017/jns.2019.30>
19. Tam E, Keats EC, Rind F, Das JK, Bhutta ZA. Micronutrient supplementation and fortification interventions on health and development outcomes among children under-five in low-and middleincome countries: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*. 2020;12(2). <https://doi.org/10.3390/nu12020289>
20. Garcia-Fontana B, Morales-Santana S, Longobardo V, Reyes-García R, Rozas-Moreno P, García-Salcedo JA, *et al.* Relationship between proinflammatory and antioxidant proteins with the severity of cardiovascular disease in type 2 diabetes mellitus. *International Journal of Molecular Sciences*. 2015;16(5):9469–9483. <https://doi.org/10.3390/ijms16059469>
21. Decree of the Government of the Russian Federation dated June 29, 2016 No. 1364-p Strategy for Improving the Food Quality in the Russian Federation through 2030 [Internet]. [cited 2021 Jul 30]. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/420363999>
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 года № 1364-р «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года». URL: <https://docs.cntd.ru/document/420363999> (дата обращения 30.07.2021).
22. Bosca S, Fissore D, Demichela M. Reliability assessment in a freeze-drying process. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 2017;56(23):6685–6694. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b00378>
23. Marazani T, Madyira DM, Akinlabi ET. Investigation of the parameters governing the performance of jet impingement quick food freezing and cooling systems – A review. *Procedia Manufacturing*. 2017;8:754–760. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.097>
24. Reznichenko IYu, Gutova MI, Bakin IA, Mustafina AS, Tabatorovich AN. The development and quality assessment of semi-finished finishing products with fruit and berry raw materials. *Bulletin of KSAU*. 2020;165(12):222–231. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-12-222-231>
25. Guseynova BM. Nutrition value of wild-growing fruits from mountain Dagestan and its safety after fast freezing and cold storage. *Problems of Nutrition*. 2016;85(4):76–81. (In Russ.).
- Гусейнова Б. М. Пищевая ценность дикорастущих плодов из горного Дагестана и ее сохранность после быстрого замораживания и холодового хранения // *Вопросы питания*. 2016. Т. 85. № 4. С. 76–81.
26. Guseynova BM, Asabutaev IH, Daudova TI. Effect of freezing modes, storage time, and defrosting methods on microbiological quality parameters of apricots. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(1):29–38. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-29-38>
27. Guseynova BM, Asabutaev IH, Daudova TI. Assessment of macro- and micronutrient composition of apricot varieties promising for growing under different soil and climatic conditions of Daghestan. *Fruit growing and viticulture of South Russia*. 2021;(67):113–133. (In Russ.). <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2021-1-67-113-133>
28. Kumar S, Pandey AK. Free radicals: health implications and their mitigation by herbals. *Journal of Advances in Medicine and Medical Research*. 2015;7(6):438–457. <https://doi.org/10.9734/BJMMR/2015/16284>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2363>
<https://elibrary.ru/PYEBKB>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние производственно-сбытовых цепочек на продовольственную безопасность



Е. Г. Казанцева*^{ORCID}, И. И. Лямкин^{ORCID}

Кемеровский государственный университет^{ORCID}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 14.01.2022
Принята после рецензирования: 02.03.2022
Принята в печать: 11.04.2022

*Е. Г. Казанцева: 9059655017@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0517-5371>
И. И. Лямкин: <https://orcid.org/0000-0003-2219-0645>

© Е. Г. Казанцева, И. И. Лямкин, 2022



Аннотация.

Производственно-сбытовые цепочки выступают каналами, играющими важную роль в обеспечении глобальной продовольственной безопасности. Целью исследования является анализ усиления влияния глобальных производственно-сбытовых цепочек на продовольственную безопасность государств и выработка предложений по повышению уровня продовольственной безопасности России в контексте совершенствования указанных цепочек.

Объектом исследования выступало влияние производственно-сбытовых цепочек на продовольственную безопасность. Информационной базой являются материалы национальных служб статистики, информационных и рейтинговых агентств и международных организаций. Исследование осуществлено на основе системного подхода и метода сравнительного анализа.

Влияние производственно-сбытовых цепочек на продовольственную безопасность неоднозначно. С одной стороны, они объединяют разрозненные звенья в единую систему и позволяют обеспечить быстрое доведение продовольствия до конечного потребителя, с другой – происходит усиление монополизации управляющих звеньев производственно-сбытовых цепочек. К основным характеристикам трансформации продовольственных производственно-сбытовых цепочек относятся: изменение состава участников цепочек в связи с усилением противоречий между странами и чрезвычайными событиями; монополизация перерабатывающих, логистических и торговых звеньев цепочек; вход в производственно-сбытовые цепочки компаний из других отраслей; усиление неравномерности распределения доходов участников цепочек; совершенствование методов воздействия управляющих звеньев цепочек и пр. В данном исследовании рассмотрено движение компаний к глобализации производственно-сбытовых цепочек с одной стороны и стремление национальных правительств замкнуть цепочки внутри страны с другой.

Результаты исследования могут быть использованы при принятии управленческих решений по совершенствованию производственно-сбытовых цепочек для повышения уровня продовольственной безопасности с учетом интересов как участников цепочек, так и общества, исходя из принципов устойчивого развития.

Ключевые слова. Безопасность, продовольствие, продовольственная система, вертикальная интеграция, пищевая промышленность, монополизация, олигополия, цены

Для цитирования: Казанцева Е. Г., Лямкин И. И. Влияние производственно-сбытовых цепочек на продовольственную безопасность // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 282–295. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2363>

The Impact of Value Chains on Food Security

Elena G. Kazantseva*^{ID}, Igor I. Lyamkin^{ID}

Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: 14.01.2022
Revised: 02.03.2022
Accepted: 11.04.2022

*Elena G. Kazantseva: 9059655017@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-0517-5371>
Igor I. Lyamkin: <https://orcid.org/0000-0003-2219-0645>

© E.G. Kazantseva, I.I. Lyamkin, 2022



Abstract.

Value chains are conduits that play an important role in global food security. The purpose of the study was to analyze the increasing impact of global value chains on national food security and develop proposals for improving the level of food security in Russia.

The research featured the impact of value chains on food security. The study was based on a systematic analysis of data obtained from national statistical services, information and rating agencies, international organizations, etc.

The impact of value chains on food security proved to be complex. On the one hand, they combine disparate links into a single system and allow for the rapid delivery of food to the end consumer. On the other hand, they increase the monopolization of the control links. The article introduces key features of the transformation of food value chains in recent decades. First, the list of participants often changes due to the growing contradictions between different countries and unpredictable foreign policy. Second, processing, logistics, and trade chains often get monopolized. Third, companies from other industries enter value chains from outside. Fourth, the distribution of income among chain participants becomes more uneven. Fifth, the influence methods of control links get more elaborate, etc. In general, companies tend to globalize their value chains while national governments strive to keep the chains within the country.

The results of the study can improve value chains and food security in the country, while taking into account the interests of both chain participants and society, as well as the principles of sustainable development.

Keywords. Security, food, food system, vertical integration, food industry, monopolization, oligopoly, prices

For citation: Kazantseva EG, Lyamkin II. The Impact of Value Chains on Food Security. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):282–295. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2363>

Введение

Вопросы продовольственной безопасности в глобальном масштабе не только не утрачивают своей актуальности, но и имеют тенденцию к обострению. Пандемия COVID-19 продемонстрировала уязвимость мировой продовольственной системы и ее неустойчивость к шоковым событиям. В результате проблемы голода, недоедания, перебоев со снабжением и резкого роста цен на продовольствие стали первостепенными для большинства стран. Это повышает значимость выработки комплекса экстренных мер по обеспечению продовольственной безопасности в кризисные периоды.

В связи с возрастанием стандартов уровня и качества жизни людей в долгосрочном периоде изменяется содержание категории «продовольственная безопасность», расширяется ее понимание и совершенствуются методики оценки. К началу XXI века под продовольственной безопасностью понималось состояние, при котором

для всех людей обеспечено наличие постоянного физического, социального и экономического доступа к достаточному количеству безопасной и питательной пищи, позволяющей удовлетворять их потребности и вкусовые предпочтения и вести активный и здоровый образ жизни [1]. В последние несколько лет специалисты усилили внимание на возможности индивидов самостоятельно формировать продовольственный набор и обеспечивать функционирование продовольственных систем на принципах устойчивого развития. Выделяют шесть ключевых аспектов (измерений) продовольственной безопасности [2]:

– наличие продовольствия (наличие не содержащей вредных веществ и приемлемой для конкретной культуры пищи высокого качества и в достаточном количестве для удовлетворения пищевых потребностей людей, обеспечиваемое за счет отечественного производства или импорта);

- доступность продовольствия (наличие финансовых средств для приобретения питательной пищи в объемах, не ставящих под угрозу удовлетворение других основных потребностей, и доступность питания для всех групп, включая уязвимые);
- использование продовольствия (наличие полноценного рациона питания в рациональных объемах);
- стабильность запасов продовольствия даже при внезапных потрясениях;
- субъектность (способность решать, какие продукты питания потреблять и производить, как их перерабатывать и распределять в продовольственных системах и пр.);
- устойчивость (использование в продовольственных системах методов, способствующих долгосрочному восстановлению природных, социальных и экономических систем и обеспечивающих удовлетворение потребностей ныне живущих и будущих поколений в продовольствии).

В официальных документах Российской Федерации нашли отражение не все из перечисленных аспектов продовольственной безопасности. В Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации (утверждена Указом Президента РФ от 21.01.2020 № 20) она трактуется как состояние социально-экономического развития страны, при котором обеспечивается продовольственная независимость Российской Федерации, гарантируется физическая и экономическая доступность для каждого гражданина страны пищевой продукции, соответствующей требованиям, в объемах не меньше рациональных норм ее потребления для ведения активного и здорового образа жизни.

Вопросы измерения продовольственной безопасности также трансформируются. Применяются как объективные количественные критерии (доля расходов на продовольствие в совокупных расходах семей, количество и структура потребляемых продуктов питания, калорийность и пр.), так и субъективные критерии (применяемая Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН шкала восприятия отсутствия продовольственной безопасности, используемая в США практика выделения диапазонов продовольственной безопасности и ее отсутствия и др.). Также развиваются методики комплексной оценки продовольственной безопасности стран. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН осуществляет группировку стран по степени их подверженности воздействию факторов, оказывающих влияние на продовольственную безопасность и питание. Economist Intelligence Unit (аналитическое подразделение The Economist Group) рассчитывает индекс продовольственной безопасности (Global Food Security Index), который характеризует доступность, наличие, качество и безопасность продуктов питания и природных

ресурсов в 113 странах. По итогам 2020 г. лидирующие позиции занимали Ирландия, Австрия, Великобритания, Финляндия и Швейцария. Россия находилась на 23 месте [3]. Обзор подходов к оценке продовольственной безопасности представлен в работах Э. Николсона и др., Э. Алли и др., Д. Пудела и М. Гопенахта, М. Купераба и др., а также отечественного ученого Р. Р. Гумерова [4–8].

Крайней формой отсутствия продовольственной безопасности является голод. С 2014 г. в мире прекратился продолжавшийся на протяжении предыдущих девяти лет процесс сокращения масштабов голода. По оценкам, представленным в докладе «Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире», в 2020 г. голодали от 720 до 811 млн человек [1]. Почти каждый третий человек на планете не имел доступа к достаточному количеству продовольствия (на 320 млн человек больше, чем в 2019 г.). В 2020 г. острое отсутствие продовольственной безопасности испытывали почти 12 % населения мира (на 148 млн человек больше, чем в 2019 г.). Ситуацию усугубил кризис, вызванный COVID-19 [9]. В большей степени от кризиса пострадали представители малообеспеченных и уязвимых групп населения, которым не хватало ресурсов, чтобы преодолеть последствия потери работы и доходов, а также роста цен на продовольствие. Более половины недоедающих проживают в Азии, более одной трети в Африке.

Проблема продовольственной безопасности в развитых странах имеет меньшую остроту, чем в других, но не решена полностью. Согласно данным Службы экономических исследований Министерства сельского хозяйства США в 2020 г. 6,6 % домохозяйств (8,6 млн) имели низкий уровень продовольственной безопасности, 3,9 % (5,1 млн) – очень низкий [10]. По данным Росстата, в Российской Федерации в 2018 г. 0,3 % населения остро ощущали отсутствие продовольственной безопасности, а умеренно остро 6,2 %.

К основным факторам, оказывающим неблагоприятное влияние на состояние мировых продовольственных систем и продовольственной безопасности, относятся региональные конфликты, экономический кризис, неблагоприятные изменения климата, высокие темпы роста населения и низкий уровень его доходов, рост стоимости продуктов питания, недостаточная эффективность производственно-сбытовых цепочек, низкий уровень государственного и межгосударственного регулирования вопросов доступности продуктов питания и пр. Работа по совершенствованию продовольственных систем ведется по 6 основным направлениям, представленным на рисунке 1 [1].

Наряду с традиционными мероприятиями по повышению уровня продовольственной безопасности (осуществление продовольственной поддержки



Рисунок 1. Укрупненные направления совершенствования продовольственных систем на глобальном уровне

Figure 1. High-level areas for improving food systems at the global level

населения в пострадавших от конфликтов и чрезвычайных происшествий районах, смягчение отрицательного влияния изменений климата на продовольственные системы, поддержка наиболее уязвимых групп населения, искоренение нищеты и рационализация режимов питания) большее внимание стало уделяться необходимости перехода к устойчивому развитию продовольственных систем. Актуализировались вопросы, связанные с обеспечением безопасного функционирования товаропроводящих цепочек.

Рост международной торговли продуктами питания свидетельствует об увеличении числа людей, чья продовольственная безопасность обеспечивается за счет мировых рынков. Этому способствовала проводимая большинством стран в конце XX – начале XXI вв. политика дерегулирования. Она привела к подчинению глобальным производственно-сбытовым цепочкам отдельных национальных игроков и усилению контроля над ними со стороны управляющих звеньев цепочек. Значимы проблемы влияния глобальных цепочек создания стоимости на продовольственную безопасность для развивающихся стран и стран с формирующимися рынками. В то же время отдельные страны (например, Россия) стремятся к повышению продовольственного суверенитета, предполагающего усиление национального контроля над звеньями продовольственных производственно-сбытовых цепочек и сокращение доли импорта продуктов питания.

Консолидация отдельных компонентов продовольственных производственно-сбытовых цепочек привела к изменению их структуры и усилению

властных позиций крупных перерабатывающих и торговых предприятий. Как следствие, возросли возможности доминирующих предприятий пищевой промышленности и розничной торговли влиять как на создание ренты, так и на ее распределение в этих цепочках [11]. Вопросы монополизации и регулирования продовольственных производственно-сбытовых цепочек требуют особого внимания в интересах обеспечения продовольственной безопасности.

Цель исследования заключается в анализе влияния производственно-сбытовых цепочек на продовольственную безопасность и выработке предложений по повышению уровня продовольственной безопасности в контексте совершенствования указанных цепочек.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступает влияние производственно-сбытовых цепочек на продовольственную безопасность. Исследование осуществлено на основе системного подхода и метода сравнительного анализа. Исходя из логики исследования, в работе дается краткая характеристика продовольственной безопасности и рассматриваются основные факторы, оказывающие влияние на ее состояние. Основное внимание уделяется роли производственно-сбытовых цепочек в обеспечении продовольственной безопасности и характеристике их структурных компонентов как в России, так и за рубежом. В завершении предлагаются меры по повышению уровня продовольственной безопасности в контексте совершенствования указанных цепочек.

Информационной базой исследования являются материалы Федеральной службы государственной статистики (Росстата), Службы экономических исследований Министерства сельского хозяйства США, нормативные правовые акты, отчеты и аналитические материалы Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), Международного фонда сельскохозяйственного развития, Всемирной продовольственной программы ООН, Всемирной организации здравоохранения, Организации экономического сотрудничества и развития, Всемирного банка, агентства «РАЭК-Аналитика», информационного ресурса «СПАРК» и др.

Теоретической базой исследования служат работы в области развития производственно-сбытовых цепочек (С. Гамильтон, Д. Сандинг, Э. Диз, С. Фазили, Б. Рамамурти, К. Келлоуэй, С. Миллер, А. Тауб, М. Магнус, С. Беркум, В. Кондратьев, В. Попов, Г. Кедрова и др.), устойчивости продовольственных систем (К. Бенеа, Д. Баккерб, Б. Эвенк и др.), оценки продовольственной безопасности (Р. Гумеров, Дж. Гарретт, Э. Алли, Л. Ли, В. Мюллер, Х. Харас, Д. Пудел и др.) и ее управления (С. Николсон, Е. Стивенс, А. Джонс, Д. Парсонс, и др.).

Результаты и их обсуждение

В современных условиях мировое сообщество находит неприемлемым решение текущих проблем, в том числе продовольственных, любой ценой и без учета права на развитие будущих поколений. Эффективной признается только та продовольственная система, которая обеспечивает продовольственную безопасность и питание для всех людей на устойчивой основе и имеет важное значение для содействия и поддержания благосостояния людей и жизнестойкости планеты [12]. Производственно-сбытовые цепочки – это каналы, играющие важную роль в обеспечении глобальной продовольственной безопасности. Они становятся объектами не только экономического, но и политического воздействия со стороны государств [13].

В последние несколько десятилетий происходила глобализация продовольственных систем. Если в 1990–1991 гг. мировой объем торговли продовольственными товарами в стоимостном выражении составлял \$315 млрд, то в 2017 г. – около \$1,5 трлн, в 2020 г. – \$1,53 трлн, в 2021 г. – \$1,75 трлн (на 14 % больше, чем в предыдущем году) [2, 14]. В 2021 г. на развитые регионы приходилось почти 60 % мирового импорта продовольствия, на развивающиеся – 40 %. Рекордный годовой рост импорта продовольствия наблюдался в наименее развитых странах: он увеличился на 16 %, по сравнению с 2020 г., а в странах Африки к югу

от Сахары и странах с низким уровнем дохода, испытывающих дефицит продовольствия, – более чем на 20 % [14].

Основная часть роста мирового импорта продовольствия, по сравнению с прошлым годом, обусловлена не увеличением его физического объема, а высоким уровнем цен на продукты питания, а также трехкратным увеличением стоимости фрахта. Например, из дополнительного импорта в размере \$25 млрд странами с низким уровнем дохода более \$14 млрд были обусловлены повышением цен продовольствия и фрахта и только \$11 млрд отражали увеличение объемов [14]. В результате рост стоимостного объема импорта не привел к значительному увеличению поставок продовольствия и повышению его доступности для населения.

С целью мониторинга и прогнозирования влияния изменений цен на аграрных рынках на глобальную продовольственную безопасность эксперты ФАО используют глобальный индекс цен на производственные ресурсы (ГИЦПР) и индекс продовольственных цен (ИПЦФ). ГИЦПР отражает динамику цен на энергию, удобрения, пестициды, корма и семена. ИПЦФ демонстрирует динамику цен на основные сельскохозяйственные продовольственные товары на международном рынке. К августу 2021 г. ИПЦФ вырос на 34 %, а ГИЦПР – на 25 %, по сравнению с тем же периодом 2020 г., достигнув 10-летнего максимума [14]. Рост обусловлен комплексом факторов, в том числе нарушением функционирования производственно-сбытовых цепочек.

Производственно-сбытовая цепочка представляет собой полный цикл деятельности, необходимой для того, чтобы продукт или услуга прошли все стадии от замысла через производство и поставку конечному потребителю до утилизации после использования (разработка, производство, маркетинг, сбыт, вспомогательные услуги) [15]. В представленном понимании понятие «производственно-сбытовая цепочка» схоже с понятием «цепочка добавленной стоимости». Под цепочкой добавленной стоимости понимается создающая добавленную стоимость деятельность, в процессе которой товар или услуга проходят все стадии: замысел, проектирование, производство, маркетинг, реализация и обслуживание на пути к конечному потребителю [16].

Структуру производственно-сбытовых цепочек можно рассматривать как с точки зрения входящих в нее отдельных предприятий, так и с точки зрения звеньев, представленных более короткими цепочками. Элементом продовольственных производственно-сбытовых цепочек являются сельскохозяйственные цепочки, относимые к ресурсоемким и направляющим большую часть производимой продукции для переработки в другие отрасли [17]. Например, на предприятия пищевой промышленности.

В цели исследования рассматриваются продовольственные производственно-сбытовые цепочки, составными частями которых являются предприятия: цепочки, контролируемые перерабатывающими предприятиями, и цепочки, контролируемые сбытовыми сетями. Управляющие звенья оказывают воздействие на других участников цепочки посредством участия в капитале и координации бизнес-процессов и финансовых потоков, а также влияют на установление цен. Такая структура создает условия для возникновения узких мест, в которых переработчики пищевых продуктов осуществляют олигопсоническую власть над фермерами, а розничные торговцы – олигопольную над потребителями [18, 19]. В результате получается система в форме песочных часов, где в начале цепочки находится большое количество фермеров, в конце – огромное количество людей, потребляющих пищу, а в середине – небольшое количество фирм, контролирующих перемещение продуктов питания от производителей к потребителям [20].

Темпы концентрации капитала в различных звеньях цепочек характеризуются неравномерностью. Если в конце XX века обсуждение проблем чрезмерной концентрации касалось доминирующего положения переработчиков продуктов питания, то в XXI актуализировался вопрос оценки последствий концентрации на рынках розничной торговли.

Укрупнение предприятий торговли происходит как в развитых, так и в развивающихся странах. В 1997 г. американцы покупали 21 % своих продуктов питания у четырех крупнейших розничных компаний. К 2019 г. четыре крупнейших сети продавали 43 % всех продуктов питания, причем четверть рынка принадлежала «Walmart» [21]. Сетевые супермаркеты глобального и национального масштаба вытесняют местные торговые сети и предприятия малого и среднего бизнеса, владеющие небольшими магазинами, и сокращают объемы продукции, закупаемой у местных поставщиков. Управляющие сетями ориентируют участников закупать товары у определенных поставщиков, а продовольственные компании, не интегрированные в сети, часто должны платить за слотинг.

Нарастает монополизация сектора розничной торговли цифровыми компаниями. Одним из примеров может служить приобретение «Amazon» компании «Whole Foods» в 2017 г. Вхождение цифровых компаний в торговлю продовольствием вызывает озабоченность традиционных участников рынка, поскольку в практику цифровых гигантов входит использование стратегий занижения цен и «вхождения в каждый дом». Это побуждает конкурентов инвестировать в цифровые технологии, логистику и доставку продуктов и прибегать к оборонительным слияниям.

Продовольственные производственно-сбытовые цепочки в последние десятилетия подверглись изменениям, основными из которых являются следующие.

1. Модификация производственно-сбытовых цепочек в связи с чрезвычайными событиями и усилением противоречий между странами. Это выражается в «замене» отдельных звеньев цепочек. Примером может служить сокращение импорта Китаем американской сои и переключение на поставщиков из Аргентины и Бразилии в результате затяжного конфликта между Китаем и США [2]. Еще один пример – это продовольственное эмбарго, продленное Россией до конца 2022 г., в отношении стран, которые после присоединения Крыма в 2014 г. ввели санкции против российских компаний и физических лиц. Россия в ответ на санкции сократила с 2014 г. поставки из Евросоюза мяса, рыбы, овощей, фруктов, орехов, соли и др. продуктов и осуществила импортозамещение и/или замену поставщиков.

Нарушение целостности производственно-сбытовых цепочек происходит из-за кризисов. Например, во время кризиса, вызванного пандемией COVID-19, имели место как запреты экспорта товаров, так и ограничения импорта. В результате отдельные страны лишились рынков сбыта своей сельскохозяйственной продукции, а другие столкнулись с повышением цен и дефицитом продовольствия, что способствовало росту нищеты и голода. Структура экспортных поставок развивающихся стран изменилась в пользу сырьевых товаров с низкой добавленной стоимостью. Пандемия отразилась и на логистике, приведя к сбоям в цепочках поставок. У предприятий, которые зависят от импортных средств производства, выросли производственные издержки.

2. Монополизация перерабатывающих, логистических и торговых звеньев производственно-сбытовых цепочек [22, 23]. В составе участников производственно-сбытовых цепочек появляются глобальные и национальные олигополисты. Всего четыре корпорации – Cargill (США), Archer-Daniels-Midland (США), Bunge (США) и Louis Dreyfus (Нидерланды) – контролируют подавляющую часть мирового бизнеса по торговле зерном [21]. Их влияние распространяется далеко за пределы зерновых, поскольку данные компании торгуют разнообразными продовольственными товарами.

В начале 2000-ых гг. 10 крупнейших компаний линейного судоходства имели рыночную долю в 51 %. В 2019 г. эта доля увеличилась до 82 %. К 2038 г. ожидается, что останутся на рынке только 16 из 100 крупнейших перевозчиков, функционировавших в 2000 г. [24]. Это тревожный факт, особенно в связи с развитием международной торговли продовольствием.

В таблице 1 представлен список крупнейших глобальных компаний-производителей продуктов

Таблица 1. Рейтинг производителей продуктов питания, пива и напитков, предприятий общественного питания и оптовой торговли продуктами питания по объему реализации, входящих в Fortune Global 500, 2021

Table 1. Fortune Global 500 Food, Beer & Beverage, Catering and Food Wholesalers Ranking by Sales Volume, 2021

Место	Компания, страна	Отрасль (сфера)	Выручка в 2020 г., млн долл. США (в % к 2019 г.)	Прибыль в 2020 г., млн долл. США (в % к 2019 г.)	Активы, млн долл. США
79	Nestle, Швейцария	Продукты питания	89852,9 (–3,6)	13031,1 (+2,7)	140366,7
131	PepsiCo, США	Продукты питания	70372,0 (+4,8)	7120,0 (–2,7)	92918,0
146	Archer Daniels Midland (ADM), США	АПК	64355,0 (–0,5)	1772,0 (+28,5)	49719,0
199	Sysco, США	Оптовая торговля продуктами питания	52893,3 (–12,0)	215,5 (–87,1)	22628,3
202	JBC, Бразилия	Пищевая промышленность	52429,0 (+1,1)	892,2 (–42,0)	31358,6
211	Wilmar International, Сингапур	АПК	50526,8 (+18,5)	1534,1 (+18,6)	51020,0
236	Anheuser-Busch InBev, Бельгия	Пиво и напитки	47358,0 (–11,8)	1405,0 (–84,7)	226410,0
259	Edeka Zentrale, Германия	Оптовая торговля продуктами питания	44158,6 (+10,9)	315,4 (–17,2)	10567,4
270	Tyson Foods, США	Производство продуктов питания	43185,0 (+1,8)	2061,0 (+4,1)	34456,0
289	Bunge, США	Производство продуктов питания	41404,0 (+0,6)	1145,0 (–)	23253,0
329	Metro, Германия	Оптовая торговля продуктами питания	36524,7 (–11,7)	514,7 (–)	15461,0
362	Louis Dreyfus, Нидерланды	Производство продуктов питания	33564,0 (–0,7)	382,0 (+66,1)	23665,0
370	Coca-Cola, США	Пиво и напитки	33014,0 (–11,4)	7747,0 (–13,2)	87296,0
390	New Hope Holding Group, Китай	Производство продуктов питания	31605,7 (+184,7)	515,4 (–)	48453,3
429	CHS, США	Производство продуктов питания	28406,4 (–11,0)	422,4 (–49,1)	15993,9
454	Danone, Франция	Продукты питания	26913,8 (–4,9)	2228,8 (+3,2)	52349,3
457	United Natural Foods, США	Оптовая торговля продуктами питания	26742,8 (+13,9)	–274,1 (–)	7587,0
463	Mondelez International, США	Продукты питания	26581,0 (+2,8)	3555,0 (–8,1)	67810,0
466	Kraft Heinz, США	Продукты питания	26185,0 (+4,8)	356,0 (–81,6)	99380,0
469	Olam International, Сингапур	Оптовая торговля продуктами питания	26067,8 (+7,6)	178,1 (–56,9)	20206,3
474	WH Group, Гонконг	Продукты питания	25589,0 (+6,2)	828,0 (–43,5)	18715,0
477	Compass Group, Великобритания	Общественное питание	25413,4 (–19,9)	169,5 (–88,0)	19030,4
483	Performance Food Group, США	Оптовая торговля продуктами питания	25086,3 (+27,1)	–114,1 (–168,4)	7719,7

питания, пива и напитков, предприятий общественного питания и оптовой торговли продуктами питания по объему выручки, входящих в Fortune Global 500, 2021 (https://fortune.com/fortune500/2021/search/?f500_industry=Food%20Consumer%20Products&rank=asc). В рейтинг вошли 23 компании из 500, из них 10 имеют «американское гражданство». Лидерами рейтинга являются «Nestle» (Швейцария), «PepsiCo» (США) и «Archer Daniels Midland» (США).

Вопросы монополизации производственно-сбытовых цепочек вызывают широкие дискуссии

во всем мире, в том числе в США. Укрупнение американской мясоперерабатывающей промышленности происходило на протяжении нескольких десятилетий. Если в 1977 г. четыре крупнейшие фирмы по упаковке говядины контролировали 25 % рынка, то сегодня – 82 % [25]. Во многих регионах страны на рынке можно найти всего двух «упаковщиков». Одним из результатов консолидации является то, что цена, которую получают владельцы ранчо, продолжает снижаться несмотря на рост цены, которую платят потребители за говядину [21]. В птицеводстве в 1986 г.

четыре ведущих перерабатывающих предприятия контролировали 35 % рынка, сегодня – 54 %. Что касается свинины, то четыре ведущих свиноводческих предприятия в 1976 г. контролировали 33 % рынка, сегодня – 66 % [25]. С середины 1990-х гг. 70 % американских свиноводов вышли из бизнеса из-за сокращения мелких ферм и роста крупных предприятий концентрированного откорма [21].

Монополизация приводит к росту прибыли управляющих звеньев производственно-сбытовых цепочек. Эти компании выплачивают высокие дивиденды и обеспечивают обратный выкуп акций. Например, компания «JBS» обеспечила обратный выкуп акций на \$2,3 млрд в 2020 г. и предложила высокие дивидендные выплаты на 2021 г., увеличив их почти на 75 % по сравнению с 2020 г. «Tyson» также увеличил дивиденды на 6 % в 2021 г., потратив на эти цели \$477 млн за девять месяцев. В период с сентября 2020 по июль 2021 гг. компания выкупила акции на \$200 млн [25].

Проблема монополизации мясной промышленности США и ее дестабилизирующего влияния на производственно-сбытовые цепочки и продовольственную безопасность страны является значимой. Ей неоднократно уделял внимание действующий Президент США Джо Байден. Он выступал с призывом к развитию конкуренции в мясоперерабатывающей промышленности, установлению справедливых цен на мясо, повышению доходов фермерских хозяйств и поддержке малого бизнеса для решения проблем цепочек поставок среднего уровня [26].

3. Вход в агропромышленный сектор компаний из других отраслей. В 2016 г. немецкая химико-фармацевтическая корпорация «Bayer» (<https://www.bayer.com>) приобрела компанию «Monsanto» (США) – одну из крупнейших в мире по производству семян и агрохимикатов. «Monsanto» с конца 1980-х гг. приобрела более 60 независимых компаний по производству семян. Компания «DowDupont» (<https://www.dupont.com>) была образована в 2017 г. после слияния двух крупнейших американских производителей химической продукции «Dow» и «DuPont». За последние десять лет эти две корпорации приобрели более 40 компаний по производству семян и агрохимикатов. Конгломерат разделен на три корпорации, одна из которых («Corteva») сохраняет лидирующие позиции в сфере производства семян и агрохимикатов.

Важным компонентом продовольственных производственно-сбытовых цепочек становятся компании, предоставляющие услуги. Стоимость услуг составляет около 25 % от добавленной стоимости в экспорте сельскохозяйственной продукции и 35 % в экспорте продовольствия. На долю сектора услуг приходится 30 % конечной стоимости

продовольственных товаров в странах с высоким уровнем дохода и 23 % в развивающихся [27].

В составе участников производственно-сбытовых цепочек усиливается роль финансовых организаций, осуществляющих инвестирование в аграрный сектор посредством комплексных финансовых инструментов, участия в торговле товарными фьючерсами и пр. Финансовые инвестиции могут усилить волатильность цен и нестабильность продовольственных рынков. Проявление интереса к агропромышленному сектору со стороны других отраслей является тенденцией, требующей повышенного внимания со стороны антимонопольных органов, особенно развивающихся стран.

4. Усиление неравномерности распределения доходов внутри участников производственно-сбытовых цепочек. В цепочках добавленной стоимости сокращаются властные позиции сельского хозяйства. Они перемещаются в сторону переработки и торговли. Доля несельскохозяйственных компонентов в цепочке создания стоимости продуктов питания быстро растет.

В США в 1990 г. фермеры получали 59 центов с каждого доллара, потраченного на говядину, а розничные торговцы 33 цента. Сегодня эти цифры составляют 38 и 51 центов соответственно [21]. Кроме того, сохраняется опережающий рост цен на сельскохозяйственные средства производства по сравнению с темпами роста цен на сельскохозяйственную продукцию, реализуемую фермерами.

5. Создание торговыми сетями «иллюзии выбора». Потребитель выбирает различные продукты, но в реальности приобретает их у одной компании. Например, в России компании «PepsiCo» (<https://www.pepsico.ru>) принадлежат следующие бренды: детское питание («Агуша», «Чудо Детки»), молочная продукция («BioMax», «Чудо», «Мажитэль», «Домик в деревне»), соки («Любимый», «J7», «Фруктовый сад», «Я»), снеки («Lay's», «Хрустяteam», «Cheetos», «Doritos») и напитки («7UP», «Adrenaline Rush», «DRIVE ME», «Lipton», «Aqua Minerale», «Mirinda», «Mountain Dew», «Pepsi», «Чудо ягода», «Русский дар»). Портфель Группы «Черкизово» (<https://cherkizovo.com>) включает 16 брендов, в том числе ведущие бренды на рынке колбасы и мяса птицы: «Черкизово», «Петелинка», «Куриное царство», «Пава-Пава» и др. Оптимизация торговыми сетями ассортимента сопровождается увеличением доли низкого ценового сегмента при продажах продуктов питания и ростом объемов продаж товаров с длительным сроком хранения.

6. Совершенствование форм и методов контроля владельцев управляющих звеньев производственно-сбытовых цепочек над остальными участниками цепочек. Например, в США развиваются системы контрактного фермерства, предполагающие заключение с фермерами контрактов с конкретными

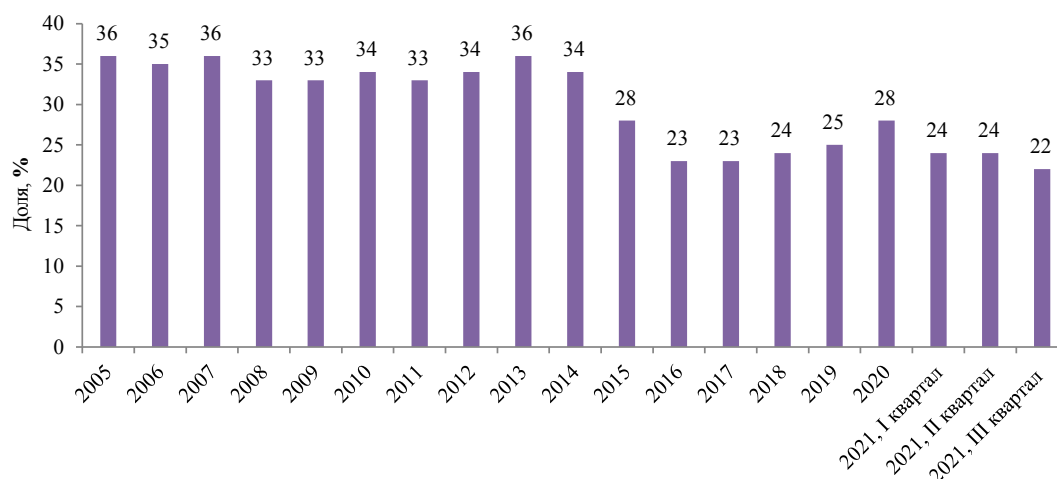


Рисунок 2. Доля импортных продовольственных товаров в товарных ресурсах розничной торговли продовольственными товарами России

Figure 2. Share of imported food products in the commodity resources of food retail trade in Russia

условиями: каких цыплят выращивать, какой корм для птиц и лекарства должны использовать фермеры, какую цену получают фермеры после того, как сдадут продукцию на переработку. В рамках этой системы ежегодно выращивается 90 % из почти 9 млрд цыплят. Половина фермеров-птицеводов работает в регионах, где доминируют одна или две перерабатывающие компании. Это оставляет им мало возможностей торговаться за лучшие контракты или условия выращивания [21]. Широко практикуется закрепление механизмов «привязки» фермеров к определенной сельскохозяйственной технике, сервисным компаниям и арендуемым земельным участкам.

Крупные корпорации используют механизм контроля над фермерами посредством сочетания использования семян и химикатов для их обработки. Это толкает фермеров на «беговую дорожку пестицидов», т. е. зависимость как от эволюционирующих семян корпорации, так и от химикатов для получения здорового урожая [21]. Кроме того, практикуется запрет на редактирование программного обеспечения тракторов, изменение настроек двигателя и модификацию техники для соответствия новым экологическим стандартам без согласования с производителем. Выживание фермерских семей определяется степенью их соответствия нормам, ценностям и технологическим стандартам, навязанным компаниями и действующим в глобальном масштабе.

В России повышение физической и экономической доступности безопасной и качественной пищевой продукции является одной из задач по реализации стратегического национального приоритета «Сбережение народа России и развитие человеческого потенциала», закрепленного в Стратегии

национальной безопасности Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400). По данным Росстата, представленным на рисунке 2, с 2005 по 2021 гг. (3 квартал) доля импортных продовольственных товаров в товарных ресурсах розничной торговли продовольственными товарами сократилась с 36 до 22 % (<https://rosstat.gov.ru/folder/11188>). Это свидетельствует о повышении продовольственного суверенитета страны. В 2021 г. актуализировалась проблема экономической доступности продовольствия в связи с резким ростом цен на продукты питания (с января по ноябрь рост цен составил более 9 %) и недостаточным ростом реальных доходов населения.

Что касается состояния структурных звеньев производственно-сбытовых цепочек, то в России, по оценкам специалистов «РАЭК-Аналитика», агропромышленный комплекс в 2020 г. стал примером антикризисного прорыва. Средний оборот пищевых компаний, входящих в рейтинг 600 крупнейших компаний страны по объему реализации, вырос за 2020 г. на 32,6 %. По итогам 2020 года в России экспорт сельхозпродукции достиг рекордных \$30,7 млрд (+20 % к 2019 г.). Одним из драйверов роста торговых предприятий стали «товары апокалипсиса» – продукты длительного хранения, которые жители массово приобретали в начале карантина [28]. В то же время наблюдалось сужение каналов продаж и приостановка деятельности продовольственных рынков, которые обеспечивали значительную часть продаж овощей и фруктов. Результатом стало усиление конкуренции оптовиков за поставки данных товаров в торговые сети.

В рейтинг RAEX-600 в 2021 г. вошли 27 компаний пищевой промышленности РФ (в состав рейтинга

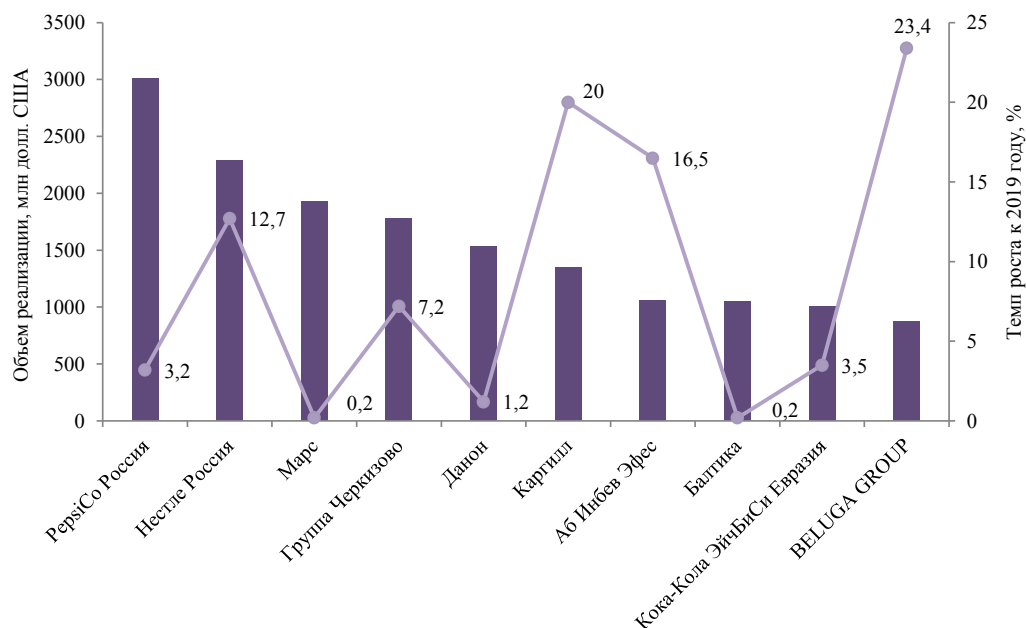


Рисунок 3. Крупнейшие пищевые компании РФ по объему реализации и темпам роста выручки в 2020 г.

Figure 3. The largest food companies in the Russian Federation by sales volume and revenue growth rate in 2020

Fortune Global 500 не вошла ни одна из них) [28]. Их доля в суммарном объеме реализации рейтинга составила 2 %. Крупнейшими пищевыми компаниями РФ по объему реализации в 2020 г. являлись «PepsiCo Россия» (76 место в общем рейтинге), «Нестле Россия» (103 место), «Марс» (116 место), «Группа Черкизово» (129 место), «Данон» (153 место), «Каргилл» (173 место), «Аб Инбев Эфес» (210 место), «Балтика» (212 место), «Кока-Кола ЭйчБиСи Евразия» (220 место) и BELUGA GROUP (247 место). Объемы реализации десяти лидирующих компаний и темпы роста выручки в 2020 г., по сравнению с 2019 г., представлены на рисунке 3 (https://gaex-a.ru/rankingtable/top_companies/2021/tab_01).

Крупные компании пищевой промышленности и розничной торговли распространяют влияние в глобальном масштабе за счет прямых иностранных инвестиций и приобретений местных компаний. Анализ владения крупнейшими российскими пищевыми компаниями показывает, что в составе учредителей компаний «Нестле Россия», «PepsiCo Россия», «Марс», «Каргилл», «Аб Инбев Эфес», «Балтика», «Кока-Кола ЭйчБиСи Евразия» и BELUGA GROUP находятся зарубежные компании [29]. Это означает, что они могут оказывать влияние на проводимую компаниями политику развития и на продовольственную безопасность страны. Помимо прямого владения используются такие неформальные средства контроля, как стратегические альянсы или договорные отношения, затрудняющие степень оценки реального уровня власти.

Данные компании имеют прямое и косвенное участие в капитале других компаний. BELUGA GROUP (<https://belugagroup.ru>) владеет спиртзаводом, пятью производственными площадками и винодельческим комплексом. Общее количество дочерних и зависимых обществ BELUGA GROUP с долей в уставном капитале равной или больше 20 %, а также прямо или косвенно контролируемых юридических лиц (доля владения в каждом звене по всей цепочке больше 50 %) в конце 2021 г. составило 29 единиц [29]. У «Группы Черкизово» (<https://cherkizovo.com>), представляющей собой вертикально-интегрированный холдинг, в составе имеются птицеводческие предприятия, современные свинокомплексы, мясоперерабатывающие и комбикормовые заводы, а также 300 тысяч га сельскохозяйственных земель. Общее количество дочерних и зависимых обществ компании «Группа Черкизово» с долей в уставном капитале равной или больше 20 %, а также прямо или косвенно контролируемых юридических лиц (доля владения в каждом звене по всей цепочке больше 50 %) в конце 2021 г. составило 24 единицы [29]. Что касается филиальной сети, то максимальное количество филиалов у компаний «Кока-Кола ЭйчБиСи Евразия» (67 филиалов) и «PepsiCo Россия» (34 филиала).

Крупнейшими компаниями розничной торговли продовольственными товарами РФ (по основному коду ОКВЭД – Торговля розничная преимущественно пищевыми продуктами, включая напитки, и табачными изделиями в неспециализированных магазинах) из

Таблица 2. Крупнейшие компании в розничной торговле продовольственными товарами РФ из рейтинга RAEX-600 2021 г.

Table 2. The largest companies in the retail trade of food products of the Russian Federation from the RAEX-600 rating in 2021

Место в рейтинге RAEX-600	Наименование	Объем реализации в 2020 г., млн долл. США	Темпы роста выручки за 2020 г., % к 2019 г.
6	X5 Retail Group	27351,0	14,1
8	«Магнит», розничная сеть	21484,7	13,5
31	«Лента», сеть гипермаркетов	6160,7	6,7
50	«ДИКСИ Юг»	4208,3	8,7
69	«Метро Кэш Энд Керри»	3097,5	7,7

рейтинга RAEX-600 2021 г. (https://raex-rr.com/pro/largest/including_industry/retail/2021) в 2020 г. стали компании X5 Retail Group, «Магнит» (розничная сеть), «Лента» (сеть гипермаркетов), «ДИКСИ Юг», «Метро Кэш Энд Керри» (табл. 2).

Участники российских продовольственных производственно-сбытовых цепочек будут стремиться повышать конкурентоспособность своей продукции, внедрять новые технологии, диверсифицировать цепочки поставок, переходить на российские семена и породы животных, средства защиты растений, оптимизировать затраты за счет внедрения цифровых технологий, развивать торговлю с использованием маркетплейсов, а также наращивать экспортные поставки. Актуальной проблемой будет усиление слияний и поглощений как с участием иностранного капитала в капитале российских компаний, так и с возрастанием инвестиционной активности российских компаний за рубежом. Это приведет к большей формализации производственно-сбытовых цепочек и усилению роли их контролирующих звеньев, что потребует усиления государственного регулирования в целях недопущения монополизации и предотвращения угроз продовольственной безопасности.

Выводы

Проблема продовольственной безопасности остается одной из глобальных проблем современности, получившей обострение в связи с кризисом, вызванным пандемией COVID-19. В этой связи актуализируются задачи как антикризисного управления продовольственной безопасностью, так и долговременного устойчивого развития продовольственных систем.

Эффективными являются продовольственные системы, которые обеспечивают продовольственную

безопасность и питание для всех людей на устойчивой основе. Производственно-сбытовые цепочки играют важную роль в обеспечении глобальной продовольственной безопасности.

Влияние производственно-сбытовых цепочек на продовольственную безопасность является неоднозначным. С одной стороны, производственно-сбытовые цепочки объединяют разрозненные звенья в единую систему и позволяют обеспечить быстрое доведение продовольствия до конечного потребителя. С другой стороны, происходит «завоевание» продовольственных систем производственно-сбытовыми цепочками. В начале цепочек находится большое количество поставщиков сельскохозяйственной продукции, в конце – огромное количество людей, потребляющих пищу, а в середине – небольшое количество фирм, контролирующих перемещение продуктов питания от производителей к потребителям. Происходит усиление власти крупных корпораций в производственно-сбытовых цепочках. При рассмотрении вопросов регулирования следует учитывать не только экономическое влияние, но и социальную и экологическую ответственность доминирующих субъектов, а также то, в достаточной ли мере они учитываются существующими регулирующими структурами [30].

Темпы концентрации капитала в различных звеньях цепочек характеризуются неравномерностью. Если в конце XX века усиление концентрации касалось доминирующего положения переработчиков продуктов питания, то в XXI веке актуализировался вопрос концентрации на рынках розничной торговли, в том числе с участием цифровых компаний.

Продовольственные производственно-сбытовые цепочки в последние десятилетия подверглись значительным изменениям, основными из которых являются: изменение состава участников в связи с усилением противоречий между странами и чрезвычайными событиями; монополизация перерабатывающих, логистических и торговых звеньев; вход компаний из других отраслей; усиление неравномерности распределения доходов внутри участников и пр.

Управляющие звенья цепочек обладают горизонтальной и вертикальной рыночной властью; владеют глобальными системами переработки хранения и доставки продовольствия; интенсивно растут за счет слияний и поглощений; используют различные модели доступа к сельскохозяйственным землям (прямое владение и владение землей через финансовые дочерние компании); имеют возможность лоббировать свои интересы; устанавливают контроль над ресурсами, ранее принадлежавшими местным сообществам; способствуют занижению закупочных и завышению конечных цен; ограничивают свободу предприятий малого и среднего бизнеса

в части принятия решений по использованию производственных ресурсов, установления цен и выбора рынков сбыта и пр.

Изменения, происходящие в производственно-сбытовых цепочках, требуют внимания со стороны национальных органов власти для сохранения контролирующих функций в продовольственной системе и системе обеспечения продовольственной безопасности страны. Основные направления совершенствования продовольственных производственно-сбытовых цепочек в Российской Федерации:

- расширение использования принципов устойчивого развития в практике деятельности участников, их социальной и экологической ответственности;
- усиление государственного контроля над слияниями и поглощениями в отраслях, предприятия которых входят в состав продовольственных производственно-сбытовых цепочек, особенно при слияниях и поглощениях с участием иностранного капитала;
- формирование продовольственных производственно-сбытовых цепочек с российскими управляющими звеньями;
- удлинение российских продовольственных производственно-сбытовых цепочек за счет увеличения экспорта готовой продовольственной продукции;
- формирование инклюзивных режимов для развития участников в проблемных с точки зрения обеспечения продовольственной безопасности территориях [31, 32];
- ограничение практик компаний, занимающих доминирующее положение на рынке, по введению собственных стандартов поставок, ущемляющих права поставщиков;

– внедрение производственных, логистических и сбытовых решений, основанных на цифровизации, сетевых рыночных моделей, кастомизации продуктов и услуг с одновременным усилением мер против угроз информационной безопасности, в том числе Supply chain attack;

– расширение использования при производстве продовольствия биотехнологий и технологий с уменьшенным углеродным следом, а также повышение эффективности использования ресурсов;

– государственная поддержка участников, относящихся к предприятиям малого и среднего бизнеса, посредством повышения доступности финансовых ресурсов и роста объемов инвестиций в инфраструктуру, логистику и формирование каналов сбыта.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

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 interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Rome: FAO; 2021. 240 p. <https://doi.org/10.4060/cb4474en>
2. Food security and nutrition: building a global narrative towards 2030. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome: HLPE; 2020. 112 p.
3. Global Food Security Index [Internet]. [cited 2021 Dec 15]. Available from: <https://impact.economist.com/sustainability/project/food-security-index>
4. Nicholson CF, Stephens EC, Jones AD, Kopainsky B, Parsons D, Garrett J. Food security outcomes in agricultural systems models: Current status and recommended improvements. *Agricultural Systems*. 2021;188. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.103028>
5. Allee A, Lynd LR, Vaze V. Cross-national analysis of food security drivers: comparing results based on the Food Insecurity Experience Scale and Global Food Security Index. *Food Security*. 2021;13(5):1245–1261. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01156-w>
6. Cooperab M, Müller B, Cafiero C, Laso Bayas JC, Crespo Cuaresma J, Kharas H. Monitoring and projecting global hunger: Are we on track? *Global Food Security*. 2021;30. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100568>
7. Poudel D, Gopinath M. Exploring the disparity in global food security indicators. *Global Food Security*. 2021;29. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100549>
8. Gumerov RR. Food Security: New approaches to content analysis and evaluation. *Studies on Russian Economic Development*. 2020;182(5):133–141. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S107570072005007X>

9. Benea C, Bakkerb D, Chavarroa MJ, Evenb B, Melo J, Sonneveld A. Global assessment of the impacts of COVID-19 on food security. *Global Food Security*. 2021;31. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100575>
10. Coleman-Jensen A, Rabbitt MP, Gregory CA, Singh A. Household Food Security in the United States in 2020. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service; 2021. 55 p.
11. Swinnen J. Competition, market power, surplus creation and rent distribution in agri-food value chains. Background paper for The State of Agricultural Commodity Markets (SOCO) 2020. Rome: FAO, 2020. 72 p. <https://doi.org/10.4060/cb0893en>
12. van Berkum S, Ruben R. Exploring a food system index for understanding food system transformation processes. *Food Security*. 2021;13(5):1179–1191. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01192-6>
13. Farmery AK, Brewer TD, Farrell P, Kottage H, Reeve E, Thow AM, *et al.* Conceptualising value chain research to integrate multiple food system elements. *Global Food Security*. 2021;28. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100500>
14. Food outlook – biannual report on global food markets. Rome: FAO. 112 p. <https://doi.org/10.4060/cb7491en>
15. Nutz N, Sievers M. A rough guide to value chain development. How to create employment and improve working conditions in targeted sectors. Geneva: International Labour Organization; 2017. 29 p. (In Russ.).
- Нутц Н., Сиверс М. Общее руководство по развитию производственно-сбытовых цепочек. Как создавать рабочие места и улучшать условия труда в целевых секторах. Женева: Международная организация труда, 2017. 29 с.
16. Guidelines for measuring global production. New York, Geneva: UN; 2016. 195 p. (In Russ.).
- Руководство по измерению глобального производства. Нью-Йорк, Женева: ООН, 2016. 195 с.
17. Kondratyev VB, Popov VV, Kedrova GV. Global value chains transformation: Three industries' cases. *World Economy and International Relations*. 2020;64(3):68–79. (In Russ.). <https://doi.org/10.20542/0131-2227-2020-64-3-68-79>
18. Hamilton S, Sunding D. Joint oligopsony-oligopoly power in food processing industries: Application to the us broiler industry. *American Journal of Agricultural Economics*. 2021;103(4):1398–1413. <https://doi.org/10.1111/ajae.12115>
19. McKendree MGS, Saitone TL, Schaefer KA. Oligopsonistic input substitution in a thin market. *American Journal of Agricultural Economics*. 2021;103(4):1414–1432. <https://doi.org/10.1111/ajae.12159>
20. Howard PH. Concentration and power in the food system. Who controls what we eat? Bloomsbury Publishing; 2016, 216 p.
21. Kelloway C, Miller S. Food and power: Addressing monopolization in America's food system [Internet]. [cited 2021 Dec 12]. Available from: https://static1.squarespace.com/static/5e449c8c3ef68d752f3e70dc/t/614a2ebef7d510debf53f3/1632251583273/200921_MonopolyFoodReport_endnote_v3.pdf
22. Osokina NV, Kazantseva EG. Strengthening of the economic power of the dominating entities in the food industry. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(2):190–200. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-190-200>
23. Kazantseva EG. The functioning of the global companies in the food markets. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2014;35(4):146–152. (In Russ.).
- Казанцева Е. Г. Функционирование глобальных компаний на продовольственных рынках // Техника и технология пищевых производств. 2014. Т. 35. № 4. С. 146–152.
24. The new oligopoly of container shipping [Internet]. [cited 2021 Dec 07]. Available from: https://www.joc.com/maritime-news/container-lines/new-oligopoly-container-shipping_20190704.html
25. Addressing concentration in the meat-processing industry to lower food prices for American families [Internet]. [cited 2021 Nov 12]. Available from: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/blog/2021/09/08/addressing-concentration-in-the-meat-processing-industry-to-lower-food-prices-for-american-families>
26. Remarks by President Biden during a virtual meeting to discuss boosting competition and reducing prices in the meat-processing industry [Internet]. [cited 2022 Jun 10]. Available from: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/speeches-remarks/2022/01/03/remarks-by-president-biden-during-a-virtual-meeting-to-discuss-boosting-competition-and-reducing-prices-in-the-meat-processing-industry>
27. Global value chains in agriculture and food: A synthesis of OECD analysis. Paris: OECD; 2020. 25 p. <https://doi.org/10.1787/6e3993fa-en>

28. RAEX-600-2021: Issue 2021 [Internet]. [cited 2021 Dec 20]. Available from: https://raex-rr.com/pro/largest/including_industry/energy_sales/2021/analytics/RAEX-600-2021

RAEX-600-2021: выпуск 2021 года. URL: https://raex-rr.com/pro/largest/including_industry/energy_sales/2021/analytics/RAEX-600-2021 (дата обращения 20.12.2021).

29. Official site of AO Interfax. SPARK [Internet]. [cited 2021 Dec 30]. Available from: <https://spark-interfax.ru> (дата обращения 30.12.2021).

Официальный сайт АО «Интерфакс». СПАРК. URL: <https://spark-interfax.ru> (дата обращения 30.12.2021).

30. Merkle M, Moran D, Warren F, Alexander P. How does market power affect the resilience of food supply? Global Food Security. 2021;30. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2021.100556>

31. Reardon T, Liverpool-Tasie LS, Minten B. Quiet Revolution by SMEs in the midstream of value chains in developing regions: wholesale markets, wholesalers, logistics, and processing. Food Security. 2021;13(6):1577–1594. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01224-1>

32. van Berkum S. How trade can drive inclusive and sustainable food system outcomes in food deficit low-income countries. Food Security. 2021;13(6):1541–1554. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01218-z>

Разработка технологии выделения и исследования иммуотропного действия бурсальных пептидов на мышцах с экспериментальным иммунодефицитом



Н. А. Кольберг¹, Н. В. Тихонова¹, С. А. Тихонов^{1,*},
С. А. Леонтьева¹, И. Ю. Сергеева²

¹ Уральский государственный экономический университет^{ROR}, Екатеринбург, Россия

² Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 14.02.2022

Принята после рецензирования: 28.03.2022

Принята в печать: 17.05.2022

*С. А. Тихонов: tihonov75@bk.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

Н. А. Кольберг: <https://orcid.org/0000-0002-6548-5104>

Н. В. Тихонова: <https://orcid.org/0000-0001-5841-1791>

С. А. Леонтьева: <https://orcid.org/0000-0003-0832-4547>

И. Ю. Сергеева: <https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

© Н. А. Кольберг, Н. В. Тихонова, С. А. Тихонов,
С. А. Леонтьева, И. Ю. Сергеева, 2022



Аннотация.

Пептиды обладают высокой биологической активностью. Технологические режимы гидролиза белка определяют активность биопродуктов. Целью исследования является выделение пептидов из фабрициевой сумки и оценка их иммуотропного действия на мышцах различных линий с экспериментальным иммунодефицитом путем изучения морфофункционального состояния органов иммунопериферии (тимус и селезенка).

В качестве объектов исследования выбраны гидролизат фабрициевой сумки, пептиды, тимус и селезенка мышей-самцов. Аминный азот определяли по ГОСТ Р 55479-2013, молекулярную массу пептидов – гелеэлектрофорезом. Морфометрию тимуса и селезенки рассчитывали с помощью программы ВидеоТест-Морфология 5.0.

Определены рациональные режимы ферментативного гидролиза белка фабрициевой сумки папаином с последующим выделением пептидов методом ультрафильтрации. По содержанию аминного азота в гидролизате фабрициевой сумки определена рациональная концентрация фермента папаина – 0,15 %. Молекулярная масса пептидов после ультрафильтрации гидролизата фабрициевой сумки через мембраны с проницаемостью до 43 кДа распределяется в разных значениях и зависит от концентрации папаина, времени гидролиза и температуры. Максимальное количество пептидов с молекулярной массой от 27 до 18 кДа выделено при температуре гидролиза 36 °С (85 %), концентрации папаина 0,15 % (73 %), гидромодуле 1:3 (78 %) и времени гидролиза сырья 6 ч (82 %). Рациональные технологические параметры гидролиза белка фабрициевой сумки следующие: концентрация папаина 0,15 %, температура 36 °С, гидромодуль 1:3, время гидролиза 6 ч. Введение бурсальных пептидов иммунодефицитным мышам препятствует снижению общей клеточности в тимусе и уменьшению содержания CD3⁺ клеток, активизирует созревание Т-лимфоцитов и пролиферацию В-лимфоцитов, а также снижает иммуноцитотоксические эффекты от циклофосфида.

Практическая значимость проведенного исследования заключается в перспективности использования разработанной технологии получения новых пептидов с выраженным иммуотропным действием и рассмотрении возможности их включения в рецептуру пищевой продукции специализированного назначения.

Ключевые слова. Пептиды, фабрициева сумка, гидролиз, тимус, селезенка, иммунодефицит, лабораторные животные

Для цитирования: Разработка технологии выделения и исследования иммуотропного действия бурсальных пептидов на мышцах с экспериментальным иммунодефицитом / Н. А. Кольберг [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 296–309. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2364>

Immunotropic Effect of Bursal Peptides on Mice with Experimental Immunodeficiency

Natalia A. Kolberg¹, Natalia V. Tikhonova¹, Sergei L. Tikhonov^{1,*},
Svetlana A. Leontieva¹, Irina Yu. Sergeeva²

¹ Ural State University of Economics^{ROR}, Yekaterinburg, Russia

² Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: 14.02.2022

Revised: 28.03.2022

Accepted: 17.05.2022

*Sergei L. Tikhonov: tikhonov75@bk.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

Natalia A. Kolberg: <https://orcid.org/0000-0002-6548-5104>

Natalia V. Tikhonova: <https://orcid.org/0000-0001-5841-1791>

Svetlana A. Leontieva: <https://orcid.org/0000-0003-0832-4547>

Irina Yu. Sergeeva: <https://orcid.org/0000-0002-1686-0131>

© N.A. Kolberg, N.V. Tikhonova, S.L. Tikhonov,
S.A. Leontieva, I.Yu. Sergeeva, 2022



Abstract.

Peptides are biologically active. This quality depends on the technological modes of protein hydrolysis. The research objective was to isolate peptides from the bursa fabricii and evaluate their immunotropic effect on mice of various lines with experimental immunodeficiency and the morphofunctional state of their immunopoiesis organs, i.e., thymus and spleen.

The research featured bursa fabricii hydrolysate and peptides, as well as thymus and spleen of male mice. Amine nitrogen was determined according to State Standard R 55479-2013; molecular weight of peptides was determined by gel electrophoresis. The morphometry of the thymus and spleen was calculated using VideoTesT-Morphology 5.0.

The research revealed the rational modes of enzymatic hydrolysis of the bursa fabricii protein by papain with subsequent isolation of peptides by ultrafiltration. According to the content of amine nitrogen in the bursa fabricii hydrolysate, the rational concentration of the papain enzyme was 0.15%. The molecular weight of peptides after ultrafiltration of bursa fabricii hydrolysate through membranes with a 43 kDa permeability had different values and depended on the concentration of papain, hydrolysis time, and temperature. The maximal amount of 27–18 kDa peptides was isolated at 36°C (85%) when the concentration of papain was 0.15% (73%), the hydromodule was 1:3 (78%), and the hydrolysis time of the raw material was 6 h (82%). The rational technological parameters of the hydrolysis of the bursa fabricii protein were as follows: concentration of papain – 0.15%, temperature – 36°C, hydromodule – 1:3, and hydrolysis time – 6 h. In immunodeficient mice, bursal peptides prevented a decrease in total cellularity in the thymus, sustained the content of CD3⁺ cells, activated the maturation of T-lymphocytes and proliferation of B-lymphocytes, and reduced the immunocytotoxic effects of cyclophosphamide.

The article offers a new technology for obtaining peptides with a pronounced immunotropic effect that can be used in functional food production.

Keywords. Peptides, fabricius bag, hydrolysis, thymus, spleen, immunodeficiency, laboratory animals

For citation: Kolberg NA, Tikhonova NV, Tikhonov SL, Leontieva SA, Sergeeva IYu. Immunotropic Effect of Bursal Peptides on Mice with Experimental Immunodeficiency. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):296–309. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2364>

Введение

При моделировании рецептуры пищевой продукции специализированного назначения в последнее время отдается предпочтение использованию коротких биологически активных пептидов [1]. Выделение пептидов из белка проводится методами пищевой биотехнологии, а именно ферментного гидролиза белка и мембранной ультрафильтрации. Из одного и того же сырья путем

регулирования биотехнологических параметров можно получить отличающиеся по последовательности аминокислот пептиды – действующие начала с различной функциональной направленностью. Следовательно, целесообразно экспериментально подбирать технологические режимы гидролиза белка (рН субстрата, температура и время гидролиза) с учетом концентрации протеолитического фермента и последующего выделения биопептидов [2].

Особенности свойств биоактивных пептидов как функционального источника питания обусловили интерес к выделению пептидных фракций или отдельных пептидов из ферментативных гидролизатов растительных и животных белков [3]. В литературе основное внимание уделяется получению пептидов путем ферментативного гидролиза белков глицинина, гороха, фасоли, амаранта и семян оливы [4–8].

R. A. M. Soares и др. разработана технология получения пептидов из белка амаранта путем гидролиза пепсином и трипсином с последующей фильтрацией гидролизата через мембраны с проницаемостью 3 кДа и очисткой с помощью колоночной хроматографии [7].

В результате гидролиза белка семян оливы алкалазой с последующей ультрафильтрацией гидролизата I. M. Prados и др. выделены тетрапептид, пентапептид и гексапептид [8].

Для увеличения выхода пептидов при ферментативном гидролизе белка используют обработку сырья ультразвуком и высоким гидростатическим давлением (ННР), а также внесением в субстрат молочнокислых бактерий. Молочнокислые бактерии могут как уменьшать количество нежелательных горьких пептидов, продуцируемых ферментативно гидролизованным белком, так и усиливать биоактивные эффекты пептидов [9]. Ферментативная экстракция при давлении от 50 до 200 МПа улучшает скорость извлечения биологически активных соединений из белка [10]. Это связано с тем, что давление может изменить структуру белка, заставляя его разворачиваться и обнажать сайт связывания, тем самым увеличивая скорость столкновения фермента с субстратом [11]. Это усиливает ферментативную активность, увеличивая скорость гидролиза белка и способствуя высвобождению активных пептидов [12]. Процесс гидролиза белка при повышении гидростатического давления усиливается [13].

В исследовании G.-W. Chen и M.-H. Yang выбраны наиболее эффективные протеазы из восьми широко используемых (протеаза N, протеаза A, пептидаза R, Умамизим G, протин SD-AY10 и NY100, алкалаза и нейтраза) для высвобождения пептидов с высокой ингибирующей активностью 3-гидрокси-3-метил-глутарил-коэнзим A редуктазы (HMGR) из *Streptomyces platensis* [14]. Гидролиз проводили при температуре 50 °C в течение 6 ч. Установлено, что ингибирующая способность группы пептидов, выделенных пептидазой R, была выше в 1,6 раза по сравнению с другими используемыми ферментами.

T. L. Q. Anh и др. разработана технология гидролиза белка сои [15]. Экспериментальным путем из трех ферментов (флавоурзим, протамекс и алкалаза) при одинаковом содержании выбран наиболее эффективный – флавоурзим. Установлено, что при сочетании термической обработки и ферментативного гидролиза выход пептидов достигал $61,44 \pm 0,22$ %.

Это выше, чем при использовании только ферментативного гидролиза – $52,57 \pm 0,27$ %. Гидролизат сои с использованием флавоурзима достиг среднего молекулярного размера 3,19 кДа при следующих оптимальных условиях: концентрация фермента $16,09 \text{ Ед} \cdot \text{г}^{-1}$, pH 7,02, температура 45,8 °C, соотношение бобы:вода 1:3.

D. M. Liu и др. утверждают, что при разработке способов получения белковых гидролизатов экономически эффективно использовать иммобилизованный фермент для гидролиза белка, поскольку иммобилизованный биокатализатор может быть извлечен в конце цикла гидролиза и повторно использован [16]. Кроме того, использование иммобилизованных ферментов позволяет осуществлять точный контроль степени реакции, исключая необходимость постгидролизной тепловой обработки для ферментативной инактивации и возможную модификацию структуры белка или пептида, вызванную этой обработкой.

В исследовании L. S. Kudryashov и др. разработана технология микрокапсулирования фермента пепсина в псевдокипящем слое 10 % водного раствора мальтодекстрина [17]. Соотношение твердого вещества к жидкому выдерживали в пределах $10:1 \pm 11,5:1$. Ожижающим агентом, в том числе в режиме сушки, был воздух с комнатной температурой, прокачиваемый через аппарат. Опытным путем была получена линейная зависимость ($P \leq 0,05$) средней толщины нанесения раствора мальтодекстрина на гранулу пепсина в зависимости от продолжительности нанесения. Определено, что через 2 мин обработки раствором мальтодекстрина на грануле пепсина образуется более $\frac{1}{4}$ толщины защитного поверхностного слоя от его среднего значения в конце процесса обработки, а после 6 мин – около 70 %.

S. L. Tikhonov и др. предложена технология получения двухкомпонентного ферментного препарата путем последовательного микрокапсулирования пепсина и папаина в псевдокипящем слое из мальтодекстрина [18]. Определены рациональные параметры иммобилизации ферментов для толщины защитного покрытия 6 мкм: скорость воздушного потока с 10 %-м раствором мальтодекстрина в узком сечении конуса рабочей камеры составляет 0,17 м/с, время – 6 мин. Показано, что создание защитного покрытия из мальтодекстрина с толщиной 4 и 6 мкм позволяет сохранить протеолитическую активность ферментов более 6 месяцев хранения при температуре 0–2 °C. Экспериментальным путем доказана эффективность применения микрокапсулированного двухкомпонентного ферментного препарата в технологии тендеризации ветчинных изделий. Под действием микрокапсулированного двухкомпонентного ферментного препарата, хранившегося более 6 месяцев, pH мяса после 36 ч ферментации увеличивается

на 7,3 %, водосвязывающая способность – на 8,5 %, влагоудерживающая способность – на 5,4 %, азот саркоплазматических белков к общему азоту – на 10,0 %, азот миофибриллярных белков к общему азоту – на 5,6 %, небелковый азот к общему азоту – на 4,8 %, полипептидный азот к общему азоту – на 3,3 %, напряжение среза ветчинных изделий уменьшается на 31,4 %. Также изменяется микроструктура: миофибриллы частично разрушены, отмечается выход ядер клеток в межклеточное пространство. Достоверных изменений показателей гидролиза белка под действием немикрокапсулированных ферментов папаина и пепсина, хранившихся более 6 месяцев, не отмечено.

Пептиды, выделенные из *Pleurotus ostreatus* (POPE) с помощью энзиматического гидролиза пепсином, способны ингибировать окисление липидов и восстанавливающую способность металлов. В эксперименте на лабораторных мышах показано, что введение внутрь POPE-III повышает активность супероксиддисмутазы в печени с $187,49 \pm 19,81$ до $233,35 \pm 34,23$ Ед/мг белка, глутатионпероксидазы (GSH-Px) с $84,01 \pm 14,54$ до $115,9 \pm 16,57$ Ед/мг белка ($P < 0,05$). Пептиды предотвращали вызванные введением CCl_4 окислительные гистологические изменения печени [19].

Пептид ACE-I, выделенный методом ультрафильтрации из ферментативного гидролизата мышечного белка *Oligodon woodmasoni*, снижает жизнеспособность клеток MCF-7 и обладает антиоксидантными свойствами [20]. Пептиды, полученные из морских источников, обладают противовоспалительным действием, что позволяет их использовать для лечения различных заболеваний, в частности желудочно-кишечного тракта, ревматоидного артрита и т. д. [21]. Пептиды, выделенные из белков животного происхождения, ингибируют активность ангиотензинпревращающего фермента, что позволяет использовать их для профилактики и лечения гипертонии [22, 23].

Одним из перспективных источников биологически активных пептидов является козье молоко. Гидролиз белков козьего молока осуществляют пепсином [24].

В исследовании R. J. S. de Castro и H. N. Sato предложена технология выделения пептидов из ферментативных гидролизатов изолятов соевого белка (SPI), сывороточного белка крупного рогатого скота (BWP) и яичного белка (EWP) с использованием Flavourzyme® 500L, индивидуально или в бинарных/тройных смесях [25]. Полученные пептиды характеризовались синергическим антимикробным эффектом в отношении *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 и задерживали рост бактерий на 19, 15 и ≥ 48 % соответственно.

L. Shafiei Kaleybar и др. с помощью программного обеспечения Hex 8.0.0. предсказаны противоопухолевые свойства бактериального

пептида SMANF2 на клеточных линиях A540 и HT-29 [26]. Результаты предсказали хорошие стереохимические, физико-химические и функциональные характеристики пептида SMANF2. Среди целевых белков клеточной линии A540 пептид SMANF2 показал самый высокий показатель стыковки – 539,12 кДж/моль с Bcl-2. С другой стороны, пептид показал самое высокое отрицательное значение E – 422,70 кДж/моль с Bcl-xL среди целевой линии клеток HT-29. Полученные данные свидетельствуют о противоопухолевых свойствах пептида SMANF2.

В исследовании K. Raja и др. выделены пептиды из сырой кожи морского сома (*Teuthis dussumieri*) и исследована их противоопухолевая эффективность на клеточной линии рака толстой кишки человека [27]. Фрагментация ДНК и результаты проточной цитометрии показали, что пептиды кожи морского сома индуцируют конденсацию хроматина и апоптотическую гибель клеток, а также нарушают клеточный цикл в фазе G_0/G_1 на линии клеток рака толстой кишки.

Широко известен тканевый иммуномодулятор глюкозаминилмурамилдипептид на основе пептидов. Он активизирует клетки иммунной системы *in vitro* и усиливает иммунный ответ на различные антигены, в том числе микробные. Глюкозаминилмурамилдипептид после проведения доклинических и клинических испытаний был зарегистрирован под названием Ликопид® [28].

Тканевый препарат на основе катионного изо пептида ϵ -поли-L-лизин (ϵ -PL) производится из незаменимой аминокислоты L-лизина и проявляет антимикробную активность против широкого спектра бактерий, дрожжей и грибов, нацеливаясь на клеточную мембрану. Является термостабильным и активным в различных пищевых матрицах [20].

Одним из перспективных источников биологически активных пептидов считается сумка Фабрициуса (фабрициева сумка или бурса). Это центральный орган иммунной системы у птиц, которая расположена на дорсальной поверхности клоаки, являясь ее дивертикулом. Этот лимфоэпителиальный орган состоит из долек с корковым и мозговым слоями. Среди эпителиальных клеток и ретикулоцитов бursы располагаются большие и малые лимфоциты в виде плотных слоев. В дальнейшем из больших и малых лимфоцитов формируются плазматические клетки, синтезирующие антитела. Лимфоциты бursы, являющиеся предшественниками плазмоцитов, получили название В-клеток. У млекопитающих созревание В-лимфоцитов происходит в костном мозге. Удаление бursы у птиц приводит к угнетению биосинтеза антител. Экстракты бурс кур содержат биологические активные вещества, обладающие иммуностимулирующей активностью. Выделено 20 фракций из тимуса и ткани бursы кур. Результаты исследования показали, что тимус и бурса имеют

аналогичный состав белковых веществ [29]. Из бурсы получен иммунологически активный препарат пептидной природы. Установлено, что в системе *in vivo* и *in vitro* биологическая активность препарата направлена на усиление иммунологической реактивности [30].

Пептид BP5, выделенный из бурсы, эффективно подавляет маркеры окислительного стресса, включая оксид азота (NO), активные формы кислорода (АФК), перекисное окисление липидов и окисление белков, снижает экспрессию и активность индуцибельной синтазы оксида азота (iNOS) и способствует защитному антиоксидантному состоянию, активируя экспрессию и активность некоторых ключевых антиоксидантных и окислительно-восстановительных ферментов, включая глутатионпероксидазу (GPx), глутатионредуктазу (GR), супероксиддисмутаза (SOD) и каталазу (CAT). Этот подавляющий эффект на окислительный стресс сопровождается пониженной регулируемой экспрессией и активностью ядерного фактора каппа В (NF-κB) [31].

Пептид BP5, выделенный из фабрициевой сумки, стимулирует экспрессию белка p53 в клетках рака толстой кишки HCT116. Он обладает сильным ингибирующим действием на рост клеток и индуцирует апоптоз в клетках HCT116. BP5 останавливает клеточный цикл в фазе G1, увеличивая экспрессию p53 и p21 и уменьшая экспрессию комплекса циклина E1-CDK2. Лечение онкологических заболеваний с помощью пептида BP5 активирует стресс-опосредованный апоптотический путь эндоплазматического ретикулума (ER). Об этом свидетельствует усиление экспрессии сенсоров развернутого белкового ответа (UPR) (IRE1a, ATF6, PERK) и нижестоящих сигнальных молекул (XBP-1s, eIF2a, ATF4 и CHOP), а также изменение фенотипических изменений, индуцированных BP5 в нокдаунных клетках IRE1, ATF6 и PERK. Кроме того, вызванный BP5 стресс ER сопровождался накоплением цитозольного свободного Ca^{2+} и внутриклеточного АФК. Применение BP5 приводит к увеличению экспрессии Bax, снижению экспрессии Bcl-2 и уменьшению δm . Это вызывает высвобождение цитохрома из митохондрий в цитоплазму и усиливает активность каспаз-9 и 3. Следовательно, BP5 обладает противоопухолевой способностью останавливать клеточный цикл в фазе G1 и вызывать ER-стресс/митохондриально-опосредованный каспазозависимый апоптоз в клетках HCT116 [32].

Н. Ahangari и др. изучено применение различных протеаз для получения биоактивных пептидов из универсальных источников белка [33]. Всестороннее знакомство с различными типами протеаз, методами их производства и очистки может помочь исследователям определить новые протеазы с улучшенными свойствами, учитывая ежегодный рост рынка.

В патенте KR №1020080034712 описан способ получения ферментированной соевой композиции для получения пептида, имеющего высокую ACE-ингибирующую активность, путем ферментации соевых бобов при высокой температуре в течение короткого срока. Данная композиция содержит в своем составе пептиды низкомолекулярной массы, а также обладает антиокислительными, противогрибковыми и противоопухолевыми свойствами [34, 35].

Целью исследования является выделение пептидов из фабрициевой сумки и оценка их иммунотропного действия на мышах различных линий с экспериментальным иммунодефицитом путем изучения морфофункционального состояния органов иммуноперитонеума (тимус и селезенка).

Объекты и методы исследования

Оценку степени гидролиза белка фабрициевой сумки проводили по содержанию аминного азота (ГОСТ Р 55479-2013). Для выделения пептидов из ферментативного гидролизата фабрициевой сумки цыплят-бройлеров использовали мембраны с проницаемостью до 43 кДа. Это связано с исследованием S. M. Martínez и др., в котором установлено, что выраженным иммуномодулирующим свойством обладают короткие пептиды с молекулярной массой менее 43 кДа [36].

Молекулярно-массовое распределение белков и пептидов оценивали с помощью электрофореза в полиакриламидом геле в присутствии додецилсульфата натрия по методу Лэммли. Для разделения белка использовали денатурирующий полиакриламидный гель (12 % разделяющий и 4 % фокусирующий) с 0,1 % SDS-Na. Гельэлектрофорез проводили на однократном электродном буфере с добавлением 0,1 % SDS-Na при 15 мА. Гель окрашивали 0,2 % Кумасси R250 (приготовленного на ледяной уксусной кислоте) при повышенной температуре в течение 7–10 мин. Затем трижды отмывали дистиллированной водой. Просмотр и фотографирование гелей проводили на УФ-транслюминаторе при длине волны излучения 312 нм. Сохранение и обработку данных осуществляли с помощью геледокументирующей системы Vitran-Photo.

Оценку иммунотропных свойств бурсальных пептидов проводили с помощью модели экспериментального иммунодефицита.

Работа выполнена на мышах-самцах линий C3H, C57BL/6, C57BL/10 и SJL 3-х месячного возраста, содержащихся в стандартных условиях вивария. Все манипуляции с животными были осуществлены в соответствии с Директивой Совета ЕС 2010/63/EU и одобрены этическим комитетом ИИФ УрО РАН. Экспериментальный иммунодефицит моделировался путем введения однократно и внутрибрюшинно циклофосфида (Эндоксан®, Бакстер Онкология ГмбХ, Германия) в дозе 200 мг/кг

массы тела животного в виде раствора со стерильным хлоридом натрия 0,9 % в концентрации 20 мг/мл. Контрольной группе мышей этих же линий вводился физиологический раствор хлорида натрия 0,9 % в аналогичном объеме. Для расчета дозы препарата проводился замер массы животных до воздействия.

Пептиды вводили на протяжении 7 дней после инъекции циклофосамида, разведенной в 0,1 мл 0,9 % раствора хлорида натрия, внутривенно в дозе 0,1 мг/20 г массы животного. Контрольная группа мышей получала физиологический раствор хлорида натрия 0,9 % в аналогичном объеме. Мыши выводились из эксперимента на 8 сутки после моделирования иммунодефицита под наркозом (за 15–20 мин до эвтаназии вводился 2 % Ксилазин (1 мл/кг) и Золетил-100 (0,3 мл/кг) внутримышечно).

Для гистологического исследований проводили забор тимуса и селезенки.

Образцы тимуса и селезенки фиксировали в 10 % забуференном формалине 24–48 ч. Гистологическую проводку материала осуществляли при помощи автоматического тканевого процессора Leica TP1020. Материал обезжизивали в спиртах возрастающей концентрации и подвергали действию ксилола с последующей пропиткой парафином. Заливку образцов органов в парафин проводили при помощи станции заливки Leica EG1160. Готовые парафиновые блоки были использованы на следующих этапах работы для гистологического исследования.

Парафиновые срезы тимуса и селезенки толщиной 3–5 мкм окрашивали гематоксилином и эозином. Иммуногистохимическое окрашивание применялось для идентификации CD45⁺ (пан-лейкоцитарный маркер), CD20 (маркер В-лимфоцитов) и CD3 (маркер Т-лимфоцитов) клеток в тимусе и селезенке экспериментальных животных. В исследовании использовались антитела, приведенные в таблице 1.

При изготовлении срезов тканей для ИГХ-окрашивания использовали предметные стекла с адгезивной поверхностью Snowcoat X-tra (Leica Biosystems, США). Срезы подсушивали и подвергали депарафинизации, регидратации и промывке в PBS-Tween 20 (фосфатно-солевой буфер, pH = 7,2–7,4).

Антигенные детерминанты после формалиновой фиксации оказываются недоступными для антител из-за образования дополнительных сшивок между участками белков. Поэтому по рекомендации производителя перед ИГХ-окрашиванием необходимо проводить демаскировку антигенов. В данном исследовании, основываясь на рекомендациях производителя антител к CD3, применялась ферментативная (трипсиновая) демаскировка. Для этого использовали 0,05 % раствор трипсина (Sigma-Aldrich, Inc.) в дистиллированной воде с добавлением 1 % раствора хлорида кальция. Перед инкубацией с раствором трипсина срезы стекла со срезами нагревали до 37 °C в дистиллированной воде в термостате. Далее на срезы наносили раствор трипсина и помещали их во влажную камеру. Инкубацию с трипсином проводили при 37 °C в течение 15 мин, после чего срезы промывали в холодной дистиллированной воде с целью остановить ферментативную реакцию. Затем осуществляли промывку в PBS-Tween 20.

Дальнейшая процедура окрашивания одинакова для всех идентифицируемых антигенов. Идентификация антигенных детерминант осуществлялась непрямой пероксидазным методом окрашивания.

Срезы инкубировали с соответствующими первичными антителами при температуре 37 °C в течение 1 ч во влажной камере, после чего промывали дважды в PBS-Tween 20. Затем производили блокировку эндогенной пероксидазы с использованием коммерческого блокирующего раствора Peroxidase Block (Novocastra, Великобритания) и промывку в двух сменах PBS-Tween 20. Далее инкубировали срезы с соответствующими вторичными антителами при температуре 37 °C в течение 30 мин во влажной камере, после чего промывали дважды в PBS-Tween 20. Для визуализации антигенреактивных клеток использовали тест-систему Novolink Polymer Detection System (Novocastra, Великобритания). Антигенреактивные клетки контрастировали хромогенным субстратом (3,3-диаминобензидин в буферном растворе). DAB-позитивные клетки тимуса и селезенки идентифицировали по коричневому гранулярному окрашиванию цитоплазмы. Проводили

Таблица 1. Перечень антител для исследования

Table 1. Antibodies

Изучаемый антиген	Первичное антитело: клон, разведение, производитель	Вторичное антитело: клон, разведение, производитель
CD45	CD45 Polyclonal Antibody, 1:100, PA5-96061, Invitrogen, Thermo Fisher Scientific, США	Goat anti-Rabbit IgG (H+L) Secondary Antibody, Biotin, поликлональное, 1:1000, 65-6140, Thermo Fisher Scientific, США
CD20	CD20 Polyclonal Antibody, 1:300, PA5-16701, Invitrogen, Thermo Fisher Scientific, США	
CD3	Anti-CD3, T Cell antibody produced in rabbit, polyclonal, 1:200, C7930, Sigma-Aldrich, Merck, США	

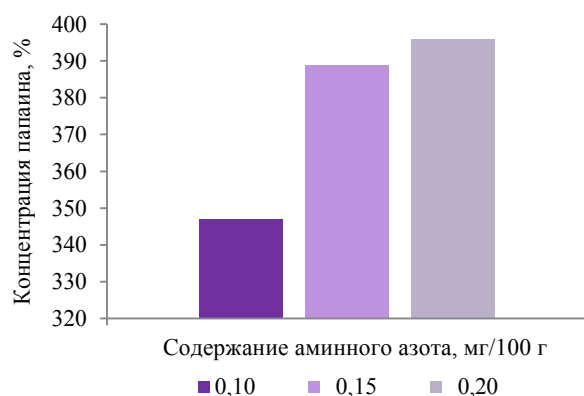


Рисунок 1. Содержание аминного азота в гидролизате фабрициевой сумки при разных концентрациях папаина

Figure 1. Amine nitrogen in the bursa fabricii hydrolysate at different concentrations of papain

постановку позитивного тканевого контроля и негативного контроля на тех же срезах исследуемой группы.

Анализ изображений проводили на микроскопе марки Leica DM2500 с видеокамерой Leica DFC420. Оценка исследуемых показателей проводилась с помощью пакета прикладных морфометрических программ ВидеоТесТ-Морфология 5.0. На гистологических препаратах определяли площадь мозгового и коркового вещества (тимус), соотношение красной и белой пульпы (селезенка), общую клеточность тимуса и селезенки с последующим пересчетом данных на 1 мм². Морфометрию зон фолликулов селезенки (площади реактивного центра, мантийной зоны, маргинальной (краевой) зоны) проводили по всей площади препарата, данные представлены в мкм². Оценку морфометрических показателей и подсчет количества CD45⁺, CD20⁺ и CD3⁺ клеток производили при увеличении объектива микроскопа 40× в 10 полях зрения. На основе полученных данных производили подсчет среднеарифметических значений, которые подвергали статистической обработке.

Анализ данных выполнен в пакете статистических программ STATISTICA 6.0 (StatSoft, Inc. 2001). Данные представлены в виде среднего арифметического $M \pm$ стандартная ошибка среднего m . Для проверки гипотезы об однородности двух независимых выборок использовали непараметрический критерий Манна-Уитни (Mann-Whitney Utest). При проверке статистических гипотез использовали 5 % уровень значимости.

Результаты и их обсуждение

Технология гидролиза белков фабрициевой сумки и выделения пептидов включала следующие этапы: промывка сырья проточной водой в течение

10 мин при температуре 16–18 °С; измельчение на лабораторной мельнице в течение 3 мин при частоте вращения ножей 2400 об/мин; гомогенизация при скорости вращения насадки 600 об/мин при температуре 4 °С в течение 60 мин; смешивание с дистиллированной водой в соотношении 1:1, 1:3 и 1:5; нагревание до температуры оптимума активности фермента Papain (КФ 3.4.22.2) (36 °С); внесение фермента, растворенного в фосфатно-буферном растворе с pH 6,0, гидролиз в течение 6 ч. Для получения гидролизата в качестве фермента был выбран папаин из-за его действия на белки фабрициевой сумки. В результате этого продуктами гидролиза являются пептиды и аминокислоты. Также учитывался оптимум активности фермента – pH 6,0, что соответствует pH сырья.

Эффективность гидролиза оценивали по содержанию аминного азота в гидролизате.

Для определения оптимальной дозировки папаина и продолжительности процесса гидролиза сырье обрабатывали ферментным препаратом в количестве 0,10, 0,15 и 0,20 % к массе. Контроль процесса осуществляли по накоплению в среде аминного азота, отбор проб проводили 1 раз в час. Содержание аминного азота в гидролизате фабрициевой сумки при разных концентрациях папаина приведено на рисунке 1.

Наилучшие результаты получены при концентрациях папаина, растворенного в фосфатно-буферном растворе, 0,15 и 0,20 % к основному сырью (фабрициева сумка). Содержание аминного азота в гидролизате фабрициевой сумки при концентрации папаина 0,15 % к основному сырью составляет 389 мг/100 г. Это выше на 18 % по сравнению с концентрацией папаина 0,10 % от массы сырья. При повышении концентрации папаина до 0,20 % отмечается тенденция к увеличению образования аминного азота – 396 мг/100 г.

Следовательно, целесообразно использовать для гидролиза фабрициевой сумки концентрацию папаина 0,15 %. Бурсальные пептиды (BP5 и BP11) с молекулярной массой 28–18 кДа обладают наибольшей биологической активностью, стимулируют выработку антител и предупреждают иммунодефицитное состояние, что установлено в исследованиях [31, 32].

В исследовании L. Xiao и др. доказано, что бурсальный пептид (BP11) с молекулярной массой 16–28 кДа регулирует дифференцировку В-клеток, в том числе увеличивает процент незрелых и зрелых В-клеток в БМ-клетках, совместно культивируемых с IL-7 [37]. BP11 оказывает иммуномодулирующее действие на антигенспецифические иммунные реакции у мышей BALB/c, иммунизированных вакциной с инактивированным вирусом влияния (AIV, подтип H9N2), включая усиление продукции AIV-специфических антител и цитокинов. BP11

Таблица 2. Относительное содержание молекулярного распределения фракций ферментативного гидролизата фабрициевой сумки, %

Table 2. Molecular distribution of fractions of the enzymatic bursa fabricii hydrolyzate, %

Молекулярная масса, кДа	Концентрация папаина, %		
	0,10	0,15	0,20
30–27	22	9	29
27–18	62	73	57
Менее 18	16	18	14

Таблица 4. Относительное содержание молекулярного распределения фракций пептидов из ферментативного гидролизата фабрициевой сумки при разном гидромодуле, %

Table 4. Molecular distribution of peptide fractions of the enzymatic bursa fabricii hydrolysate at different hydraulic modules, %

Молекулярная масса, кДа	Гидромодуль		
	1:1	1:3	1:5
30–27	38	8	47
27–18	52	78	41
Менее 18	10	14	12

стимулирует выработку антител. Следовательно, BP11 важен для развития иммунной системы.

Y. Yin и др. установлено, что BP11 препятствует морфологическим изменениям и ослабляет экспрессию фенотипических маркеров (молекул МНС II, CD40, CD80 и CD86) в ЛПС-индуцированных ДК [38]. BP5 восстанавливает сниженное поглощение FITC-декстрана в обработанных ЛПС ДК. Следовательно, применение BP5 профилактирует иммунодефицитное состояние путем отмены иммунной функции DCs.

В таблице 2 представлено относительное содержание молекулярного распределения фракций пептидов из ферментативного гидролизата фабрициевой сумки при гидромодуле 1:3, температуре 35 °С и времени гидролиза 6 ч в зависимости от концентрации папаина 0,10–0,20 % к основному сырью.

Из данных таблицы 2 следует, что молекулярная масса пептидов из ферментативного гидролизата фабрициевой сумки распределяется в разных значениях и зависит от концентрации папаина. При концентрации 0,15 % папаина молекулярная масса пептидов составила от 27 до 18 кДа (73 %). При концентрации 0,10 и 0,20 % папаина процентное отношение фракций белка составило 62 и 57 % соответственно. Следовательно, наиболее эффективным для получения ферментативного гидролизата фабрициевой сумки является использование 0,15 % концентрации папаина при гидролизе сырья.

Таблица 3. Относительное содержание молекулярного распределения фракций пептидов из ферментативного гидролизата фабрициевой сумки, %

Table 3. Molecular distribution of peptide fractions of the enzymatic bursa fabricii hydrolyzate, %

Молекулярная масса, кДа	Температура гидролиза, °С		
	35	36	37
30–27	16	5	20
27–18	63	85	67
Менее 18	21	10	13

Таблица 5. Относительное содержание молекулярного распределения фракций пептидов из ферментативного гидролизата фабрициевой сумки в зависимости от времени гидролиза, %

Table 5. Molecular distribution of peptide fractions of the enzymatic bursa fabricii hydrolysate at hydrolysis time, %

Молекулярная масса, кДа	Время гидролиза, ч		
	4	6	8
30–27	17	11	36
27–18	75	82	56
Менее 18	8	7	9

В таблице 3 представлено молекулярное распределение фракций пептидов из ферментативного гидролизата фабрициевой сумки при 0,15 % концентрации папаина, гидромодуле 1:3 и времени гидролиза 6 ч в зависимости от температуры гидролиза.

Из данных таблицы 3 следует, что температура гидролиза оказывает влияние на распределение молекулярной массы фракций пептидов из ферментативного гидролизата фабрициевой сумки. При температуре 36 °С количество ферментативного гидролизата в процентном отношении с молекулярной массой от 27 до 18 кДа было максимальным и составило 85 %, при температуре 35 и 37 °С – 63 и 67 % соответственно. Следовательно, целесообразно проводить гидролиз сырья для выделения получения фракций с молекулярной массой 23–36 кДа при температуре 36 °С.

В таблице 4 представлено относительное содержание молекулярного распределения фракций пептидов из ферментативного гидролизата фабрициевой сумки при 0,15 % концентрации папаина, температуры гидролиза 36 °С и времени гидролиза 6 ч в зависимости от гидромодуля.

Изменение гидромодуля при гидролизе сырья оказало влияние на распределение молекулярной массы ферментативного гидролизата фабрициевой сумки. Наибольшее количество пептидов ферментативного гидролизата фабрициевой сумки с молекулярной массой 27–18 кДа отмечено при

Таблица 6. Соотношение мозгового и коркового вещества тимуса

Table 6. Medulla vs. cortex of the thymus

Линия	Группа	S мозгового вещества, мм ²	S коркового вещества, мм ²	S мозгового вещества/S коркового вещества
C3H	Контроль	0,431 ± 0,114	0,850 ± 0,114	0,518 ± 0,132
	Бурсальные пептиды	0,272 ± 0,070	0,589 ± 0,137	0,442 ± 0,052
C57BL/6	Контроль	0,612 ± 0,128	2,701 ± 0,584	0,381 ± 0,186
	Бурсальные пептиды	0,626 ± 0,124	3,514 ± 0,524	0,175 ± 0,017
C57BL/10	Контроль	0,292 ± 0,081	1,474 ± 0,360	0,169 ± 0,027
	Бурсальные пептиды	0,348 ± 0,147	1,397 ± 0,465	0,195 ± 0,064
SJL	Контроль	0,208 ± 0,027	1,355 ± 0,068	0,163 ± 0,031
	Бурсальные пептиды	0,153 ± 0,043	0,389 ± 0,091*	0,479 ± 0,087*

* Различия с контролем достоверны ($P < 0,05$).

* Differences are significant at $P < 0.05$.

Таблица 7. Плотность распределения CD-45⁺ клеток в мозговом и корковом веществе тимусаTable 7. Distribution density of CD-45⁺ cells in the thymus medulla and cortex

Линия	Группа	CD-45 ⁺ клетки в 1 мм ² коркового вещества	CD-45 ⁺ клетки в 1 мм ² мозгового вещества
C3H	Контроль	109734 ± 6356	76091 ± 2738
	Бурсальные пептиды	102740 ± 8245	73818 ± 4473
C57BL/6	Контроль	112504 ± 8525	87595 ± 2113
	Бурсальные пептиды	129980 ± 6985	83470 ± 1586
C57BL/10	Контроль	117600 ± 5481	79153 ± 1898
	Бурсальные пептиды	116360 ± 6558	72227 ± 3418
SJL	Контроль	134802 ± 5261	88618 ± 1760
	Бурсальные пептиды	116116 ± 8861	80428 ± 7519

гидромуле 1:3 и составило 78 %, при гидромуле 1:1 и 1:5 – 52 и 41 % соответственно.

Таким образом, наиболее эффективно проводить гидролиз сырья при соотношении фабрициева сумка:дистиллированная вода 1:3.

В таблице 5 представлено относительное содержание молекулярного распределения фракций ферментативного гидролизата фабрициевой сумки при 0,15 % концентрации папаина, температуре 36 °C и гидромуле 1:3 в зависимости от времени гидролиза сырья.

Из данных таблицы 5 следует, что максимальное процентное содержание пептидов их ферментативного гидролизата фабрициевой сумки с молекулярной массой 27–18 % отмечается при времени гидролиза сырья 6 ч и составляет 82 %, при 4 и 8 ч – 75 и 56 % соответственно.

Представленная технология гидролиза фабрициевой сумки позволяет выделить пептиды BP5 и BP11 с молекулярной массой 27–18 кДа. По данным [37, 39] указанные пептиды регулируют дифференциацию В-клеток, активизирующих выработку антител и неспецифический иммунный ответ.

Проведенная оценка морфометрических изменений в тимусе не выявила значительного изменения

площади коркового и мозгового вещества тимуса у мышей линий C3H, C57BL/6 и C57BL/10 после введения пептидов. Только у иммунодефицитных мышей линии SJL на фоне введения пептидов отмечается снижение площади коркового вещества относительно контрольной группы (табл. 6). Это может свидетельствовать о снижении лимфоцитопозитивской функции, подавлении митотической активности клеток, что является стереотипным ответом тимуса на различные стрессорные и антигенные воздействия. Корковое вещество тимуса активнее отвечает на различные воздействия, чем мозговое, которое является более стабильной зоной тимуса. Корково-мозговое соотношение в тимусе позвоночных определяет процессы, связанные с пролиферацией, созревaniem и рециркуляцией лимфоцитов.

Данные иммуногистохимического исследования тимуса не выявили значимых изменений содержания CD45⁺ и CD3⁺ клеток в корковом и мозговом веществе из расчета на единицу площади (табл. 7 и 8). Таким образом, бурсальные пептиды не вызывают относительного снижения общей клеточности тимуса в корковом и мозговом веществе.

В корковом веществе тимуса мышей линии SJL отмечается снижение содержания CD3⁺ клеток. Это

Таблица 8. Плотность распределения CD3⁺ клеток в мозговом и корковом веществе тимусаTable 8. Distribution density of CD3⁺ cells in the thymus medulla and cortex

Линия	Группа	CD3 ⁺ клетки в 1 мм ² коркового вещества	CD3 ⁺ клетки в 1 мм ² мозгового вещества
C3H	Контроль	24104,98 ± 1967,59	15298,73 ± 668,79
	Бурсальные пептиды	21025,19 ± 1221,71	14893,36 ± 856,32
C57BL/6	Контроль	5312,83 ± 738,60	6315,93 ± 1504,53
	Бурсальные пептиды	4267,11 ± 790,96	11648,75 ± 2263,74
C57BL/10	Контроль	26405,11 ± 1812,26	27436,39 ± 601,70
	Бурсальные пептиды	23012,43 ± 1004,94	14960,80 ± 1517,91*
SJL	Контроль	29763,96 ± 1311,54	19809,75 ± 2756,67
	Бурсальные пептиды	17777,05 ± 1003,71*	17558,58 ± 770,34

* Различия с контролем достоверны ($P < 0,05$).* Differences are significant at $P < 0.05$.

Таблица 9. Характеристика красной и белой пульпы селезенки экспериментальных групп

Table 9. Red and white spleen pulp in the experimental groups

Линия	Группа	S белой пульпы, мм ²	S красной пульпы, мм ²	S белой пульпы/ S красной пульпы	Количество лимфоидных фолликулов/ 1 мм ² паренхимы
C3H	Контроль	0,729 ± 0,059	5,366 ± 0,715	0,135 ± 0,007	1,413 ± 0,209
	Бурсальные пептиды	0,603 ± 0,077	5,943 ± 0,317	0,103 ± 0,013	1,606 ± 0,125
C57BL/6	Контроль	1,271 ± 0,097	6,467 ± 0,081	0,303 ± 0,031	2,088 ± 0,120
	Бурсальные пептиды	1,453 ± 0,098	5,503 ± 0,202*	0,267 ± 0,026	2,230 ± 0,165
C57BL/10	Контроль	2,147 ± 0,610	4,604 ± 0,466	0,576 ± 0,236	2,504 ± 0,616
	Бурсальные пептиды	1,997 ± 0,406	4,139 ± 0,552	0,569 ± 0,169	2,418 ± 0,366
SJL	Контроль	0,276 ± 0,075	5,336 ± 0,623	0,063 ± 0,025	0,725 ± 0,189
	Бурсальные пептиды	0,941 ± 0,163*	6,839 ± 0,253	0,139 ± 0,024	1,226 ± 0,227

* Различия с контролем достоверны ($P < 0,05$).* Differences are significant at $P < 0.05$.

можно трактовать как преходящее снижение скорости созревания Т-лимфоцитов у данной линии мышей в ответ на введение бурсальных пептидов. Кроме того, у мышей линии C57BL/10 отмечается снижение числа CD3⁺ клеток в мозговом веществе тимуса в экспериментальной группе, что также указывает на угнетение процессов созревания Т-лимфоцитов. Проведенные исследования свидетельствуют о том, что в ответ на введение бурсальных пептидов у мышей линии C3H достоверных изменений морфометрических показателей селезенки не отмечается (табл. 9). При этом содержание CD3⁺ клеток в белой и красной пульпе снижается, что может свидетельствовать об угнетении созревания Т-лимфоцитов.

У мышей линии C57BL/6 с ЦФА-индуцированным иммунодефицитом после введения бурсальных пептидов определяется достоверное снижение площади красной пульпы в единице площади (табл. 9). Также в белой пульпе мышей данной линии отмечается уменьшение площади реактивного

центра, по сравнению с контролем (табл. 10), при значительном повышении количества CD3⁺ клеток в красной и белой пульпе (табл. 10).

У иммунодефицитных мышей линии C57BL/10 после введения бурсальных пептидов отмечается увеличение площади реактивного центра в белой пульпе селезенки (табл. 10). Это указывает на активацию антиген-зависимой пролиферации и дифференцировки В-лимфоцитов. При этом количество CD45⁺ и CD3⁺ клеток в белой и красной пульпе не меняется (табл. 11 и 12).

Проведенные исследования установили, что у мышей линии SJL введение бурсальных пептидов после индукции иммунодефицита вызывает повышение площади белой пульпы по сравнению с группой контроля (табл. 9).

Иммуногистохимическое окрашивание на CD20 тимуса и селезенки мышей различных линий не выявило позитивно-окрашенных клеток ни в одной из групп животных. Принимая во внимание позитивное окрашивание в контрольной ткани

Таблица 10. Морфометрия зон лимфоидных узелков селезенки

Table 10. Morphometry of spleen lymphoid nodules

Линия	Группа	S реактивного центра, мкм ²	S мантийной зоны, мкм ²	S краевой зоны, мкм ²
СЗН	Контроль	8493 ± 1532	44478 ± 4694	29989 ± 5695
	Бурсальные пептиды	7474 ± 649	37679 ± 5247	18605 ± 2047
С57BL/6	Контроль	8493 ± 1532	44478 ± 4694	21795 ± 2377
	Бурсальные пептиды	3475 ± 333*	36447 ± 2681	23768 ± 3909
С57BL/10	Контроль	5160 ± 485	51260 ± 8860	39063 ± 6487
	Бурсальные пептиды	9362 ± 381*	82318 ± 9172	53587 ± 8485
SJL	Контроль	4586 ± 1805	13509 ± 4024	11158 ± 4535
	Бурсальные пептиды	5046 ± 580	33705 ± 8990	19836 ± 4462

* Различия с контролем достоверны ($P < 0,05$).* Differences are significant at $P < 0.05$.Таблица 11. Плотность распределения CD-45⁺ клеток в красной и белой пульпе селезенкиTable 11. Distribution density of CD-45⁺ cells in the red and white spleen pulp

Линия	Группа	CD-45 ⁺ клетки в 1 мм ² красной пульпы	CD-45 ⁺ клетки в 1 мм ² белой пульпы
СЗН	Контроль	55649 ± 2391	73258 ± 3076
	Бурсальные пептиды	62653 ± 3151	70156 ± 1393
С57BL/6	Контроль	74978 ± 3609	85269 ± 4780
	Бурсальные пептиды	74871 ± 8815	89391 ± 2937
С57BL/10	Контроль	72377 ± 5503	66610 ± 2870
	Бурсальные пептиды	65660 ± 2644	64485 ± 3264
SJL	Контроль	55649 ± 2391	76308 ± 5433
	Бурсальные пептиды	54773 ± 4309	64851 ± 2822

* Различия с контролем достоверны ($P < 0,05$).* Differences are significant at $P < 0.05$.Таблица 12. Плотность распределения CD3⁺ клеток в белой и красной пульпе селезенкиTable 12. Distribution density of CD3⁺ cells in the red and white spleen pulp

Линия	Группа	CD3 ⁺ клетки в 1 мм ² красной пульпы	CD3 ⁺ клетки в 1 мм ² белой пульпы
СЗН	Контроль	8631,08 ± 617,54	32479,66 ± 557,87
	Бурсальные пептиды	5036,93 ± 644,68*	19206,88 ± 2151,64*
С57BL/6	Контроль	2667,30 ± 398,51	2873,16 ± 851,03
	Бурсальные пептиды	11435,77 ± 816,86*	27924,50 ± 3418,57*
С57BL/10	Контроль	9542,91 ± 605,16	28427,09 ± 1218,18
	Бурсальные пептиды	10004,49 ± 386,81	21332,01 ± 2705,62
SJL	Контроль	4774,77 ± 617,44	25365,99 ± 2715,59
	Бурсальные пептиды	3491,49 ± 333,46	28718,93 ± 1399,39

* Различия с контролем достоверны ($P < 0,05$).* Differences are significant at $P < 0.05$.

с использованием того же перечня реагентов, а также иммунореактивность мышей для данного вида антител, гарантированную производителем, можно предположить, что введение циклофосамида могло вызвать исчезновение CD20⁺ клеток в тимусе и селезенке исследуемых мышей. Красная пульпа

селезенки и В-зависимые зоны более активно запусевают в ответ на введение циклофосамида, а Т-зависимые области остаются интактными. Введение ЦФА до антигенного стимула длительно подавляет образование антител, но не влияет на предшествующие активированных Т-клеток. Выявленный факт

требует проведения дополнительных исследований с возможной заменой определяемого маркера В-лимфоцитов и проверкой используемого первичного антитела в других группах и тканях.

Обращают на себя внимание ученых особенности реакции на введение бурсальных пептидов у разных линий мышей. Сочетание с различной чувствительностью исследуемых линий мышей на введение циклофосамида, отмечаемой в работах различных авторов и наших предварительных исследованиях, затрудняет выявление общих закономерностей иммуотропного действия исследуемых пептидов. Резкого снижения или роста показателей в ответ на введение бурсальных пептидов не отмечается. Иммуноцитотоксические эффекты отсутствуют. Большинство показателей не отличается от контрольных значений. В случае выраженных отличий показателей от контрольной группы представляет интерес оценка восстановительных процессов в динамике.

Выводы

Разработана технология получения коротких пептидов с молекулярной массой 28–18 кДа из ферментативного гидролизата фабрициевой сумки цыплят-бройлеров, включающая промывку сырья, измельчение, гомогенизацию, гидролиз и ультрафильтрацию. Эффективность гидролиза определена по содержанию аминного азота в гидролизате. Установлена рациональная концентрация фермента папаина – 0,15 % от массы сырья. Определены рациональные технологические параметры гидролиза: концентрация папаина 0,15 %, температура 36 °С, гидромодуль 1:3, время гидролиза 6 ч. На основании гистологических исследований расчета площади мозгового и коркового вещества тимуса, соотношения красной и белой пульпы селезенки, общей клеточности тимуса и селезенки, морфометрии зон фолликулов селезенки и подсчета количества CD45⁺, CD20⁺ и CD3⁺ клеток

иммунодефицитных мышей доказано снижение иммуноцитотоксических эффектов на фоне введения внутрь пептидов в дозе 0,1 мг/20 г массы животного, разведенных в 0,1 мл 0,9 % раствора хлорида натрия.

Из проведенных исследований биологической активности выделенных пептидов с использованием экспериментально обоснованных технологических режимов ферментного гидролиза фабрициевой сумки следует, что полученные пептиды после проведения дополнительных исследований можно отнести к перспективным пищевым ингредиентам. Создание и внедрение в производство с использованием пептидов специализированных пищевых продуктов, включающих действующее начало, в виде пептидов формирует предпосылки для становления нового направления фармаконутрициологии, сочетающего не только профилактику и лечение болезней различной этиологии, но и изучение механизма развития патологических процессов. Это позволит определить необходимость применения тех или иных пептидов. Развитие указанного направления будет эффективным и безопасным методом сохранения здоровья человека.

Критерии авторства

Авторы в равной степени принимали участие в исследованиях и оформлении рукописи.

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 interest regarding the publication of this article.

References/Список литературы

1. Kerksick CM, Arent S, Schoenfeld BJ, Stout JR, Campbell B, Wilborn CD, *et al.* International society of sports nutrition position stand: nutrient timing. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2017;14(1). <https://doi.org/10.1186/s12970-017-0189-4>
2. Banihashemi SA, Nikoo M, Ghasempour Z, Ehsani A. Bioactive peptides fractions from traditional Iranian Koopeh cheese; lactic fermentation products. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2020;29. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101798>
3. Meinlschmidt P, Sussmann D, Schweiggert-Weisz U, Eisner P. Enzymatic treatment of soy protein isolates: effects on the potential allergenicity, technofunctionality, and sensory properties. *Food Science and Nutrition*. 2016;4(1):11–23. <https://doi.org/10.1002/fsn3.253>
4. Pak VV, Koo MS, Kasymova TD, Kwon DY. Isolation and identification of peptides from soy 11S-globulin with hypocholesterolemic activity. *Chemistry of Natural Compounds*. 2005;41(6):710–714. <https://doi.org/10.1007/s10600-006-0017-6>
5. Marques MR, Fontanari GG, Pimenta DC, Soares-Freitas RM, Arêas JAG. Proteolytic hydrolysis of cowpea proteins is able to release peptides with hypocholesterolemic activity. *Food Research International*. 2015;77:43–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.020>

6. Ashraf J, Liu L, Awais M, Xiao T, Wang L, Zhou X, et al. Effect of thermosonication pre-treatment on mung bean (*Vigna radiata*) and white kidney bean (*Phaseolus vulgaris*) proteins: Enzymatic hydrolysis, cholesterol lowering activity and structural characterization. Ultrasonics Sonochemistry. 2020;66. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105121>
7. Soares RAM, Mendonça S, de Castro LÍA, Menezes ACCCC, Arêas JAG. Major peptides from amaranth (*Amaranthus cruentus*) protein inhibit HMG-CoA reductase activity. International Journal of Molecular Sciences. 2015;16(2):4150–4160. <https://doi.org/10.3390/ijms16024150>
8. Prados IM, Plaza M, Marina ML, García M. Concepción evaluation of the relationship between the peptide profile and the lipid-lowering properties of olive seeds hydrolysates as a tool for tuning hypocholesterolemic functionality. Food and Function. 2020;11(6):4973–4981. <https://doi.org/10.1039/d0fo00576b>
9. Tsai J-S, Chen T-J, Pan BS, Gong S-D, Chung M-Y. Antihypertensive effect of bioactive peptides produced by protease-facilitated lactic acid fermentation of milk. Food Chemistry. 2008;106(2):552–558. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.039>
10. Chen GW, Liao KJ. Method of combining pressure and enzyme to extract hydrolysate of animal-derived composition. Taiwan Patent No. TW1600379B. 2017.
11. Eisenmenger MJ, Reyes-De-Corcuera JI. High pressure enhancement of enzymes: A review. Enzyme and Microbial Technology. 2009;45(5):331–347. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2009.08.001>
12. Marciniak A, Suwal S, Naderi N, Pouliot Y, Doyen A. Enhancing enzymatic hydrolysis of food proteins and production of bioactive peptides using high hydrostatic pressure technology. Trends in Food Science and Technology. 2018;80:187–198. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.013>
13. Lin YH, Li CH, Lin CH, Yan YZ, Chuang YY, Chen GW. Application and development status of an ultra-high pressure processing technique in aquatic food. Fish. Ext. Rep. 2017;47:17–32.
14. Chen G-W, Yang M-H. Production and purification of novel hypocholesterolemic peptides from lactic fermented *Spirulina platensis* through high hydrostatic pressure-assisted protease hydrolysis. Catalysts. 2021;11(8). <https://doi.org/10.3390/catal11080873>
15. Anh TLQ, Hoa NTQ, Nguyen PDT, Van Thanh H, Nguyen PB, Anh LTH, et al. Soybean protein extraction by alcalase and flavourzyme, combining thermal pretreatment for enteral feeding product. Catalysts. 2020;10(8). <https://doi.org/10.3390/catal10080829>
16. Liu D-M, Chen J, Shi Y-P. Advances on methods and easy separated support materials for enzymes immobilization. TrAC – Trends in Analytical Chemistry. 2018;102:332–342. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.03.011>
17. Kudryashov LS, Uzakov YaM, Tikhonov SL, Tikhonova NV, Diachkova AV. Microencapsulation of proteolytic enzymes for industrial application. News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. 2020;3(441):161–169. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.67>
18. Tikhonov SL, Tikhonova NV, Kudryashov LS, Kudryashova OA, Moskovenko NV, Tretyakova IN. Efficiency of Microencapsulation of Proteolytic Enzymes. Catalysts. 2021;11(11). <https://doi.org/10.3390/catal11111270>
19. Zhang L, Lu Y, Feng X, Liu Q, Li Y, Hao J, et al. Hepatoprotective effects of *Pleurotus ostreatus* protein hydrolysates yielded by pepsin hydrolysis. Catalysts. 2020;10(6). <https://doi.org/10.3390/catal10060595>
20. Joshi I, Janagaraj K, Noorani KPM, Nazeer RA. Isolation and characterization of angiotensin I-converting enzyme (ACE-I) inhibition and antioxidant peptide from by-catch shrimp (*Oratosquilla woodmasoni*) waste. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2020;29. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101770>
21. Narayanasamy A, Balde A, Raghavender P, Shashanth D, Abraham J, Joshi I, et al. Isolation of marine crab (*Charybdis natator*) leg muscle peptide and its anti-inflammatory effects on macrophage cells. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2020;25. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101577>
22. Villadóniga C, Cantera AMB. New ACE-inhibitory peptides derived from α -lactalbumin produced by hydrolysis with *Bromelia antiacantha* peptidases. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2019;20. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101258>
23. El-Sayed ST, Al-Azzouny RA, Ali OS. Purification and functional characterization of a novel tyrosinase (diphenolase) inhibitory peptides prepared from *Solunum tuberosum* peels protein via enzymatic hydrolysis. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2019;17:331–338. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.12.009>
24. Rani S, Pooja K, Pal GK. Exploration of potential angiotensin converting enzyme inhibitory peptides generated from enzymatic hydrolysis of goat milk proteins. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2017;11:83–88. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.06.008>
25. de Castro RJS, Sato HH. Simultaneous hydrolysis of proteins from different sources to enhance their antibacterial properties through the synergistic action of bioactive peptides. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2016;8:209–212. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.09.014>
26. Shafiei Kaleybar L, Khoshfetrat AB, Nozad Charoudeh H. Modeling and performance prediction of a conceptual bioprocess for mass production of suspended stem cells. Food and Bioprocess Processing. 2020;122:254–268. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.04.012>

27. Raja K, Martin LC, Bose L, Sahayanathan GJ, Padmanaban D, Chinnasamy A. Anti-proliferative and apoptotic effects of by-product (skin extract) from marine catfish *Tachysurus dussumieri*. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2020;29. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101816>
28. Immunotherapy: a guide for physicians. 2nd ed. In: Khaitov RM, Ataulakhanov RI, Shul'zhenko AE, editors. Moscow: GEHOTAR-Media; 2018. 767 p. (In Russ.).
- Иммунотерапия: руководство для врачей. 2-е изд. / под ред. Р. М. Хайтова, Р. И. Атауллаханова, А. Е. Шульженко. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 767 с.
29. Xu Q, Hong H, Wu J, Yan X. Bioavailability of bioactive peptides derived from food proteins across the intestinal epithelial membrane: A review. Trends in Food Science and Technology. 2019;86:399–411. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.050>
30. Travnikova NA. Comparative morphology of the bursa fabricii of broiler chickens in the age aspect and different conditions. Cand. sci. vet. diss. abstract. Yekaterinburg: Ural State Agrarian University; 2004. 22 p. (In Russ.).
- Травникова Н. А. Сравнительная морфология фабрициевой бурсы цыплят-бройлеров в возрастном аспекте при разных способах содержания: автореф. дис...канд. вет. наук. Екатеринбург, 2004. 22 с.
31. Li D, Xue M, Geng Z, Chen P. The suppressive effects of bursopentine (BP5) on oxidative stress and NF-κB activation in lipopolysaccharide-activated murine peritoneal macrophages. Cellular Physiology and Biochemistry. 2012;29:9–20. <https://doi.org/10.1159/000337581>
32. Li J, Li T-X, Ma Y, Zhang Y, Li D-Y, Xu H-R. Bursopentin (BP5) induces G1 phase cell cycle arrest and endoplasmic reticulum stress/mitochondria-mediated caspase-dependent apoptosis in human colon cancer HCT116 cells. Cancer Cell International. 2019;19(1). <https://doi.org/10.1186/s12935-019-0849-3>
33. Ahangari H, Yazdani P, Ebrahimi V, Soofiyan SR, Azargun R, Tarhriz V, *et al.* An Updated review on production of food derived bioactive peptides; focus on the psychotropic bacterial proteases. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2021;35. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102051>
34. Dullius A, Goettert MI, de Souza CFV. Whey protein hydrolysates as a source of bioactive peptides for functional foods – Biotechnological facilitation of industrial scale-up. Journal of Functional Foods. 2018;42:58–74. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.063>
35. Martínez-Sánchez SM, Gabaldón-Hernández JA, Montoro-García S. Unravelling the molecular mechanisms associated with the role of food-derived bioactive peptides in promoting cardiovascular health. Journal of Functional Foods. 2020;64. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103645>
36. Khaitov RM. Immunomodulators: myths and reality. Immunologiya. 2020;41(2):101–106. <https://doi.org/10.33029/0206-4952-2020-41-2-101-106>
37. Liu X-D, Feng X-L, Zhou B, Cao R-B, Li X-F, Ma Z-Y, *et al.* Isolation, modulatory functions on murine B cell development and antigen-specific immune responses of BP11, a novel peptide from the chicken bursa of Fabricius. Peptides. 2012;35(1):107–113. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2012.03.003>
38. Yin Y, Qin T, Yu Q, Yang Q. Bursopentin (BP5) from chicken bursa of fabricius attenuates the immune function of dendritic cells. Amino Acids. 2014;46(7):1763–1774. <https://doi.org/10.1007/s00726-014-1735-x>
39. Feng X-L, Zhou B, Cao R-B, Liu Q-T, Liu K, Liu X-D, *et al.* Immunomodulatory roles and functional analysis of pre-B lymphocyte DT40 cells with the bursal-derived BSP-II treatment. Peptides. 2012;36(2):292–298. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2012.04.015>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2365>
<https://elibrary.ru/QYASQC>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Сравнительная оценка качества пюре из плодов шиповника, выработанного разными технологическими способами



О. В. Голуб^{*ID}, Г. П. Чекрыга^{ID},
О. К. Мотовилов^{ID}, В. В. Щербинин^{ID}

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

Поступила в редакцию: 30.03.2022
Принята после рецензирования: 16.05.2022
Принята в печать: 23.05.2022

*О. В. Голуб: golubiza@rambler.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>
Г. П. Чекрыга: <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>
О. К. Мотовилов: <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>
В. В. Щербинин: <https://orcid.org/0000-0002-4185-9087>

© О. В. Голуб, Г. П. Чекрыга,
О. К. Мотовилов, В. В. Щербинин, 2022



Аннотация.

Фруктовое пюре является одним из наиболее популярных полуфабрикатов при изготовлении пищевой продукции. Плоды шиповника обладают широким спектром положительных воздействий на организм человека за счет содержащихся в них биологически активных веществ. Цель работы – исследовать характеристики качества пюре из плодов шиповника, выработанного с использованием механоакустического гомогенизатора, а также обосновать его срок годности. Объектами исследования являлись образцы пюре из плодов шиповника (свежих или сушеных). Выработку пюре осуществляли по классической технологии, а также с использованием механоакустического аппарата, позволяющего совместить технологические операции.

Пюре из шиповника, независимо от вида сырья (свежие или сушеные плоды), получали в механоакустическом аппарате, где при интенсивности воздействия 100–500 Вт/кг в течение 15–30 мин при температуре 50–65 °С осуществлялись одновременно процессы измельчения, гомогенизации и дезодорации, затем в течение 20–60 с при температуре 95–97 °С – обеззараживание. Полученное пюре, по сравнению с образцами пюре, выработанными по классической технологии, обладает улучшенными органолептическими характеристиками: оценка внешнего вида выше на 9 %, цвета – на 15 %, запаха – на 21 %, консистенции и вкуса – на 30 %. Также у данного пюре наблюдается повышение содержания основных нутриентов (сахаров, белков, свободных органических кислот и минеральных веществ – на 10 %) и биологически активных веществ (пищевых волокон и β -каротина – на 10 %, суммы фенольных веществ – на 20 %, аскорбиновой кислоты – на 40 %). В результате исследований органолептических, физико-химических и микробиологических показателей обоснован срок годности пюре из плодов шиповника – 24 месяца в стеклянной упаковке.

Установлено, что использование механоакустического гомогенизатора при разработке и получении пюре из плодов шиповника позволяет сократить количество технологических операций, обеспечить получение конечного продукта с большим количеством пищевых веществ и лучшими показателями качества, чем продукция, полученная по классической технологии. Пюре из плодов шиповника сохраняет свои качественные характеристики в течение 24 месяцев хранения в стеклянных банках при температуре и относительной влажности воздуха не выше 25 °С и 75 % соответственно в защищенном от прямых солнечных лучей месте.

Ключевые слова. Шиповник, пюре, органолептические показатели, физико-химические показатели, биологически активные вещества, микробиологические показатели, срок годности

Для цитирования: Сравнительная оценка качества пюре из плодов шиповника, выработанного разными технологическими способами / О. В. Голуб [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 310–320. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2365>

Comparative Quality Assessment of Rose Hip Puree Produced by Different Technological Methods

Olga V. Golub*^{ORCID}, Galina P. Chekryga^{ORCID},
Oleg K. Motovilov^{ORCID}, Viacheslav V. Sherbinin^{ORCID}

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

Received: 30.03.2022
Revised: 16.05.2022
Accepted: 23.05.2022

*Olga V. Golub: golubiza@rambler.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-2561-9953>
Galina P. Chekryga: <https://orcid.org/0000-0002-3756-1798>
Oleg K. Motovilov: <https://orcid.org/0000-0003-2298-3549>
Viacheslav V. Sherbinin: <https://orcid.org/0000-0002-4185-9087>

© O.V. Golub, G.P. Chekryga, O.K. Motovilov, V.V. Sherbinin, 2022



Abstract.

Fruit puree is one of the most popular semi-finished products. Rose hips have a wide range of positive effects on the human body due to the biologically active substances they contain. The research objective was to assess the quality rosehip puree produced using a mechano-acoustic homogenizer and to define its shelf life.

The study featured several samples of puree made of fresh or dried rose hips. The experiment involved two types of processing methods: traditional and mechano-acoustic. The analysis was based on standard methods. The mechano-acoustic homogenizer made it possible to combine several technological operations: grinding, homogenization, deodorization, and disinfection.

The processing conditions were as follows: exposure intensity – 100–500 W/kg, time – 15–30 min, temperature – 50–65°C, disinfection time – 20–60 s, disinfection temperature – 95–97°C. Both fresh and dried rose hips puree samples produced with the help of a mechano-acoustic homogenizer had the best sensory properties, which exceeded those of the control samples by 9% for appearance, 15% for color, 21% for smell, and 30% for texture and taste. The test samples were by 10% richer in sugars, proteins, free organic acids, and minerals. They contained more biologically active substances: dietary fiber and β -carotene – by an average of 10%, phenolic substances – 20%, ascorbic acid – 40%. According to the sensory, physical, chemical, and microbiological indicators, the shelf life of rose hip puree produced using mechano-acoustic equipment was 24 months in glass packaging.

The mechano-acoustic homogenizer method optimized the technological operation, and the finished product had more nutrients and better quality indicators than those of puree obtained by traditional technologies. The rose hip puree retained its quality characteristics for 24 months at $\leq 25^\circ\text{C}$ and humidity $\leq 75\%$ in glass jars in a dark place.

Keywords. Rose hips, puree, sensory indicators, physical and chemical indicators, biologically active substances, microbiological indicators, shelf life

For citation: Golub OV, Chekryga GP, Motovilov OK, Sherbinin VV. Comparative Quality Assessment of Rose Hip Puree Produced by Different Technological Methods. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):310–320. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2365>

Введение

Согласно ГОСТ 28322-2014 пюре из овощей и/или фруктов представляет собой «...несброженный, но способный к брожению пищевой продукт, полученный из цельных или измельченных свежих или сохраненных свежими или быстрозамороженных фруктов [овощей], подготовленных в соответствии с установленной технологией, включающей измельчение, протирание без отделения сока и

мякоти...». Изготовление пюреобразной продукции осуществляется для продления срока использования плодоовощного сырья и создания на его основе разнообразных продуктов питания [1–7]. Пюре из плодов и/или овощей классифицируется по нескольким признакам, основные из которых представлены на рисунке 1.

Из данных рисунка 1 видно, что по признаку «сырье» пюре может быть изготовлено из моно-

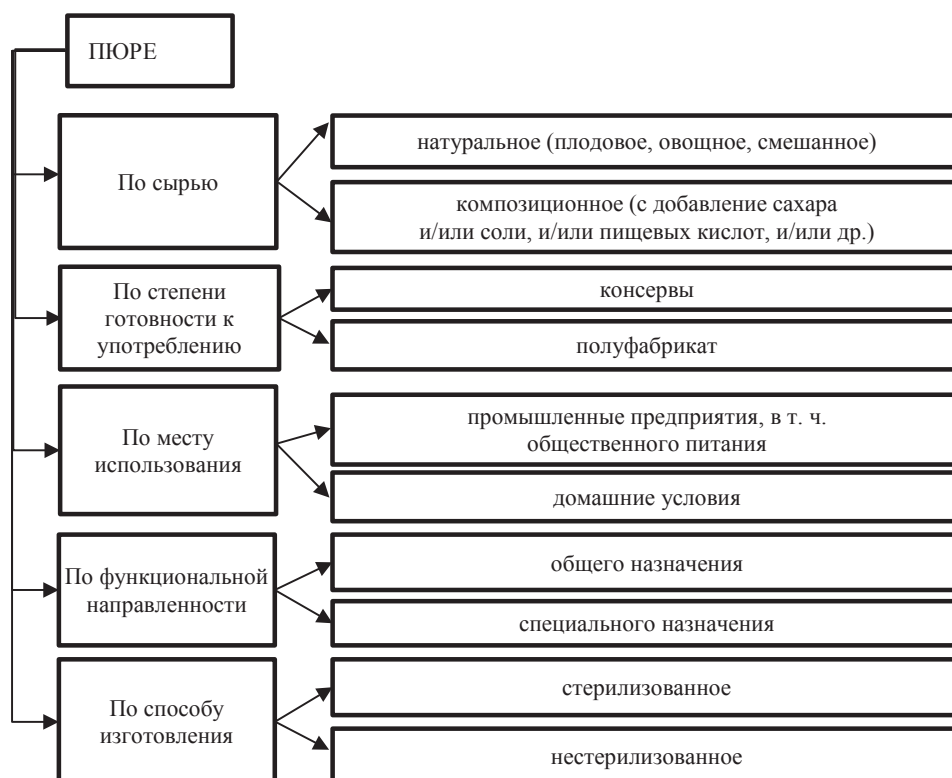


Рисунок 1. Классификация пюре

Figure 1. Puree classification

сырья (натуральное), т. е. из плодов, овощей или их смеси, а также с добавлением различных других дополнительных ингредиентов (сахара, соли, приправ, пряностей и т. д.).

Если в состав пюре добавить дополнительные функциональные ингредиенты (витамины, минеральные вещества и пр.) или использовать специальные требования при изготовлении, то продукция из общего назначения может перейти в продукцию специального (например, детского питания). При этом должны соблюдаться требования действующей нормативной документации. Это обуславливает разделение пюре по признаку «функциональная направленность».

По признаку «степень готовности к употреблению» пюре может быть использовано как в пищу (консервы), так и для изготовления разнообразных продуктов питания (полуфабрикат) – повидла, коктейлей, сиропов, подварок, наполнителей и пр.

Пюре может быть использовано различными заинтересованными лицами: потребителями, промышленными предприятиями, в том числе общественного питания, и организациями, оказывающими туристические услуги и пр. Это обуславливает формирование классификационного признака «место использования».

По признаку «способ изготовления» вырабатывается, в зависимости от различных критериев (используемой упаковки, сроков годности и пр.), стерилизованное и нестерилизованное пюре. Достигнуть необходимых технических характеристик можно, используя различные методы консервации: – физические: температурные (стерилизация, пастеризация, замораживание, охлаждение, переохлаждение), ультразвуковые и др.; – физико-химические: обезвоживание (например, концентрирование) и осмотическое давление (например, за счет использования сахара и/или соли); – химические (например, использование консервантов); – комбинированные.

Плоды шиповника используются для изготовления различной продукции, в том числе функциональной, из-за содержания в них ценных вкусо-ароматических и физиологически активных веществ (аскорбиновой кислоты, токоферолов, флавоноидов и пр.), которые обеспечивают антидепрессивное, антиоксидантное, антидиабетическое и другие полезные воздействия на организм человека [8–15].

Из плодов шиповника вырабатывается пюре с длительным сроком годности и качественными характеристиками, соответствующими требованиям действующей документации и обеспечивающими

Таблица 1. Химический состав плодов шиповника

Table 1. Chemical composition of rose hips

Показатель	Содержание в плодах	
	Свежих	Сушеных
Массовая доля растворимых сухих веществ, %	21,9 ± 0,4	–
Массовая доля влаги, %	–	12,3 ± 0,2
Массовая доля сахаров, %	11,4 ± 0,3	62,3 ± 0,3
Массовая доля белков, %	0,9 ± 0,2	3,0 ± 0,3
Массовая доля жиров, %	0,4 ± 0,2	1,2 ± 0,2
Массовая доля свободных органических кислот (по яблочной), %	2,03 ± 0,11	4,82 ± 0,04
Массовая доля золы, %	1,24 ± 0,35	2,24 ± 0,17
Массовая доля пищевых волокон, %	3,57 ± 0,24	6,44 ± 0,22
Массовая доля аскорбиновой кислоты, мг/100 г	970 ± 37	1000 ± 59
Массовая доля суммы фенольных веществ, мг/100 г	840 ± 19	300 ± 14
Массовая доля β-каротина, мг/100 г	41,01 ± 0,24	34,18 ± 0,35

повышение пищевой ценности, в том числе органолептической. Немецкими учеными установлено, что обработка пюре из *Rosa canina* под высоким давлением, позволяющим инактивировать различные бактерии, для продления срока хранения продукции не оказывает существенного влияния на общее содержание каротиноидов, витамина Е и антиоксидантную способность, а также биодоступность каротиноидов *in vitro* [16].

Специалистами пищевой промышленности пюре из плодов шиповника используется для изготовления различной продукции [17]:

– М. Igual с соавторами использовали пюре из *Rosa canina* для изготовления экструдированных кукурузных закусок, обладающих функциональной ценностью за счет флавонолов, каротиноидов, витамина С и фолиевой кислоты [18];

– польскими учеными проведены исследования по использованию пюре из плодов шиповника (массовая доля сухих веществ 12,5 %) для изготовления смузи из творожной сыворотки в соотношении 1:1. Установлено, что использование пюре позволяет получить продукцию с оригинальными сенсорными характеристиками, а также содержанием калия и кальция на уровне рекомендуемых физиологических потребностей [19];

– казахскими исследователями установлено, что замена изюма на пюре из плодов шиповника при выработке кексов оказывает влияние на физико-химические показатели готовой к употреблению продукции: увеличиваются влажность, щелочность, содержание водорастворимых веществ за счет пищевых волокон, органических кислот, витамина С и минеральных веществ с одновременным снижением усвояемости [20].

Таким образом, использование плодов шиповника для выработки пюре позволяет не только рационально использовать местные сырьевые ресурсы,

но и расширить ассортимент продуктов питания, содержащих физиологически активные вещества.

К новым способам получения пюре из плодов шиповника можно отнести обработку в механоакустическом аппарате, позволяющем сократить при изготовлении продукции количество операций и технологического оборудования.

Цель работы – исследовать характеристики качества пюре из плодов шиповника, выработанного с использованием механоакустического гомогенизатора, а также обосновать его срок годности.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования – образцы пюре из плодов шиповника (свежих или сушеных). Их химический состав представлен в таблице 1.

В процессе исследований изготавливали 4 образца пюре из шиповника: 2 по классической технологии (Образцы № 1 и 2) [21] и 2 с использованием механоакустического аппарата (Образцы № 3 и 4).

Для Образца № 1 свежие плоды шиповники инспектировали, мыли, удаляли плодоножку, срезали чашелистики с верхней части плодов, бланшировали в воде в количестве 10–15 % от массы плодов при температуре 90–100 °С в течение 8–10 мин, добавляли водопроводную воду (температура 16–20 °С, pH = 6,6 ед. pH), протирали (на протирочной машине с диаметром отверстий сита 0,5–0,8 мм), финишировали (диаметр отверстий сита 0,4 мм), уваривали до содержания растворимых сухих веществ 60 % (в открытом котле) в течение 45–50 мин, подогревали до температуры 85–90 °С, расфасовывали, укупоривали и стерилизовали при температуре 100 °С по формуле 20–20–20 мин (время выхода на режим стерилизации – время выдержки на режиме стерилизации – время охлаждения) и давлении 147 кПа, охлаждали до температуры не выше 22 °С.

Таблица 2. Технологические операции приготовления пюре из плодов шиповника

Table 2. Technical processing of rose hip puree

Технологическая операция	Образцы			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Приемка и инспекция	+	+	+	+
Мойка, удаление плодоножки и чашелистиков с верхней части плодов	+	–	+	–
Бланширование	+	+	–	–
Составление смеси с водой	+	+	+	+
Регидратация	–	+	–	+
Протирание	+	+	–	–
Финиширование	+	+	–	–
Уваривание	+	+	–	–
Подогревание	+	+	–	–
Обработка в механоакустическом аппарате	–	–	+	+
Фасовка	+	+	+	+
Укупорка	+	+	+	+
Стерилизация	+	+	–	–
Охлаждение	+	+	+	+

Для Образца № 2 обезвоженные плоды шиповники инспектировали, бланшировали в воде в количестве 10–15 % от массы плодов при температуре 90–100 °С в течение 8–10 мин и регидратировали в воде (гидромуль сырье: вода – 1:20) при температуре 16–20 °С (рН воды 6,6 ед. рН) в течение 14–16 ч. Остальные операции аналогичны продукции, изготовленной из свежих плодов.

Для Образца № 3 свежие плоды шиповники инспектировали, мыли, удаляли плодоножку, срезали чашелистики с верхней части плодов, загружали в механоакустический аппарат, добавляли водопроводную воду (температура 16–20 °С, рН = 6,6 ед. рН), обрабатывали массу (измельчали, гомогенизировали, дезодорировали и частично обеззараживали) при интенсивности воздействия 100–500 Вт/кг в течение 15–30 мин и температуре 50–65 °С до содержания растворимых сухих веществ 60 %, затем обеззараживали в течение 20–60 с при температуре 95–97 °С, осуществляли горячий розлив, укупоривали и охлаждали.

Для Образца № 4 обезвоженные плоды шиповники инспектировали, загружали в механоакустический аппарат, добавляли водопроводную воду (температура 16–20 °С, рН = 6,6 ед. рН) и регидратировали в воде (гидромуль сырье: вода – 1:20) в течение 14–16 ч. Остальные операции аналогичны продукции, изготовленной из свежих плодов.

Норма расхода сырья на 1000 кг продукции составляло, кг с учетом потерь: Образцы № 1 и 3 – плоды шиповника 267, вода 800; Образцы № 2 и 4 – плоды шиповника 58, вода 950.

В таблице 2 представлены технологические операции, использованные при выработке пюре из плодов шиповника.

В исследуемых образцах пюре из шиповника определяли массовые доли растворимых сухих веществ по ГОСТ ISO 2173-2013, сахаров – по ГОСТ 8756.13-87, белков – по ГОСТ 34551-2019, жиров – по ГОСТ 8756.21-89, свободных органических кислот в процентах по яблочной кислоте – по ГОСТ 1994-93, золы – по ГОСТ 25555.4-91, аскорбиновой кислоты – по ГОСТ 1994-93, растворимых и нерастворимых пищевых волокон – по ГОСТ Р 54014-2010, каротина – по ГОСТ ISO 6558-2-2019, сумму фенольных веществ в пересчете на галловую кислоту методом с реактивом Фолина-Чокальтеу согласно [22].

Органолептические показатели (внешний вид, цвет, консистенция, запах, вкус) устанавливали по ГОСТ 8756.1-2017, оценку органолептических показателей проводили по балльной системе [23].

Наличие мезофильно-аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов и/или плесневых грибов, и/или дрожжей устанавливали по ГОСТ 30425-97, бактерий рода *Salmonella* – по ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002), бактерий рода *Proteus* – по ГОСТ 28560-90, бактерий род *Staphylococcus* – по ГОСТ 31746-2012, бактерий группы кишечных палочек – по ГОСТ 31747-2012. Результаты испытаний статистически обрабатывались с помощью MS Excel.

В процессе работы использовано следующее оборудование: механоакустический аппарат МАГ-50 (Россия), автоклав Prestige Medical Classic Standart (Великобритания), баня водяная Biosan WB-4MS (Латвия), весы лабораторные Ohaus PA2102C (Китай), весы лабораторные Ohaus PA214 (Китай), гомогенизатор HG-15F-Set (Корея), микроскоп Микромед 2 (Россия), муфельная печь SNOL (Литва), настольный измеритель pH Ohaus Starter 2100 (Китай), плита программируемая ПЛП-03 НПП «Томьяналит» (Россия), рефрактометр ИРФ-454 Б2М (Россия), стерилизатор паровой ВК-0701 (Россия) и термостат MIR-262 Sanyo (Япония).

Результаты и их обсуждение

Исследование характеристик качества пюре осуществлялось по органолептическим показателям, содержанию основных нутриентов и биологически активных веществ. Результаты исследований представлены в таблицах 3–5.

Изменения органолептических характеристик и нутриентного состава, в том числе биологически активных веществ, продукции (пюре из плодов шиповника) объясняются нарушениями целостности клеточных стенок плодов при измельчении и термической обработке, гидратацией (Образцы № 2 и 4) и относительной неравномерностью происходящих физико-химических процессов (окисление антоцианов,

Таблица 3. Органолептическая оценка пюре из плодов шиповника

Table 3. Sensory profile of rose hip puree

Образец	Показатель, балл				
	Внешний вид	Цвет	Консистенция	Запах	Вкус
№ 1	0,44 ± 0,05	0,42 ± 0,04	1,20 ± 0,00	0,84 ± 0,08	1,26 ± 0,12
№ 2	0,42 ± 0,04	0,40 ± 0,00	1,08 ± 0,15	0,72 ± 0,10	1,02 ± 0,15
№ 3	0,48 ± 0,04	0,50 ± 0,00	1,50 ± 0,00	0,96 ± 0,08	1,50 ± 0,00
№ 4	0,46 ± 0,05	0,44 ± 0,05	1,44 ± 0,12	0,92 ± 0,10	1,44 ± 0,12

Таблица 4. Показатели пищевой ценности пюре из плодов шиповника

Table 4. Nutritional value of rose hip puree

Образец	Массовая доля, %				
	Сахаров	Белков	Жиров	Свободных органических кислот (по яблочной)	Золы
№ 1	31,8 ± 0,9	2,4 ± 0,3	1,0 ± 0,3	5,30 ± 0,05	3,24 ± 0,13
№ 2	39,0 ± 0,8	1,9 ± 0,4	0,8 ± 0,2	3,07 ± 0,07	1,37 ± 0,14
№ 3	32,6 ± 0,7	2,4 ± 0,3	1,0 ± 0,3	5,44 ± 0,08	3,32 ± 0,15
№ 4	40,8 ± 0,8	2,0 ± 0,4	0,8 ± 0,3	3,30 ± 0,06	1,44 ± 0,14

Таблица 5. Биологически активные вещества пюре из плодов шиповника

Table 5. Biologically active substances in rose hip puree

Образец	Массовая доля			
	Пищевых волокон, %	Аскорбиновой кислоты, мг/100 г	Суммы фенольных веществ, мг/100 г	β -каротина, мг/100 г
№ 1	8,32 ± 0,21	1659 ± 71	1890 ± 24	101,04 ± 1,32
№ 2	4,17 ± 0,27	650 ± 54	195 ± 27	22,22 ± 0,32
№ 3	9,28 ± 0,24	2609 ± 62	2184 ± 22	106,70 ± 1,57
№ 4	4,37 ± 0,27	680 ± 37	204 ± 27	23,24 ± 0,32

карамелизация, меланоидинообразование, потери ароматических веществ и пр.).

По внешнему виду Образец № 3 представляет собой однородную массу, без частиц волосков, кожицы, плодиков, чашелистиков, плодоножек и листьев. В Образце № 4 попадаются единичные частицы кожицы, № 1 – единичные частицы кожицы и плодиков, № 2 – единичные частицы кожицы, плодиков и волосков. Данные таблицы 3 позволяют проранжировать по данному показателю продукцию следующим образом: Образец № 3 (0,48 балла) > № 4 (0,46 балла) > № 1 (0,44 балла) > № 2 (0,42 балла).

Цвет Образца № 3 нативный, темно-бордовый и однородный по всей массе. В цвете Образца № 4 отмечают оттенки плодов шиповника, прошедших тепловую обработку (сушку). Цвет Образца № 1 – коричнево-бордовый. В Образце № 2 отмечают интенсивные оттенки плодов шиповника, прошедших длительную тепловую обработку (сушку и уваривание). Данные таблицы 3 позволяют проранжировать по данному показателю пюре из плодов шиповника следующим образом: Образец № 3

(0,50 балла) > № 4 (0,44 балла) > № 1 (0,42 балла) > № 2 (0,40 балла).

Консистенция пюре Образцов № 3 и 4 – пюреобразная, густая, но текучая. Консистенция Образца № 1 – пюреобразная, плотная, но текучая, № 2 – не текучая, а тягучая. Данные таблицы 3 позволяют проранжировать по данному показателю продукцию следующим образом: Образец № 3 (1,50 балла) > № 4 (1,44 балла) > № 1 (1,20 балла) > № 2 (1,08 балла).

Запах Образца № 3 гармоничный, хорошо выраженный и характерный для плодов шиповника. В запахе Образца № 4 присутствуют легкие, приятные тона плодов, прошедших тепловую обработку, № 1 – интенсивные тона плодов, прошедших длительную тепловую обработку. Запах Образца № 2 слабый и разлаженный. Данные таблицы 3 позволяют проранжировать по данному показателю пюре из плодов шиповника следующим образом: Образец № 3 (0,96 балла) > № 4 (0,92 балла) > № 1 (0,84 балла) > № 2 (0,72 балла).

Вкус и послевкусие Образца № 3 кисло-сладкие, сбалансированные, хорошо выраженные

Таблица 6. Влияние продолжительности хранения пюре из плодов шиповника на органолептическую оценку, балл

Table 6. Effect of storage time on sensory profile of rose hip puree

Показатель	Срок хранения, месяц			
	0	12	24	28
Из свежих плодов				
Внешний вид	0,48 ± 0,04	0,46 ± 0,05	0,42 ± 0,04	0,40 ± 0,00
Цвет	0,50 ± 0,00	0,45 ± 0,05	0,42 ± 0,04	0,40 ± 0,00
Консистенция	1,50 ± 0,00	1,44 ± 0,12	1,32 ± 0,15	1,26 ± 0,12
Запах	0,96 ± 0,08	0,92 ± 0,10	0,84 ± 0,08	0,80 ± 0,00
Вкус	1,50 ± 0,00	1,44 ± 0,12	1,38 ± 0,15	1,32 ± 0,15
Из сушеных плодов				
Внешний вид	0,46 ± 0,05	0,44 ± 0,05	0,40 ± 0,00	0,38 ± 0,04
Цвет	0,44 ± 0,05	0,42 ± 0,04	0,40 ± 0,00	0,38 ± 0,04
Консистенция	1,44 ± 0,12	1,38 ± 0,15	1,26 ± 0,12	1,20 ± 0,00
Запах	0,92 ± 0,10	0,84 ± 0,08	0,80 ± 0,00	0,76 ± 0,08
Вкус	1,44 ± 0,12	1,32 ± 0,15	1,26 ± 0,12	1,20 ± 0,00

и свойственные плодам шиповника, а в послевкусии Образца № 4 отмечаются тона плодов, прошедших тепловую обработку. Вкус и послевкусие Образца № 1 отличаются несбалансированностью и присутствием тонов плодов, прошедших тепловую обработку, а № 2 – тонов плодов, прошедших длительную тепловую обработку. Данные таблицы 3 позволяют проранжировать по данному показателю пюре из плодов шиповника следующим образом: Образец № 3 (1,50 балла) > № 4 (1,44 балла) > № 1 (1,26 балла) > № 2 (1,02 балла).

Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что наилучшими органолептическими характеристиками отличаются Образцы № 3 и 4, т. е. полученные с использованием механоакустического аппарата. Образцы № 1, 3 и 4 относятся к отличной категории качества (4,16, 4,94 и 4,70 баллов соответственно), № 2 – хорошей (3,64 балла).

Данные таблицы 4 свидетельствуют о том, что Образцы № 3 и 4 (полученные с использованием механоакустического аппарата) содержат больше основных нутриентов, чем № 1 и 2 (полученные по классической технологии). Это можно объяснить количеством технологических операций производства. Образцы № 1 и 3 (полученные из свежих плодов шиповника) содержат больше основных нутриентов, чем № 2 и 4 (полученные из обезвоженных плодов). Образец № 3 содержит на 2,5 % больше сахаров, органических кислот и минеральных веществ, чем Образец № 1, но по содержанию белков и жиров отличия находятся в пределах ошибки опыта. Образец № 2 содержит на 4,6, 5,3, 7,5 и 5,1 % меньше сахаров, белков, органических кислот и минеральных веществ соответственно, чем № 4, но по содержанию жиров отличия находятся в пределах ошибки опыта.

Как видно из данных таблицы 5, пюре, полученное из свежих плодов (Образцы № 1 и 3), содержит больше биологически активных веществ, чем из сушеных

(Образцы № 2 и 4). Продукция, полученная на механоакустическом аппарате (Образцы № 3 и 4), содержит больше биологически активных веществ, чем выработанная по классической технологии (Образцы № 1 и 2). Пюре из плодов шиповника по содержанию биологически активных веществ ранжируются следующим образом: Образец № 3 > № 1 > № 4 > № 2. Продукция, выработанная из свежих плодов шиповника, превышает продукцию из сушеных плодов в 2,2 раза по содержанию пищевых волокон, в 3,2, 10,2 и 4,6 раза в аскорбиновой кислоте, сумме фенольных веществ и β -каротине соответственно.

Проведены исследования по обоснованию срока годности пюре из плодов шиповника, полученного с использованием механоакустического оборудования. Пюре разливались в стеклянные банки типа I с номером венчика горловины 82 мм и вместимостью 500 см³, укупоривались крышками типоразмера 1-82-С. Хранились при температуре не выше 25 °С и относительной влажности воздуха не более 75 % в защищенном от прямых солнечных лучей месте в течение 28 месяцев (с учетом коэффициента резерва 1,15 согласно МУК 4.2.1847-04).

Данные таблиц 6–8 свидетельствуют о том, что при хранении пюре из плодов шиповника наблюдали снижение их качественных характеристик.

Из данных таблицы 6 видно, что в процессе хранения пюре из плодов шиповника происходили изменения органолептических показателей продукции. По показателям «внешний вид», «цвет» и «запах» снижение баллов к концу хранения составило около 17,0 %, «консистенция» – 16,3 %, «вкус» – 14,3 %. Продукция к концу исследуемого срока хранения теряла свою однородность, т. к. происходило отделение жидкости и едва заметное потемнение поверхностного слоя, консистенция становилась тягучей, запах – слабее, а вкус терял свою гармоничность. На протяжении 28 месяцев пюре из

Таблица 7. Влияние продолжительности хранения пюре из плодов шиповника на содержание основных пищевых веществ

Table 7. Effect of storage time on nutritional value of rose hip puree

Показатель, %	Срок хранения, месяц			
	0	12	24	28
Из свежих плодов				
Массовая доля растворимых сухих веществ	60,0 ± 0,5	59,5 ± 0,6	58,7 ± 0,5	58,2 ± 0,6
Массовая доля сахаров	32,6 ± 0,7	32,2 ± 0,5	31,6 ± 0,6	31,4 ± 0,4
Массовая доля белков	2,4 ± 0,3	2,3 ± 0,4	2,1 ± 0,3	2,0 ± 0,2
Массовая доля жиров	1,1 ± 0,3	1,1 ± 0,3	1,1 ± 0,2	1,0 ± 0,2
Массовая доля органических кислот (по яблочной)	5,44 ± 0,08	5,02 ± 0,06	4,54 ± 0,06	4,3 ± 0,07
Массовая доля золы	3,32 ± 0,15	3,27 ± 0,14	3,18 ± 0,16	3,15 ± 0,12
Из сушеных плодов				
Массовая доля растворимых сухих веществ	60,0 ± 0,5	59,6 ± 0,5	59,0 ± 0,6	58,7 ± 0,6
Массовая доля сахаров	40,8 ± 0,8	40,5 ± 0,6	39,6 ± 0,5	39,5 ± 0,6
Массовая доля белков	2,0 ± 0,4	1,9 ± 0,3	1,8 ± 0,2	1,7 ± 0,2
Массовая доля жиров	0,8 ± 0,3	0,8 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,2
Массовая доля органических кислот (по яблочной)	3,3 ± 0,06	3,17 ± 0,05	2,97 ± 0,06	2,86 ± 0,05
Массовая доля золы	1,44 ± 0,14	1,41 ± 0,07	1,38 ± 0,09	1,37 ± 0,09

Таблица 8. Влияние продолжительности хранения пюре из плодов шиповника на содержание биологически активных веществ

Table 8. Effect of storage time on biologically active profile of rose hip puree

Показатель	Срок хранения, месяц			
	0	12	24	28
Из свежих плодов				
Массовая доля пищевых волокон, %	9,28 ± 0,24	9,23 ± 0,18	9,19 ± 0,22	9,09 ± 0,19
Массовая доля аскорбиновой кислоты, мг/100 г	2609 ± 62	2309 ± 59	2022 ± 55	1799 ± 47
Массовая доля суммы фенольных веществ, мг/100 г	2184 ± 22	2022 ± 28	1899 ± 29	1835 ± 32
Массовая доля β -каротина, мг/100 г	106,70 ± 1,57	102,47 ± 1,24	93,84 ± 1,64	91,22 ± 1,53
Из сушеных плодов				
Массовая доля пищевых волокон, %	4,37 ± 0,27	4,34 ± 0,20	4,29 ± 0,22	4,27 ± 0,21
Массовая доля аскорбиновой кислоты, мг/100 г	680 ± 37	637 ± 42	540 ± 39	476 ± 41
Массовая доля суммы фенольных веществ, мг/100 г	204 ± 27	198 ± 24	187 ± 21	180 ± 19
Массовая доля β -каротина, мг/100 г	23,24 ± 0,32	22,26 ± 0,24	21,07 ± 0,39	20,68 ± 0,45

свежих плодов шиповника относилось к «отличной» категории качества (4,18 баллов), из обезвоженных плодов – на протяжении 24 месяцев к «отличной» (4,12 баллов), 28 месяцев к «хорошей» (3,92 балла).

Из данных таблицы 7 видно, что в процессе хранения происходит снижение содержания основных нутриентов в продукции независимо от свежие или сушеные плоды были использованы. Потери растворимых сухих веществ, сахаров, белков, жиров, органических кислот и золы к концу 24 месяцев хранения составили 2, 3, 11, 6, 13 и 4 %

соответственно, а по истечении 28 месяцев – 2,6, 3,5, 15,9, 10,8, 17,2 и 5,0 % соответственно.

Данные таблицы 8 свидетельствуют о том, что в процессе хранения содержание биологически активных веществ снижалось. Большим потерям в процессе хранения подвержена аскорбиновая кислота: 21,6 % после 24 месяцев хранения, 30,5 % после 28 месяцев. Сохранность фенольных веществ и β -каротина сопоставима и составила после 24 месяцев хранения 89,2 и 89,5 %, после 28 месяцев – 86,0 и 87,2 % соответственно. Наименьшим потерям в процессе хранения пюре из плодов шиповника подвержены

Таблица 9. Влияние продолжительности хранения пюре из плодов шиповника на микробиологические показатели

Table 9. Effect of storage time on microbiological profile of rose hip puree

Показатель	Срок хранения, месяц			
	0	12	24	28
Из свежих плодов				
КМАФАнМ, КОЕ/г	2,27×10	Нет роста	Нет роста	1,36×10
Плесени, КОЕ/г	Нет роста	Нет роста	Нет роста	Нет роста
Дрожжи, КОЕ/г	Нет роста	Нет роста	Нет роста	Нет роста
БГКП (колиформы)	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Бактерии рода <i>Salmonella</i>	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
<i>Staphylococcus</i>	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
<i>Proteus</i>	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Из сушеных плодов				
КМАФАнМ, КОЕ/г	1,82×10	Нет роста	Нет роста	Нет роста
Плесени, КОЕ/г	Нет роста	Нет роста	Нет роста	Нет роста
Дрожжи, КОЕ/г	Нет роста	Нет роста	Нет роста	Нет роста
БГКП (колиформы)	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
Бактерии рода <i>Salmonella</i>	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
<i>Staphylococcus</i>	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
<i>Proteus</i>	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено

пищевые волокна: после 24 месяцев хранения потери составили 1,4 %, после 28 месяцев 2,1 %.

Для обоснования срока годности пюре из плодов шиповника проведены исследования микробиологических показателей (согласно ТР ТС 021/2011). Результаты исследований представлены в таблице 9.

Проведенные исследования микробиоты пюре из свежих плодов шиповника, полученного в механоакустическом аппарате, показали снижение на три порядка численности колониеобразующих единиц, определяющих безопасность использования продукта, – мезофильно-аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, а также гибель микроорганизмов, отнесенных к группе «порчи», – дрожжей и плесневых грибов в сравнении с микробиотой свежих ягод. Не выявлены неспорообразующие микроорганизмы: бактерии группы кишечных палочек, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Proteus* и др. из-за своей невысокой термоустойчивости. Количественное присутствие остаточной микрофлоры соответствовало норме, т. е. допустимое количество клеток микроорганизмов в 1 г продукта, не нарушающее его микробиологической стабильности в процессе хранения и не представляющее опасности для здоровья человека, составляет до 10³. Дальнейшее хранение в анаэробных условиях – в герметично укупоренной упаковке – способствовало гибели остаточной микрофлоры, т. е. микробиологические исследования показали отсутствие роста по всем нормируемым показателям.

Тестирование микробиоты пюре из сушеных плодов шиповника, полученного механоакустическим методом, показало полное уничтожение всех жизнеспособных микроорганизмов в сравнении с микробиотой используемых сушеных плодов

шиповника. Исследование микробиоты по установленным срокам хранения показало отсутствие роста по всем нормируемым показателям.

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- использование механоакустического аппарата позволяет получить пюре из плодов шиповника (свежих или сушеных) органолептические характеристики (на 30 %) и содержание основных нутриентов и биологически активных веществ (сахаров, белков, свободных органических кислот, минеральных веществ, пищевых волокон и β-каротина на 10 %, суммы фенольных веществ на 20 %, аскорбиновой кислоты на 40 %) которого выше, чем у продукции, полученной по классической технологии;
- срок годности пюре из плодов шиповника составляет 24 месяца при хранении в стеклянных банках типа I с номером венчика горловины 82 мм и вместимостью 500 см³, укупоренных крышками типоразмера 1-82-С, с температурой и относительной влажности воздуха не выше 25 °С и 75 % соответственно в защищенном от прямых солнечных лучей месте.

Полученные в работе результаты дополняют и расширяют теоретическую и практическую базу по использованию механоакустического оборудования при разработке технологии производства пюре из плодов шиповника с высокой пищевой ценностью, которые в дальнейшем будут полезны для трансформирования в производственных условиях.

Критерии авторства

О. В. Голуб руководила работой. Все авторы принимали участие в исследованиях, обработке данных и написании текстов.

Contribution

O.V. Golub supervised the research. All the authors were involved in research, data processing and writing.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Demidova AV, Makarova NV. Stability of phenolic compounds and antioxidant activity during enzymatic treatment of cherry puree. *Problems of Nutrition*. 2016;85(S2).

Демидова А. В., Макарова Н. В. Стабильность фенольных соединений, антиоксидантной активности во время ферментной обработки вишневого пюре // *Вопросы питания*. 2016. Т. 85. № S2.

2. Golub OV, Kovalevskaya IN, Gaberman TS, Romanovskaya IV. The development of technology of canned foods from gooseberry. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2010;18(3):40–44.

Разработка консервированной продукции из ягод крыжовника / О. В. Голуб [и др.] // *Техника и технология пищевых производств*. 2010. Т. 18. № 3. С. 40–44.

3. Roshchyna AV, Grigorieva RZ, Baranets SYu, Davydenko NI, Kurakin MS. Shock freezing of bakery products using non-traditional raw materials at public catering establishments. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(3):439–449. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-439-449>

4. Blanco Canalis MS, Baroni MV, León AE, Ribotta PD. Effect of peach puree incorporation on cookie quality and on simulated digestion of polyphenols and antioxidant properties. *Food Chemistry*. 2020;333. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127464>

5. Dachmann E, Hengst C, Ozcelik M, Kulozik U, Dombrowski J. Impact of hydrocolloids and homogenization treatment on the foaming properties of raspberry fruit puree. *Food and Bioprocess Technology*. 2018;11(12):2253–2264. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2179-1>

6. Niu H, Yuan L, Zhou H, Yun Y, Li J, Tian J, *et al.* Comparison of the effects of high pressure processing, pasteurization and high temperature short time on the physicochemical attributes, nutritional quality, aroma profile and sensory characteristics of passion fruit purée. *Foods*. 2022;11(5). <https://doi.org/10.3390/foods11050632>

7. Timmermans R, Hayrapetyan H, Vollebregt M, Dijksterhuis J. Comparing thermal inactivation to a combined process of moderate heat and high pressure: Effect on ascospores in strawberry puree. *International Journal of Food Microbiology*. 2020;325. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108629>

8. Zhdanov DA, Kurkin VA, Braslavsky VB, Agapov AI. Actual aspects of quality control and standardization of rosehip fruits. *Drug Development and Registration*. 2021;10(3):167–175. (In Russ.). <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-3-167-175>

9. Aleksashina SA, Makarova NV, Demenina LG. Antioxidant potential of wild rose. *Problems of Nutrition*. 2019;88(3):84–89. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10033>

10. Pozdnyakova OG, Zaharenko MA, Nazimova EV, Romanov AS. Technological aspects of obtaining extract from rose hips and its use in bread production. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2019;33(12):102–106. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11222>

11. Ayati Z, Amiri MS, Ramezani M, Delshad E, Sahebkar A, Emami SA. Phytochemistry, traditional uses and pharmacological profile of rose hip: A review. *Current Pharmaceutical Design*. 2018;24(35):4101–4124. <https://doi.org/10.2174/1381612824666181010151849>

12. Mannozi C, Foligni R, Scalise A, Mozzon M. Characterization of lipid substances of rose hip seeds as a potential source of functional components: A review. *Italian Journal of Food Science*. 2020;32(4):721–733. <https://doi.org/10.14674/IJFS.1867>

13. Nađpal JD, Lesjak MM, Mrkonjić ZO, Majkić TM, Četojević-Simin DD, Mimica-Dukić NM, *et al.* Phytochemical composition and in vitro functional properties of three wild rose hips and their traditional preserves. *Food Chemistry*. 2018;241:290–300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.111>

14. Patel S. Rose hip as an underutilized functional food: Evidence-based review. *Trends in Food Science and Technology*. 2017;63:29–38. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.03.001>

15. Sherbinin VV, Motovilov OK, Golub OV, Davydenko NI. Antioxidant activity of semi-finished dried rose hips. *AIP Conference Proceedings*. 2021;2419. <https://doi.org/10.1063/5.0069225>

16. Westphal A, Schwarzenbolz U, Böhm V. Effects of high pressure processing on bioactive compounds in spinach and rosehip puree. *European Food Research and Technology*. 2018;244(3):395–407. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-2964-5>
17. Sukhorska OP, Slyvka NB, Bilyk OYa. Analysis of main sources of bioflavonoids the creation of products of medical and prophylactic appointment. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. 2017;19(80):107–110. (In Ukr.).
Сухорская О. П., Сливка Н. Б., Билык О. Я. Анализ основных растительных источники биофлавоноидов для создания продуктов лечебно-профилактического назначения // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. 2017. Т. 19. № 80. С. 107–110. (На укр.).
18. Igual M, Chiş MS, Păucean A, Vodnar DC, Muste S, Man S, et al. Valorization of rose hip (*Rosa canina*) puree co-product in enriched corn extrudates. *Foods*. 2021;10(11). <https://doi.org/10.3390/foods10112787>
19. Kielczewska K, Pietrzak-Fiećko R, Nalepa B. Acid whey-based smoothies with probiotic strains. *Journal of Elementology*. 2020;25(4):1435–1448. <https://doi.org/10.5601/jelem.2020.25.3.2018>
20. Mamayeva LA, Zhumaliyeva GE, Muratbekova KM, Yerbulekova MT. Influence of fruit vintage on physical and chemical indexes of cacks. *Science News of Kazakhstan*. 2029;142(4):146–153. (In Russ.).
Влияние плодов шиповника на физико-химические показатели кексов / Л. А. Мамаева [и др.] // Новости науки Казахстана. 2019. Т. 142. № 4. С. 146–153.
21. Rogachev VI. Manual of fruit and vegetable production. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost'; 1984. 408 p. (In Russ.).
Справочник технолога плодоовощного производства / под ред. В. И. Рогачева. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 408 с.
22. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 1999;299:152–178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
23. 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/10.21603/2074-9414-2022-2-2366>
<https://elibrary.ru/RQDYU>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Датчики цвета в «интеллектуальной упаковке» пищевых продуктов



Р. В. Крюк^{1,*}, М. Г. Курбанова¹, А. Ю. Колбина¹,
К. Б. Плотников¹, И. Б. Плотников¹,
А. Н. Петров^{2,3}, Мохаммед Эль Амин Хелеф³

¹ Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности^{ROR}, Москва, Россия

³ Московский государственный университет пищевых производств^{ROR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 04.02.2022

Принята после рецензирования: 30.03.2022

Принята в печать: 24.05.2022

*Р. В. Крюк: roman.kryuk.94@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0001-5884-8598>

М. Г. Курбанова: <https://orcid.org/0000-0003-0563-1007>

А. Ю. Колбина: <https://orcid.org/0000-0002-5986-1716>

К. Б. Плотников: <https://orcid.org/0000-0003-4145-0027>

И. Б. Плотников: <https://orcid.org/0000-0002-0149-1724>

А. Н. Петров: <https://orcid.org/0000-0001-9879-482X>

Мохаммед Эль Амин Хелеф: <https://orcid.org/0000-0002-9371-7670>

© Р. В. Крюк, М. Г. Курбанова, А. Ю. Колбина, К. Б. Плотников,
И. Б. Плотников, А. Н. Петров, М. Э. А. Хелеф, 2022



Аннотация.

Качество пищевой продукции зависит от соблюдения не только технологических параметров процесса производства, но и условий хранения. Применение интеллектуальной упаковки позволяет контролировать условия хранения и отслеживать нарушения. Целью работы является обзор типов и функций датчиков и их использование при хранении пищевых продуктов.

Объектом исследования являлась общедоступная информация об интеллектуальной упаковке для пищевых продуктов, снабженной датчиками и индикаторами. Информация была получена из открытых источников. Обзор литературы охватывает временной промежуток с 2016 по 2021 гг.

В работе были рассмотрены биосенсоры, химические датчики и индикаторы, которые позволяют определять некоторые характеристики пищевых продуктов и предоставляют информацию производителю, розничному продавцу и потребителю. В результате проведенных аналитических исследований было установлено, что наиболее перспективными из рассматриваемых датчиков, применяемых в интеллектуальной упаковке, являются индикаторы. Данный тип датчиков указывает на присутствие и концентрацию различных аналитов посредством изменения цвета. Среди большого разнообразия индикаторов можно выделить наиболее перспективные – радиочастотные (RFID), идентификаторы яда, индикаторы уплотнения (утечки) и свежести или спелости. Все рассмотренные индикаторы используют изменение цвета, что позволяет судить о качестве пищевых продуктов, представленных на рынке.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что развитие технологий интеллектуальной упаковки с применением датчиков и индикаторов является перспективным направлением, поскольку они позволяют отслеживать и контролировать качество продукции. Применение датчиков в интеллектуальной упаковке позволит потребителям самим проверять свежесть продуктов и контролировать их годность.

Ключевые слова. Детекторы, индикаторы, хранение продуктов, биосенсоры, безопасность пищевых продуктов

Для цитирования: Датчики цвета в «интеллектуальной упаковке» пищевых продуктов / Р. В. Крюк [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 321–333. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2366>

Color Sensors in Smart Food Packaging

Roman V. Kryuk^{1,*}, Marina G. Kurbanova¹,
Anastasia Yu. Kolbina¹, Konstantin B. Plotnikov¹,
Igor B. Plotnikov¹, Andrey N. Petrov^{2,3}, Mohammed El Amine Khelef³

¹ Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

² All-Russian Scientific Dairy Research Institute^{ROR}, Moscow, Russia

³ Moscow State University of Food Production^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 04.02.2022

Revised: 30.03.2022

Accepted: 24.05.2022

*Roman V. Kryuk: roman.kryuk.94@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5884-8598>

Marina G. Kurbanova: <https://orcid.org/0000-0003-0563-1007>

Anastasia Yu. Kolbina: <https://orcid.org/0000-0002-5986-1716>

Konstantin B. Plotnikov: <https://orcid.org/0000-0003-4145-0027>

Igor B. Plotnikov: <https://orcid.org/0000-0002-0149-1724>

Andrey N. Petrov: <https://orcid.org/0000-0001-9879-482X>

Mohammed El Amine Khelef: <https://orcid.org/0000-0002-9371-7670>

© R. V. Kryuk, M. G. Kurbanova, A. Yu. Kolbina, K. B. Plotnikov,
I. B. Plotnikov, A. N. Petrov, M. E. A. Khelef, 2022



Abstract.

The quality of food products depends not only on the technological parameters of production process, but also on storage conditions. Smart packaging controls storage conditions and tracks violations. The research objective was to review the use of sensors in food storage.

The study featured publically available information on sensor-equipped smart food packaging. The information was obtained from open sources published in 2016–2021.

The paper describes biosensors, chemical sensors, and indicators that determine some of the characteristics of food products and provide information to the producer, retailer, and consumer. Indicators proved to be the most promising type of sensors used in smart packaging. This type of sensor indicates the presence and concentration of various analytes through color change. The best indicators are those based on radio frequency (RFID), poison identifiers, compaction/leaks indicators, indicators of freshness/ripeness, etc. All the considered indicators visualize their data by changing color, which makes it possible to assess the quality of food products on the market.

Sensor-based smart packaging is a promising direction in food industry because they make it possible to monitor and control product quality. Smart packaging allows consumers to check the freshness of products by themselves.

Keywords. Detectors, indicators, food storage, biosensors, food safety

For citation: Kryuk RV, Kurbanova MG, Kolbina AY, Plotnikov KB, Plotnikov IB, Petrov AN, *et al.* Color Sensors in Smart Food Packaging. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):321–333. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2366>

Введение

Государственная политика в области развития технологий предполагает инновационный путь становления агропромышленного комплекса, связанного с проблемой сохранения качества, экологии окружающей среды и безопасности пищевых продуктов. Такое решение должно рассматриваться с позиции развития современной технологии упаковки и упаковочных систем.

Постоянное совершенствование систем упаковки привело к созданию новых видов. Перспективным

является создание и применение интеллектуальной упаковки, которая призвана анализировать влияние окружающей среды на состояние продукта и информировать об этом потребителя, отслеживать и контролировать изменения условий хранения, показателей качества и безопасности упакованного продукта до его реализации. Такая упаковка содержит интеллектуальные вещества – детекторы и сенсорные датчики, осуществляющие функции контроля в процессе хранения и информирования потребителя о состоянии продукта по

различным показателям. За рубежом и в нашей стране начинает развиваться производство экологически чистой биоразлагаемой упаковки для сохранения экосистемы мира [1–3].

Ежедневно растет желание потребителей иметь легкодоступные высококачественные продукты питания. Производство упаковки влияет на выпуск свежих продуктов и сокращение пищевых отходов за счет использования новых материалов и методов [4, 5]. Пищевая упаковка была разработана для защиты продуктов питания от тепла, света, влаги, кислорода, микроорганизмов, насекомых и пыли. Биоразлагаемые пленки для интеллектуальной упаковки пищевых продуктов – один из новых методов в этой области [6].

Большинство синтетических полимеров нефтяного происхождения, таких как полиолефины, нейлоны, полистирол и т. д., устойчивы к биологическому разложению, а их углеродные соединения не разрушаются ферментами микроорганизмов. Гидрофобность и низкая площадь поверхности полимеров, по сравнению с их высокой молекулярной массой, делают синтетические полимеры устойчивыми к воздействию ферментов микроорганизмов. Биоразлагаемые полимеры – это полимеры, разлагаемые в окружающей среде живыми организмами на натуральные продукты, такие как вода, диоксид углерода и биомасса, или ферменты [6]. Биополимеры, которые используются в упаковочной промышленности, можно разделить на четыре категории в зависимости от химической структуры:

1) белки – кукурузная шелуха, глютен, желатин, коллаген, мясная миофибрилла, молочный казеин, сывороточные белки, молоко и т. д.;

2) полисахариды – целлюлоза и ее производные (метилцеллюлоза и карбоксиметилцеллюлоза), крахмал и его производные, пектиновые соединения, хитин и хитозан, камеди (альгинат, каррагинан, ксантан и т. д.);

3) липиды – растительные и животные жиры и масла, воски, производные глицеридов;

4) полиэфиры – полимолочная кислота.

Биополимеры в сочетании с синтетическими полимерами или без них используются для производства биологической упаковки. Биопакеты, изготовленные из чистых биополимеров, обладают более высокой способностью к биоразложению, чем композитные пленки, но их механическое качество ниже. Биопакеты можно разделить на съедобные и несъедобные.

С ростом потребительского спроса на безопасные высококачественные свежие продукты возрастает потребность в умной упаковке на основе цветных индикаторов [7, 8]. В последние годы в европейских странах были проведены исследования в области подготовки и использования пленок для цветных

индикаторов, для производства которых необходимо использовать более чувствительные красители. Натуральные красители имеют преимущества перед синтетическими химическими красителями, потому что они более чувствительны к изменениям окружающей среды [9–11].

Целью работы является обсуждение типов и функций датчиков и их применение при хранении пищевых продуктов и идентификации пищевых новинок, а также характеристики, связанные с изменением цвета пищевых пленок.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования является общедоступная научная информация, поиск которой осуществлялся в базах данных PubMed от National Center for Biotechnology Information (США) и Elsevier (Scopus, ScienceDirect), на платформе Web of Science и отечественной электронной библиотеке eLibrary.ru. Глубина поиска составляла 10 лет, язык поиска – английский и русский.

Результаты и их обсуждение

Интеллектуальная упаковка и датчики цвета.

Умная упаковка – это тип упаковки, который контролирует некоторые характеристики содержимого пищевых продуктов и предоставляет информацию производителю, розничному продавцу и потребителю в процессе хранения и передачи продуктов питания [12]. В более точном определении интеллектуальная упаковка относится к системе, которая способна создавать, получать, записывать и обмениваться данными между продуктом и потребителем. Интеллектуальные системы создают условия для увеличения срока хранения, высокого уровня безопасности и хорошего качества продукции. Примеры методов, которые зависят от интеллектуальной системы упаковки, включают индексы температуры, времени и учета газа, этикетки и радиочастоты [13]. Эти методы позволяют определять внешний вид продукта, его качество и условия хранения [14].

Чтобы разработать коммерческое применение этой технологии, работникам пищевой промышленности необходимо знать о ее преимуществах. Типы интеллектуальной упаковки включают упаковку, основанную на измерении внешних условий или на прямом измерении качества пищевых продуктов внутри упаковки [15]. Индикаторы интеллектуальной упаковки либо встраиваются в виде этикеток на упаковочные материалы, либо печатаются на самой упаковке, чтобы повысить доступность за счет мониторинга качества продукта [16]. Датчики могут использоваться для определения физических, химических или биологических переменных. Детекторы предоставляют информацию о качестве продукта в зависимости от условий

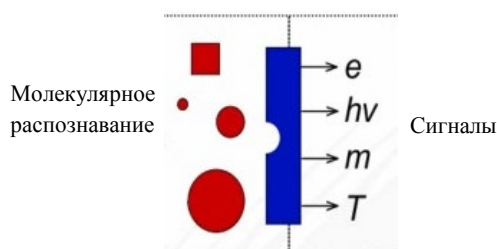


Рисунок 1. Схема химического сенсора:
e – электрический заряд; hv – кислотность;
m – молекулярная масса; T – температура

Figure 1. Chemical sensor: e – electric charge; hv – acidity;
m – molecular weight; T – temperature

окружающей среды и пищевых газов в помещении. Детекторы также могут быть прикреплены к закрытой поверхности пищевых продуктов, что ускоряет обнаружение метаболитов, образующихся при хранении [17].

В основе активной упаковки лежит использование внутренних свойств полимеров или размещение специальных материалов. Активный агент можно добавлять в упаковочную пленку или размещать на поверхности и внутри ее многослойной структуры. Его также можно использовать внутри небольших упаковок как этикетку или на крышке бутылок [18]. Природа активных агентов разная и включает в себя органические кислоты, ферменты, антибактериальные и противогрибковые соединения, натуральные экстракты. К наиболее важным активным системам относятся системы адсорбции кислорода, выделения и адсорбции диоксида углерода, регулирования влажности, высвобождения антиоксидантов и антимикробных препаратов, высвобождения или абсорбции ароматизирующих веществ и запахов [19]. Активная упаковка относится к упаковке, которая, помимо преимуществ традиционной упаковки, изменяет ее условия, чтобы продлить срок годности или улучшить безопасность и сенсорные свойства пищевого продукта при сохранении его качества [20].

Биосенсоры. При разработке современной интеллектуальной упаковки используют биосенсоры для обнаружения, записи и передачи информации о биологических реакциях. Биосенсоры включают биорецепторы и преобразователи. Коммерческие биосенсоры были разработаны для пищевых патогенов. Некоторые антитела связываются с рецепторами биосенсоров и обнаруживают микробные и биологические агенты в пищевых упаковках [21].

Химические сенсоры. В химическом датчике приёмник представляет собой избирательный химический материал, который способен обнаруживать присутствие, активность, состав и концентрацию химических частиц или газоаналитов [22]. Присутствие химикатов преобразовывается

в сигнал. Активные и пассивные преобразователи зависят от внешнего источника питания, необходимого для измерения. Углеродные наноматериалы, такие как наночастицы, графен, нанотрубки и нановолокна, используются в химических сенсорах из-за их электрических и механических свойств с высокой удельной поверхностью [23]. На рисунке 1 представлена простая схема химических сенсоров.

Датчики на основе наноматериалов используются для обнаружения патогенов, химических загрязнителей, порчи и подделки пищевых продуктов.

Индикаторы. При разработке новых видов интеллектуальной упаковки приходится выбирать персонализированные индикаторы. Индикаторы – это материалы или инструменты, которые указывают на присутствие, отсутствие и концентрацию различных аналитов посредством изменения свойств. Например, изменение цвета [24].

Разработка интеллектуальной упаковочной системы с точки зрения температурно-временных показателей – уникальный метод в упаковочной технологии, т. к. потребитель может определять несоответствующую температуру пищевых продуктов [25]. Особенно индикаторы времени и температуры важны для охлажденных и замороженных пищевых продуктов, поскольку хранение, транспортировка и распространение оказывают влияние на их качество и безопасность [26]. Если пища подвергается воздействию высоких температур, то она может быстро испортиться. Идентификатор температуры и времени может быть размещен на пищевых контейнерах или отдельных упаковках в виде небольшой этикетки. Когда эти детекторы находятся в неприемлемом состоянии, происходит необратимое изменение, такое как изменение цвета [27]. Технология индикатора временной температуры используется в Великобритании [28].

Индикатор срока годности используется для измерения срока годности упаковки пищевых продуктов при определенной температуре. Эти индикаторы предоставляют информацию о времени первого открытия или первого использования продукта. Срок годности важен для многих групп продуктов, которые должны храниться при низких положительных температурных режимах. Например, соусы, кетчуп, майонез и т. д. [29].

Немаловажно использовать для вариативности визуальные индикаторы, цвет которых меняется в ответ на тепловое воздействие, а их основной механизм действия – химическая диффузия, полимеризация и ферментативные реакции. Эти индикаторы используются для защиты от несоответствующих температур во время транспортировки и хранения и являются признаком качества для производителя, поскольку подтверждают, что продукт доставляется потребителю в оптимальных условиях.

Система индикаторов, на которую стоит обратить внимание, – это радиочастоты (RFID), используемые для автоматического обнаружения и отслеживания продукта. В системе записи RFID индикатор получает данные из сигнала RFID, излучаемого радиоволнами, которые затем передаются на компьютер для анализа. Фрагмент RFID состоит из микрочипа, подключенного к антенне [30].

При разработке интеллектуальной упаковки основной проблемой является присутствие патогенных микроорганизмов в пище в очень низких концентрациях, которые неравномерно распределяются по продукту [31]. Поэтому необходимо использовать высокочувствительный и безопасный для продукта идентификатор яда, который находится в полном контакте с пищей.

Для разработки индикатора уплотнения (утечки) упаковки используют газ. Состав газа в упаковке для пищевых продуктов изменяется в результате активности продукта или утечки извне. Это часто приводит к изменению характеристик продуктов и условий окружающей среды. Индикаторы O_2 и CO_2 могут использоваться для контроля качества продуктов питания как индикатор герметичности/утечки для оценки эффективности абсорбентов кислорода. Изменение цвета индикаторов O_2 и CO_2 является результатом химических или ферментативных реакций и указывает на то, что в запечатанной упаковке слишком много накопленного кислорода. Основная проблема этих показателей заключается в том, что хранение упакованного продукта должно осуществляться в анаэробных условиях, поскольку он быстро портится в присутствии воздуха [32, 33].

Индикатор свежести или спелости указывает на порчу упакованных продуктов. Современные детекторы предоставляют информацию о качестве роста микробов или химических изменениях в продукте [34]. Качество микробов определяется реакциями, которые происходят между детекторами в упаковке и метаболитами роста микробов. Обнаружение химической порчи пищевых продуктов обеспечивается за счет новейших детекторов, которые разработаны на основе целевых метаболитов, связанных с микробиологической деградацией. Существует несколько типов индикаторов свежести, которые основаны на изменении цвета в ответ на микробные метаболиты, образующиеся в процессе порчи [35]. Реакцию этих индикаторов на свежесть продукта можно измерить, отслеживая изменения цвета. Цвет активного центра этих индикаторов сравнивается с эталонным цветом. Маркеры обнаруживают различные летучие соединения, такие как диацетил, амины, диоксид углерода, аммиак и сероводород, которые образуются при хранении пищевых продуктов. Также они широко используются в качестве детекторов метаболизма микробов.

Изменения концентрации сероводорода или органических кислот, таких как N-бутират, L-молочная кислота, D-лактат и уксусная кислота, во время хранения используются в качестве специфических маркеров для мясных продуктов, фруктов и овощей. Соединения, образующиеся при росте микробов (углекислый газ и сероводород), и биогенные амины указывают на свежесть мяса и рыбы. Биогенные амины (путресцин, кадаверин, гистамин и др.) образуются при расщеплении белка в продуктах, содержащих амины. Поэтому они являются индикатором деградации пищевых продуктов и косвенным индикатором свежести мяса и рыбы [36, 37]. На рисунке 2 показан пример применения индикатора свежести в упаковке продуктов питания.

Факторы, влияющие на порчу фруктов и овощей и работоспособность датчиков цвета. Свежие фрукты и овощи являются продуктами, для которых требуются контролируемые условия транспортировки от производства до потребления для поддержания качества и безопасности, а также увеличения срока хранения. Эти продукты относятся к живым продуктам, которые постоянно потребляют кислород и выделяют углекислый газ после сбора урожая. На послеуборочный процесс порчи влияют внутренние факторы урожая, стадия созревания, условия обработки и факторы окружающей среды. Температура является наиболее важным фактором, который можно использовать для замедления процесса порчи фруктов и овощей, поскольку она сильно влияет на процесс дыхания, выработку этилена и скорость транспирации. Повышение температуры на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ увеличивает скорость дыхания в 2–3 раза. Однако некоторые культуры, такие как бананы, лимоны и манго, подвергаются физиологическому повреждению при низких температурах. Большинство изделий получает непоправимый ущерб при температуре ниже $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поэтому для них важен контроль и мониторинг температуры на всех этапах распределения и хранения [38].

Спелые продукты – это термин, используемый для описания физиологических изменений фруктов и овощей. Процесс созревания улучшает текстуру и сенсорные свойства фруктов, делая их пригодными для употребления в пищу. Созревание фруктов и овощей увеличивает сладость (из-за разложения органических кислот и превращения крахмала в сахара), снижает прочность (из-за исчезновения набухания клеток, превращения пектинов и разрушения компонентов клеточной стенки) и усиливает вкус (из-за образования ароматических летучих соединений). Потребители могут использовать изменение цвета, чтобы выбрать спелые фрукты (например, бананы, авокадо, помидоры). Однако спелость таких фруктов, как киви и большинство видов груш визуально не определяется. Для определения спелости

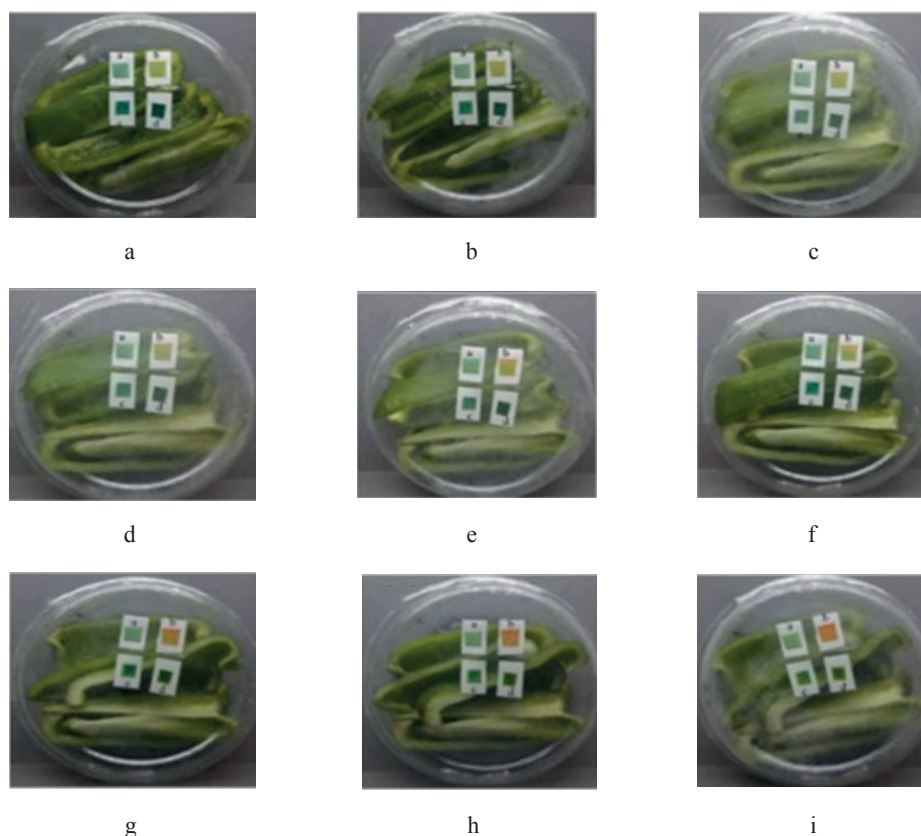


Рисунок 2. Применение индикатора свежести в пищевой упаковке:

а – свежий продукт, б – 1 неделя хранения, с – 3 недели хранения, д – 4 недели хранения, е – 5 недель хранения, ф – 6 недель хранения, г – 7 недель хранения, h – 8 недель хранения, i – 9 недель хранения

Figure 2. Freshness indicators in food packaging: a – fresh product, b – week 1, c – week 3, d – week 4, e – weeks 5, f – week 6, g – week 7, h – week 8, i – week 9

этих плодов необходимы специальные индикаторы [39]. Например, упаковочная пленка ripeSenser, изготовленная из полиэтилентерефталата и разработанная для упаковки груш. Пленка включает вентиляционные отверстия, через которые выходит CO_2 и лишняя влага. Датчик коррелирует с ароматическими соединениями фруктов и меняет цвет: сначала красный, а по мере созревания плодов оранжевый и желтый [40]. Покупатели могут точно выбрать понравившиеся фрукты, подобрав цвет сенсора.

Условия обращения с фруктами и овощами после их уборки также важны, потому что механические повреждения от ударов, сжатия или вибрации ускоряют процесс старения. «Синяк» считается двухэтапным процессом, при котором сначала происходит механическое повреждение, а затем ферментативное разрушение ткани. Это действие может привести к быстрой ферментативной деградации полисахаридов клеточной стенки, которая проявляется на плодах в виде мягких пятен [41]. Например, механические повреждения

при транспортировке, которые являются основной причиной потери качества томатов.

Концентрация газов в среде продукта также играет важную роль в частоте дыхания: с уменьшением концентрации кислорода частота дыхания снижается. Двуокись углерода производит противоположный эффект, хотя это зависит от типа продукта, степени зрелости, диапазона концентраций и времени воздействия. Например, большое количество углекислого газа может повредить ткани, что приведет к учащению дыхания. Чтобы продлить срок хранения, каждый продукт требует определенной концентрации конкретного газа [42].

Если упаковка с модифицированной атмосферой обеспечивает соотношения, полученные в процессе упаковки, то они изменяются со временем из-за респираторных процессов, особенно при колебаниях температуры. Концентрация внутренних газов зависит от скорости дыхания продукта и переноса газа от упаковочной пленки к продукту. В большинстве случаев эти процессы имеют разную чувствительность к температуре. Температурные изменения вызывают

отклонение от желаемого соотношения концентраций газа. Газопроницаемые упаковочные материалы, которые реагируют на изменения температуры, являются важным примером интеллектуальной упаковки, позволяющей компенсировать колебания температуры во время транспортировки [43].

Физические и химические повреждения овощей и фруктов вызваны повышенным дыханием и производством этилена, потерей воды и разрушением упаковки. Эти изменения повышают чувствительность продукта к разложению и вызывают накопление метаболитов, таких как этанол, молочная кислота и ацетилацетат. Поэтому для этих продуктов необходима интеллектуальная упаковка. Такие свойства, как удельная проницаемость для кислорода и углекислого газа являются параметрами, которые необходимо тщательно контролировать в упаковках, содержащих датчики цвета [44].

Индикаторы коммерческой свежести не только были разработаны как ТТИ, но и основаны на обнаружении летучих соединений, образующихся при порче пищевых продуктов, таких как диоксид углерода, диэтил, амины, аммиак, этанол и сероводород [45].

Интеллектуальная упаковка с индикатором pH.

Индикатор pH как разновидность умной упаковки – одно из нововведений, которое постепенно расширяется. Изменение pH является важным показателем свежести и химического состояния пищевого продукта. Порча продуктов связана с изменением значений pH. Таким образом, можно установить взаимосвязь между свежестью или качеством пищевых продуктов и pH. В случае фруктов, овощей и молочных продуктов pH изменяется из-за изменений концентрации органических кислот в процессе хранения. Из-за микробного метаболизма, роста бактерий в продуктах с высоким содержанием белка (мясо, морепродукты и т. д.) и ряда биологических реакций образуются летучие соединения азота, такие как диметиламин, триметиламин, гистамин и тирамин, которые изменяют pH. Учеными были проведены исследования, посвященные разработке интеллектуальных систем упаковки в качестве визуальных индикаторов для мониторинга качества свежих продуктов питания на основе изменений pH [46].

Индикаторы pH состоят из двух частей – твердой основы и пигмента, – чувствительных к изменениям pH. Пигменты извлекаются из различных источников фруктов и овощей. Когда продукт начинает портиться, pH изменяется. Это изменение является одним из показателей качества продукции. В начале процесса разложения pH изменяется, что приводит к трансформации цвета индикатора или упаковки. Таким образом, упаковка, на которой

отображается pH продукта перед покупкой или употреблением, обеспечивает качество и безопасность продукта для потребителя.

Многофункциональная умная упаковка обладает антиоксидантными и антимикробными свойствами и привлекает все больше внимания в области упаковки продуктов питания. В случаях, когда используются натуральные полимеры, многофункциональная упаковка может быть биоразлагаемой или съедобной.

В большинстве исследований используются пленки природного происхождения, содержащие индикаторы pH. Когда происхождение каждого полимера разное и может быть модифицировано растительными пигментами, то пигменты могут быть извлечены из природных источников (фрукты и овощи) или являться синтетическими, цвет которых может изменяться при разном pH.

Композитная пленка с экстрактом зеленого чая/фурцелларан/желатина как образец интеллектуальных упаковок с индикатором pH обладает антиоксидантными и антимикробными свойствами. Эта пленка показывает pH, меняет цвет в кислых и щелочных условиях, используется для умной упаковки и имеет способность предотвращать порчу упакованных пищевых продуктов.

Была разработана цветная пленка на основе каррагинана с *Lycium ruthenicum* Murr. для интеллектуальной упаковки жидких пищевых продуктов [11]. Экстракт, использованный в этой пленке, применялся в качестве индикатора pH свежести молока. Эта пленка имеет разные цвета в различных диапазонах pH и используется в качестве индикатора pH на упаковке пищевых продуктов. Было обнаружено, что пленка подходит для демонстрации свежести продуктов.

Пленки, сделанные из природного хитозана и антоцианов в качестве индикатора pH, могли показывать pH окружающей среды в кислых, нейтральных и щелочных условиях. Введение природных полифенольных соединений (таких как антоцианы) в качестве индикаторов pH, в дополнение к эластичности, придает пленке антиоксидантные и антимикробные свойства. Это указывает на многоцелевое применение этого типа пленки [47].

Антоцианы – важная группа природных пигментов после хлорофилла. Антоцианы нетоксичны и водорастворимы, содержатся в жидкости растительных клеток и отвечают за красный, синий, фиолетовый, оранжевый и розовый цвета многих фруктов, овощей и цветов. Эти пигменты принадлежат к флавоноидам. Антоцианы содержатся в виде натуральных пигментов в корнях, листьях, плодах и цветках растений, а также в кожуре яблок, груш, винограда, ежевики и слив. В природе обнаружено 17 типов антоцианов, 6 из которых важны в рационе человека. Это цианидин, дельфинидин, петунидин, пеонидин, пеларгонидин и малоидин [48].

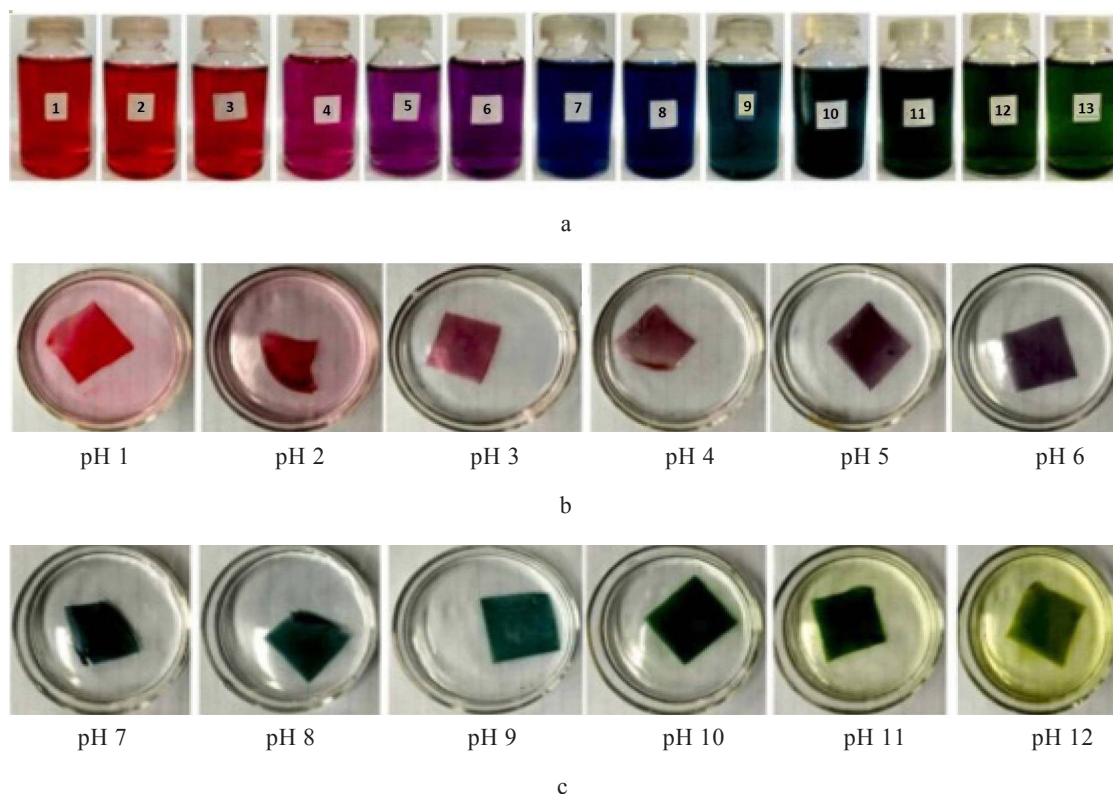


Рисунок 3. Цвет пленки индикатора pH при различных значениях pH: а – индикаторы кислотности, б – индикаторы кислой среды, с – индикаторы щелочной среды

Figure 3. Color of the pH indicator film at different pH values: a – indicators of acidity, b – indicators of acidic environment, c – indicators of alkaline environment

Антоцианы могут действовать как субстрат в реакциях потемнения. Они играют важную роль в качестве полезных и эффективных пищевых красителей в пищевой промышленности [49]. Антоцианы обладают несколькими полезными свойствами для здоровья, такими как антиоксидантные, противомикробные, противодиабетические, противовоспалительные, антипролиферативные и противораковые средства и средства против ожирения. Антиоксидантная и противомикробная активность антоцианов полезна для производства активной и интеллектуальной упаковки.

Антоцианы показали хороший антиоксидантный потенциал, действуя как восстановители, доноры водорода, подаватели кислорода и металлы. Антимикробные механизмы антоцианов связывают с нестабильностью цитоплазматической мембраны, проницаемостью клеточной мембраны, ингибированием внеклеточных ферментов и роста микробов. Антоцианы чувствительны к изменениям pH и имеют различную химическую структуру и цвет в растворах с разным pH. Кроме того, максимальное УФ-поглощение раст-

воров антоцианов претерпевает батохромный сдвиг из-за увеличения значения pH.

Цвет раствора антоцианов зависит от их состава и источника и с повышением pH меняется с красного на желтый. Цвет антоцианов меняется в присутствии кислорода, различных ферментов и света [50]. Антоцианы хранятся в темном месте, потому что свет разрушает их структуру. Кроме того, кислород разлагает антоцианы на коричневые или бесцветные вещества. Гликозидазы как активный фермент разрушают химические связи между гликаном и гликозидом антоцианов. Некоторые катализаторы, такие как полифенолоксидазы, окисляют антоцианы, поэтому для их стабилизации они должны состоять из алкалоидов и флавоноидов. Это делает антоцианы пригодными для использования в системе интеллектуальной упаковки.

Полимерная пленка, модифицированная антоцианами, может определять pH в различных средах, отслеживая цвет. Цвет раствора антоциана отличается от цвета антоциана, заключенного в пленку. pH-чувствительные свойства пленок, богатых антоцианами, связаны с природой биополимеров. Например, крахмалистая/желатиновая пленка,

содержащая водные экстракты растений Gliss, более чувствительна к pH, чем пленки хитозана, модифицированные водными экстрактами этого же растения. Из-за различий в составе и содержании антоцианов pH-чувствительные свойства пленок связаны с их источником. Также на пленки влияют условия экстракции антоцианов и pH раствора для их получения. pH-чувствительные свойства пленок, содержащих спиртовые экстракты антоцианов, более выражены, чем свойства водных экстрактов. Кроме того, пленка, приготовленная при pH 3, более чувствительна к pH среде [51].

Цвет пленки каррагинана/антоциана изменяется в присутствии раствора аммиака при различной температуре. Отрицательно влияют на цвет пленок условия окружающей среды, такие как кислород, свет и температура. Цвет пленки на основе антоциана зависит от его содержания, источника и условий хранения пленки. Например, порча свинины может быть обнаружена с помощью биоразлагаемой пленки, модифицированной антоцианином, поскольку pH свинины увеличивается во время хранения и изменяется цвет пленки. Также биоразлагаемая пленка, модифицированная антоцианином, была использована для обнаружения порчи молока. В молочных продуктах во время хранения вырабатываются уксусная и молочная кислоты, а pH изменяется. Пленки с умеренным содержанием антоцианов могут показать быстрые и значительные изменения цвета в зависимости от pH. Цвет сухих пленок, богатых антоцианами, иногда отличается от цвета пленкообразующих растворов из-за постепенного испарения летучих веществ (например, соляной и уксусной кислоты) в процессе сушки. Кроме того, пленки, богатые антоцианином и смешанные с куркумином, улучшают способность контролировать свежесть продуктов. Поэтому комбинация других пигментов полезна для улучшения pH-чувствительных свойств пленок, богатых антоцианами, а также их стабильности [52]. В пленки следует включать гидрофобные соединения, чтобы предотвратить миграцию пигментов в продукт [53].

Толщина пленки является важным параметром при их изготовлении, поскольку влияет на механическую прочность, проницаемость водяного пара, светопропускание и непрозрачность пленки. Толщина пленок, богатых антоцианами, зависит от общего количества твердых веществ в ее составе. Низкое содержание антоциана может быть равномерно распределено по матрице пленки, минимизируя изменение толщины пленки и вызывая сжатие ее структуры. Напротив, высокое содержание антоцианов может нарушить внутреннюю структуру матрицы пленки и увеличить ее толщину. Кроме того, на толщину пленок влияют источник антоцианов, природа биополимеров и условия хранения пленки (относительная влажность и

свет). Толщина пленки увеличивается в процессе хранения в условиях высокой относительной влажности и темноты, но уменьшается при воздействии света [54].

Водорастворимость пленок – важное свойство для упаковочных пленок нового поколения. Пленки должны иметь оптимальную водостойкость, поэтому для упаковочного материала очень важна низкая растворимость в воде. Водорастворимость пленок на основе биополимеров обычно увеличивается после добавления в них экстрактов, богатых антоцианами. С одной стороны, высокогидрофильные антоцианы могут легко взаимодействовать с молекулами воды, с другой – комбинация экстрактов, богатых антоцианами, может уменьшить взаимодействие полимерных цепей и вызвать растворение матрицы пленки в воде. Растворимость пленок в воде возрастает с увеличением содержания антоцианов. Это связано с присутствием гидрофильных антоцианов, растворяющихся в воде. Кроме того, водорастворимость пленок зависит от источника и условий экстракции антоцианов, типа биополимеров и условий приготовления пленки. Растворимость в воде пленок увеличивается за счет гликозилирования антоцианов, а снижается за счет ацилирования. Антоцианы, экстрагированные спиртом, обладают высокой растворимостью в воде при использовании для приготовления пленки, в то время как антоцианы, экстрагированные водой, имеют низкую растворимость. Если пленка, содержащая антоцианы, изготовлена при низком pH, то она будет иметь высокую растворимость [55, 56].

Выводы

Интеллектуальные системы упаковки обеспечивают безопасность пищевых продуктов, информируя розничных продавцов и конечных пользователей о потенциальных проблемах с продуктами питания во время транспортировки и хранения, а также гарантируют безопасность пищевых продуктов для потребителей. Индикаторы (ГТТ, индикаторы свежести и индикаторы утечки) предоставляют информацию о свежести, микробиологическом качестве, безопасности, температурном статусе и сроке хранения пищевых продуктов. Датчики – это современные упаковочные системы, которые предоставляют быструю, надежную и точную информацию о безопасности и качестве пищевых продуктов и пытаются противодействовать негативным изменениям в них. Штрих-коды и теги предоставляют быструю информацию об аутентификации и отслеживании продукта, тем самым повышая эффективность и скорость распространения. Сегодня исследования сосредоточены на возобновляемых органических и натуральных материалах для использования в качестве нанокompозитных биоматериалов в упаковке пищевых

продуктов. Эти натуральные материалы могут решить проблемы безопасности. Интеллектуальная упаковка помогает повысить безопасность, качество, долговечность, подлинность, отслеживаемость и стабильность продуктов.

Цветные полимеры на основе биоразлагаемых полимеров являются новейшим типом маркеров в пищевой упаковке, которые не загрязняют окружающую среду (поскольку они биоразлагаемы) и визуально указывают на возможную порчу пищевых продуктов. Эти цветовые индикаторы не требуют каких-либо дополнительных инструментов для индикации качества, возможной порчи и практического срока годности пищевых продуктов. Визуально, исследуя цвет индикатора, можно определить качество пищевого продукта.

Использование интеллектуальной упаковки произведет революцию в упаковочном секторе и в ближайшие дни мы увидим новые подходы и инновации в упаковке пищевых продуктов. Современные датчики в интеллектуальной упаковке помогут потребителям контролировать качество и годность продуктов питания.

Критерии авторства

М. Г. Курбанова – руководство работой в целом.
Р. В. Крюк – поиск статей в базах данных PubMed от

National Center for Biotechnology Information (США), Elsevier (Scopus, ScienceDirect), на платформе Web of Science и отечественной электронной библиотеке eLibrary.ru, обработка результатов, написание рукописи статьи. А. Ю. Колбина, К. Б. Плотников, И. Б. Плотников, А. Н. Петров и М. Э. А. Хелеф – консультация в ходе написания рукописи статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

M.G. Kurbanova supervised the research. R.V. Kryuk obtained scientific publications from PubMed databases from the National Center for Biotechnology Information (USA), Elsevier (Scopus, ScienceDirect), the Web of Science, and eLibrary.ru, processed the results, and wrote the manuscript. A.Yu. Kolbina, K.B. Plotnikov, I.B. Plotnikov, A.N. Petrov, and M.E.A. Khelef provided consultation.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Vu CHT, Won K. Novel water-resistant UV-activated oxygen indicator for intelligent food packaging. *Food Chemistry*. 2013;140(1–2):52–56. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.056>
2. Sai-Ut S, Suthiluk P, Tongdeesoontorn W, Rawdkuen S, Kaewprachu P, Karbowski T, et al. Using anthocyanin extracts from butterfly pea as pH indicator for intelligent gelatin film and methylcellulose film. *Current Applied Science and Technology*. 2021;21(4):652–661.
3. Giro TM, Kulikovskiy AV, Andreeva SV, Gorlov IF, Giro AV. Production of enriched lamb in biodegradable packaging. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):312–320. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-312-320>.
4. Pourjavaher S, Almasi H, Meshkini S, Pirsa S, Parandi E. Development of a colorimetric pH indicator based on bacterial cellulose nanofibers and red cabbage (*Brassica oleracea*) extract. *Carbohydrate Polymers*. 2017;156:193–201. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.09.027>
5. Dinika I, Utama GL. Cheese whey as potential resources for antimicrobial edible film and active packaging production. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(2):229–239. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-229-239>
6. Roy S, Rhim J-W. Anthocyanin food colorant and its application in pH responsive color change indicator films. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021;61(14):2297–2325. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1776211>
7. Niponsak A, Laohakunjit N, Kerdchoechuen O, Wongsawadee P. Development of smart colorimetric starch-based indicator for liberated volatiles during durian ripeness. *Food Research International*. 2016;89:365–372. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.038>
8. Peralta J, Bitencourt-Cervi CM, Maciel VBV, Yoshida CMP, Carvalho RA. Aqueous hibiscus extract as a potential natural pH indicator incorporated in natural polymeric films. *Food Packaging and Shelf Life*. 2019;19:47–55. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.11.017>
9. Liu J, Zhuang Y, Hu Y, Xue S, Li H, Chen L, et al. Improving the color stability and antioxidation activity of blueberry anthocyanins by enzymatic acylation with p-coumaric acid and caffeic acid. *LWT*. 2020;130. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109673>

10. Liu S, Fu Y, Nian S. Buffering colour fluctuation of purple sweet potato anthocyanins to acidity variation by surfactants. *Food Chemistry*. 2014;162:16–21. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.029>
11. Gounga ME, Xu S-Y, Wang Z. Film forming mechanism and mechanical and thermal properties of whey protein isolate-based edible films as affected by protein concentration, glycerol ratio and pullulan content. *Journal of Food Biochemistry*. 2010;34(3):501–519. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2009.00294.x>
12. Ghaani M, Cozzolino CA, Castelli G, Farris S. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector. *Trends in Food Science and Technology*. 2016;51:1–11. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.02.008>
13. Hoffmann TG, Peters DA, Angioletti BL, Bertoli SL, Péres LV, Ratto Reiter MG, *et al.* Potentials nanocomposites in food packaging. *Chemical Engineering Transactions*. 2019;75:253–258. <https://doi.org/10.3303/CET1975043>
14. Chen H, Zhang M, Bhandari B, Guo Z. Applicability of a colorimetric indicator label for monitoring freshness of fresh-cut green bell pepper. *Postharvest Biology and Technology*. 2018;140:85–92. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.02.011>
15. Deng Y, Liu K, Liu Y, Dong H, Li S. An novel acetylcholinesterase biosensor based on nano-porous pseudo carbon paste electrode modified with gold nanoparticles for detection of methyl parathion. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. 201;16(9):9460–9467. <https://doi.org/10.1166/jnn.2016.13059>
16. Aman Mohammadi M, Hosseini SM, Yousefi M. Application of electrospinning technique in development of intelligent food packaging: A short review of recent trends. *Food Science and Nutrition*. 2020;8(9):4656–4665. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1781>
17. Chavoshizadeh S, Pirsa S, Mohtarami F. Sesame oil oxidation control by active and smart packaging system using wheat gluten/chlorophyll film to increase shelf life and detecting expiration date. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2020;122(3). <https://doi.org/10.1002/ejlt.201900385>
18. Halász K, Csóka L. Black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace extract immobilized in chitosan for colorimetric pH indicator film application. *Food Packaging and Shelf Life*. 2018;16:185–193. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.002>
19. Liu K, Zhang C. Volatile organic compounds gas sensor based on quartz crystal microbalance for fruit freshness detection: A review. *Food Chemistry*. 2021;334. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127615>
20. Sun G, Chi W, Zhang C, Xu S, Li J, Wang L. Developing a green film with pH-sensitivity and antioxidant activity based on κ-carrageenan and hydroxypropyl methylcellulose incorporating *Prunus maackii* juice. *Food Hydrocolloids*. 2019;94:345–353. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.039>
21. Wei Y-C, Cheng C-H, Ho Y-C, Tsai M-L, Mi F-L. Active gellan gum/purple sweet potato composite films capable of monitoring pH variations. *Food Hydrocolloids*. 2017;69:491–502. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.03.010>
22. Zhai X, Li Z, Zhang J, Shi J, Zou X, Huang X, *et al.* Natural biomaterial-based edible and pH-sensitive films combined with electrochemical writing for intelligent food packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018;66(48):12836–12846. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04932>
23. Rawdkuen S, Faseha A, Benjakul S, Kaewprachu P. Application of anthocyanin as a color indicator in gelatin films. *Food Bioscience*. 2020;36. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100603>
24. Qin Y, Liu Y, Yuan L, Yong H, Liu J. Preparation and characterization of antioxidant, antimicrobial and pH-sensitive films based on chitosan, silver nanoparticles and purple corn extract. *Food Hydrocolloids*. 2019;96:102–111. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.017>
25. Moreira JB, Terra ALM, Costa JAV, de Moraes MG. Development of pH indicator from PLA/PEO ultrafine fibers containing pigment of microalgae origin. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018;118:1855–1862. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.07.028>
26. Latos-Brozio M, Masek A. The application of natural food colorants as indicator substances in intelligent biodegradable packaging materials. *Food and Chemical Toxicology*. 2020;135. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.110975>
27. Moradi M, Tajik H, Almasi H, Forough M, Ezati P. A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness. *Carbohydrate Polymers*. 2019;222. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115030>
28. Heising JK, Dekker M, Bartels PV, van Boekel MAJS. Monitoring the quality of perishable foods: Opportunities for intelligent packaging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2014;54(5):645–654. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.600477>
29. Bratovčić A, Odobašić A, Čatić S, Šestan I. Application of polymer nanocomposite materials in food packaging. *Croatian Journal of Food Science and Technology*. 2015;7(2):86–94. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2015.7.2.06>
30. Andretta R, Luchese CL, Tessaro IC, Spada JC. Development and characterization of pH-indicator films based on cassava starch and blueberry residue by thermocompression. *Food Hydrocolloids*. 2019;93:317–324. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.019>

31. Jiang G, Hou X, Zeng X, Zhang C, Wu H, Shen G, *et al.* Preparation and characterization of indicator films from carboxymethyl-cellulose/starch and purple sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) lam) anthocyanins for monitoring fish freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;143:359–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.024>
32. Kour H, Towseef Wani NA, Malik A, Kaul R, Chauhan H, Gupta P, *et al.* Advances in food packaging – a review. *Stewart Postharvest Review*. 2013;9(4):1–7a. <https://doi.org/10.2212/spr.2013.4.7>
33. Lv R, Huang X, Ye W, Aheto JH, Xu H, Dai C, *et al.* Research on the reaction mechanism of colorimetric sensor array with characteristic volatile gases-TMA during fish storage. *Journal of Food Process Engineering*. 2029;42(1). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12952>
34. Pirsá S, Zandi M, Almasi H. Determination of quality and spoilage of milk by synthesized polypyrrole-Ag nanocomposite fiber at room temperature. *Journal of Food Process Engineering*. 2016;39(3):266–272. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12219>
35. Vo T-V, Dang T-H, Chen B-H. Synthesis of intelligent pH indicative films from chitosan/poly(vinyl alcohol)/anthocyanin extracted from red cabbage. *Polymers*. 2019;11(7). <https://doi.org/10.3390/polym11071088>
36. Ramon-Marquez T, Medina-Castillo AL, Fernandez-Gutierrez A, Fernandez-Sanchez JF. Novel optical sensing film based on a functional nonwoven nanofibre mat for an easy, fast and highly selective and sensitive detection of tryptamine in beer. *Biosensors and Bioelectronics*. 2016;79:600–607. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2015.12.091>
37. Merz B, Capello C, Leandro GC, Moritz DE, Monteiro AR, Valencia GA. A novel colorimetric indicator film based on chitosan, polyvinyl alcohol and anthocyanins from jambolan (*Syzygium cumini*) fruit for monitoring shrimp freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;153:625–632. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.048>
38. Magagna F, Valverde-Som L, Ruíz-Samblás C, Cuadros-Rodríguez L, Reichenbach SE, Bicchi C, *et al.* Combined untargeted and targeted fingerprinting with comprehensive two-dimensional chromatography for volatiles and ripening indicators in olive oil. *Analytica Chimica Acta*. 2016;936:245–258. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2016.07.005>
39. Liu B, Xu H, Zhao H, Liu W, Zhao L, Li Y. Preparation and characterization of intelligent starch/PVA films for simultaneous colorimetric indication and antimicrobial activity for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*. 2017;157:842–849. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.067>
40. Jang NY, Won K. New pressure-activated compartmented oxygen indicator for intelligent food packaging. *International Journal of Food Science and Technology*. 2014;49(2):650–654. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12310>
41. Yong H, Liu J, Qin Y, Bai R, Zhang X, Liu J. Antioxidant and pH-sensitive films developed by incorporating purple and black rice extracts into chitosan matrix. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019;137:307–316. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.009>
42. Kim D, Lee S, Lee K, Baek S, Seo J. Development of a pH indicator composed of high moisture-absorbing materials for real-time monitoring of chicken breast freshness. *Food Science and Biotechnology*. 2017;26(1):37–42. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0005-6>
43. Domínguez R, Barba FJ, Gómez B, Putnik P, Bursać Kovačević D, Pateiro M, *et al.* Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Food Research International*. 2018;113:93–101. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073>
44. Ezati P, Tajik H, Moradi M. Fabrication and characterization of alizarin colorimetric indicator based on cellulose-chitosan to monitor the freshness of minced beef. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2019;285:519–528. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.01.089>
45. Balbinot-Alfaro E, Craveiro DV, Lima KO, Costa HLG, Lopes DR, Prentice C. Intelligent packaging with pH indicator potential. *Food Engineering Reviews*. 2019;11(4):235–244. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09198-9>
46. Banerjee S, Kelly C, Kerry JP, Papkovsky DB. High throughput non-destructive assessment of quality and safety of packaged food products using phosphorescent oxygen sensors. *Trends in Food Science and Technology*. 2016;50:85–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.021>
47. Costa C, Antonucci F, Pallottino F, Aguzzi J, Sarriá D, Menesatti P. A review on agri-food supply chain traceability by means of RFID technology. *Food and Bioprocess Technology*. 2013;6(2):353–366. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0958-7>
48. Moazami Goodarzi M, Moradi M, Tajik H, Forough M, Ezati P, Kuswandi B. Development of an easy-to-use colorimetric pH label with starch and carrot anthocyanins for milk shelf life assessment. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;153:240–247. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.014>
49. Bazhenova BA, Zhamsaranova SD, Zabalueva YuYu, Gerasimov AV, Zambulaeva ND. Effects of lingonberry extract on the antioxidant capacity of meat paste. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):250–258. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-250-258>

50. Hsu C-P, Chen P-C, Wang Y-L. A novel packaging technology for disposable FET-based biosensors with microfluidic channels. Proceedings of the 2017 IEEE 12th International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems; 2017; Los Angeles. Los Angeles, 2017. p. 375–378. <https://doi.org/10.1109/NEMS.2017.8017045>
51. Kuswandi B, Nurfawaidi A. On-package dual sensors label based on pH indicators for real-time monitoring of beef freshness. Food Control. 2017;82:91–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.028>
52. Pankaj SK, Kelly CA, Bueno-Ferrer C, Kerry JP, Papkovsky DB, Bourke P, *et al.* Application of phosphorescent oxygen sensors in in-package dielectric barrier discharge plasma environment. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2016;33:234–239. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.005>
53. Liu Y, Qin Y, Bai R, Zhang X, Yuan L, Liu J. Preparation of pH-sensitive and antioxidant packaging films based on κ -carrageenan and mulberry polyphenolic extract. International Journal of Biological Macromolecules. 2019;134:993–1001. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.175>
54. Pavelková A. Time temperature indicators as devices intelligent packaging. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2013;61(1):245–251. <https://doi.org/10.11118/actaun201361010245>
55. Singh BP, Shukla V, Lalawmpuii H, Kumar S. Indicator sensors for monitoring meat quality: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2018;7(4):809–812.
56. Ebrahimi Tirtashi F, Moradi M, Tajik H, Forough M, Ezati P, Kuswandi B. Cellulose/chitosan pH-responsive indicator incorporated with carrot anthocyanins for intelligent food packaging. International Journal of Biological Macromolecules. 2019;136:920–926. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.148>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2367>
<https://elibrary.ru/SGTLY>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Спектр питания серой куропатки (*Perdix perdix* L.) в Центральном Предкавказье



А. П. Каледин¹, А. В. Маловичко^{1,*},
А. Г. Резанов², А. С. Дроздова¹

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева^{ROR}, Москва, Россия

² Московский городской педагогический университет^{ROR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 13.04.2022

Принята после рецензирования: 03.05.2022

Принята в печать: 25.05.2022

*А. В. Маловичко: l-malovichko@yandex.ru

А. П. Каледин: <https://orcid.org/0000-0002-5744-1363>

А. С. Дроздова: <https://orcid.org/0000-0003-1150-0134>

© А. П. Каледин, А. В. Маловичко,
А. Г. Резанов, А. С. Дроздова, 2022



Аннотация.

Серая куропатка (*Perdix perdix* L.) является промысловым видом птиц Центрального Предкавказья. В степных районах данные птицы встречаются в искусственных посадках сельскохозяйственных объектов (сады, виноградники, лесополосы вдоль полей, автомобильные и железные дороги, бригады, дачные поселки, кошары и др.). Цель работы заключалась в изучении и анализе пищевого рациона серой куропатки в разные сезоны на территории Ставропольского края.

Объектом исследования являлся пищевой спектр серой куропатки, который устанавливали на основе разбора содержимого желудков и зобов птиц, добытых охотниками и сбитых автотранспортом на дорогах в различных типах биотопов Ставропольского края. В период с 2008 по 2021 гг. в различные сезоны собрано и проанализировано 42 желудка и 26 зобов птиц.

Серые куропатки – фитофаги, их пища состоит из растительных компонентов, в меньшей степени из животных. Осенне-зимняя диета включает зеленую массу и зерна пшеницы, семена культурных и диких растений, а также личинки насекомых. Серую куропатку привлекают сорные травянистые растения: птичий горец, куриное просо, щирица запрокинутая, марь белая и щетинник зеленый.

В результате проведенного исследования актуализирована информация о характере пищевого спектра серой куропатки на территории Ставропольского края. Полученные данные могут быть использованы при оценке кормовых ресурсов промысловых видов птиц, охране и регулировании (в сторону увеличения) численности серой куропатки, а также при осуществлении мероприятий по ее зимней подкормке.

Ключевые слова. Серая куропатка, пищевой рацион, гастролиты, распространение, биотоп, кормовое поведение

Для цитирования: Спектр питания серой куропатки (*Perdix perdix* L.) в Центральном Предкавказье / А. П. Каледин [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 334–343. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2367>

Diet of the Gray Partridge (*Perdix perdix* L.) in the Central Ciscaucasia

Anatoly P. Kaledin¹, Lyubov V. Malovichko^{1,*},
Alexander G. Rezanov², Lyudmila S. Drozdova¹

¹ Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy^{ROR}, Moscow, Russia

² Moscow City University^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 13.04.2022

Revised: 03.05.2022

Accepted: 25.05.2022

*Lyubov V. Malovichko: l-malovichko@yandex.ru

Anatoly P. Kaledin: <https://orcid.org/0000-0002-5744-1363>

Lyudmila S. Drozdova: <https://orcid.org/0000-0003-1150-0134>

© A.P. Kaledin, L.V. Malovichko,
A.G. Rezanov, L.S. Drozdova, 2022



Abstract.

The gray partridge (*Perdix perdix* L.) is a commercial bird species of the Central Ciscaucasia. In the steppe regions, these birds are found in cultivated gardens, vineyards, green belts along agricultural fields, roads, and railways, etc. The research objective was to study and analyze the diet of the gray partridge in different seasons in the Stavropol Region.

The study featured the food spectrum consumed by the gray partridge based on the contents of 42 stomachs and 26 crops of birds caught by hunters and hit by vehicles in various Stavropol biotopes in 2008–2021.

Gray partridges are phytophages, which means they feed mostly on plants and, to a lesser extent, on animals. Their autumn and winter diet includes green mass and wheat grains, seeds of cultivated and wild plants, and insect larvae. The gray partridge prefers weedy herbaceous plants: *Polygonum aviculare*, *Echinochloa crus-galli*, *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, and *Setaria viridis*.

The data obtained can be used to assess food resources of commercial bird species, in gray partridge conservation projects, and winter feeding of birds.

Keywords. Gray partridge, diet, gastroliths, spread, biotopes, feeding behavior

For citation: Kaledin AP, Malovichko LV, Rezanov AG, Drozdova LS. Diet of the Gray Partridge (*Perdix perdix* L.) in the Central Ciscaucasia. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):334–343. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2367>

Введение

Серая куропатка (*Perdix perdix* L.) – обычный, оседлый и широко распространенный вид птиц из рода куропаток. Является классической пернатой дичью и объектом охоты. Зимой и осенью ведет стайный образ жизни [1].

Серая куропатка – степная птица, гнездящаяся на открытой местности и избегающая лесов и деревьев, а также зданий, т. к. в них могут прятаться хищники. Гнездящиеся куропатки ищут укрытие в злаковом травостое или рапсе. Куропатки питаются семенами растений, но во время размножения они нуждаются в животном белке, получаемом при питании членистоногими. Это дает возможность откладывать яйца, выращивать молодняк и обеспечивать нормальное прохождение линьки [2].

На территории Европы серая куропатка была распространена на большинстве сельскохозяйственных

угодий до 1950-х гг., но затем ее численность резко сократилась. В большинстве стран сегодня обитает менее 10 % птиц от довоенной численности. Это снижение не линейно т. к. большая часть потерь численности произошла за последние два-три десятилетия [2, 3].

Массовое сокращение численности объясняется потерей среды обитания и размножения из-за интенсификации сельского хозяйства (например, использование пестицидов), уменьшения количества насекомых в качестве корма для цыплят и концентрации хищников в местах обитания [4, 5].

Условия обитания серой куропатки (*Perdix perdix* L.) в Центральном Предкавказье. В Ставропольском крае серая куропатка распространена повсеместно, за исключением ровных и однообразных участков степей. Куропатки предпочитают местность с пересеченным рельефом: поймы рек, балки и

овраги. Они селятся по откосам дорог, берегам каналов и водохранилищ, орошаемым землям, в молодых лесополосах, садах, питомниках и на дачных участках [6].

Серая куропатка имеет обширный ареал проживания, охватывающий различные природные зоны: от степей и полупустынь до южной и средней тайги [7, 8].

В Центральном Предкавказье до развития земледелия количество куропаток было небольшим. Полынно-ковыльные степи для нее не привлекательны. В не затронутых земледелием аридных степях на юго-востоке Европейской части России серая куропатка селилась в небольшом количестве по долинам рек, поросших кустарниками и сорной растительностью [9].

Во второй половине XIX века из-за земледельческого освоения южных степей серая куропатка широко расселилась на севере Предкавказья, где достигла высокой численности [10].

Плотные лесополосы с кустарниками обладают лучшими защитными качествами. Их охотней заселяют серые куропатки. С середины 1960-х гг. полезащитные лесные полосы стали создавать ажурной конструкции из акации белой и вяза мелколистного. Это было обусловлено эффективностью этих деревьев в борьбе с эрозией и суховеями. Кроме посадки лесополос, в тот же период позитивное воздействие на популяцию серых куропаток оказало строительство гидромелиоративной сети, которая обеспечила птиц водоем и улучшила кормовые и защитные свойства угодий. По берегам каналов, водохранилищ и на подтопляемых участках полей разрастаются густые бурьянистые заросли, которые привлекательны для куропаток. У мелиоративных каналов численность серых куропаток возрастает [11].

Кризис в сельском хозяйстве в 1990-х гг. сопровождался образованием бурьянистых залежей и снижением химического загрязнения. Большинство полей не запахивали под зиму, а отдельные участки суданской травы, кукурузы и подсолнечника оставались не убранными. Был прекращен механический уход в лесополосах. Изменения оказались благоприятными для серых куропаток. В результате этого с 1996 г. на Ставрополье постепенно увеличивается популяция этих птиц [12]. Данная тенденция была отмечена и в других частях ареала серой куропатки в России [13].

Экономическая деградация сельского хозяйства в конце XX в. способствовала массовому размножению мышевидных грызунов, которые повредили посевы сельскохозяйственных культур в 2001 г. В апреле 2001 г. практически на всех полях с посевами зерновых культур и многолетних трав Ставропольского края были выложены зерновые приманки, протравленные фосфидом цинка. В Апанасенковском районе на 1 га полей приходилось 118 жилых нор грызунов, поэтому количество протравленного зерна совпадало.

В связи с этим интоксикация стала основной причиной резкого сокращения численности серых куропаток на полях [14]. Летом и осенью этого года отмечали одиночных взрослых птиц, что свидетельствует о гибели партнера. В последующие годы восстановление прежней численности популяций не произошло.

Численность серых куропаток зависит от мозаичности ландшафта. Распашка степей, строительство дорог и каналов, посадка садов и виноградников расширяют площадь гнездопригодных биотопов и увеличивают их емкость. Высокая степень механизации полевых работ приводит к упрощению структуры агроценозов: укрупняются поля, увеличиваются массивы, занятые монокультурами, сокращаются сроки уборки урожая и вспашки полей. После уборочных работ вспаханные земли становятся малопригодными для куропаток. Сокращение орошаемых площадей в 1990-х гг. упростило структуру полей. Это привело к сокращению на полях водоемов, в которых нуждаются куропатки.

Также на численность серых куропаток влияет браконьерство в зимний период и их гибель от столкновения с автотранспортом, когда куропатки вылетают с обочин на дороги. Авторы чаще всего находили сбитых автомобилями куропаток на дорогах, по маршрутам Дивное – Арзгир, Ставрополь – Нефтекумск, Ставрополь – Новоалександровск и др.

На численность куропаток также влияет гибель кладок и выводков от бродячих и пастушеских собак [7, 15]. Куропатки очень плотно сидят на гнездах. Такое поведение позволяет серым куропаткам обойтись малыми потерями кладок от беспокойства людьми. Шумно взлетающую с гнезда птицу замечают серые вороны и сороки, которые находят и расклеивают яйца. Так было уничтожено гнездо куропатки, обнаруженное во время прополки саженцев на питомнике в селе Дивное.

Меры по восстановлению численности куропаток должны ориентироваться на основную причину сокращения популяции, т. е. улучшить условия кормежки, чтобы повысить выживаемость цыплят. Для этой цели необходимо проводить изучение и анализ пищевого спектра серой куропатки, в том числе на территории Ставропольского края. Полученные данные могут быть использованы при оценке кормовых ресурсов промысловых видов птиц, при охране и регулировании (в сторону увеличения) численности серой куропатки, а также при осуществлении мероприятий по ее зимнему прикорму.

Объекты и методы исследования

Материал для настоящего исследования собран в период с 2008 по 2021 гг. в различные сезоны на территории Ставропольского края. Изучение пищевого рациона серой куропатки проводили путем анализа содержимого 42 желудков (август – 27 желудков,

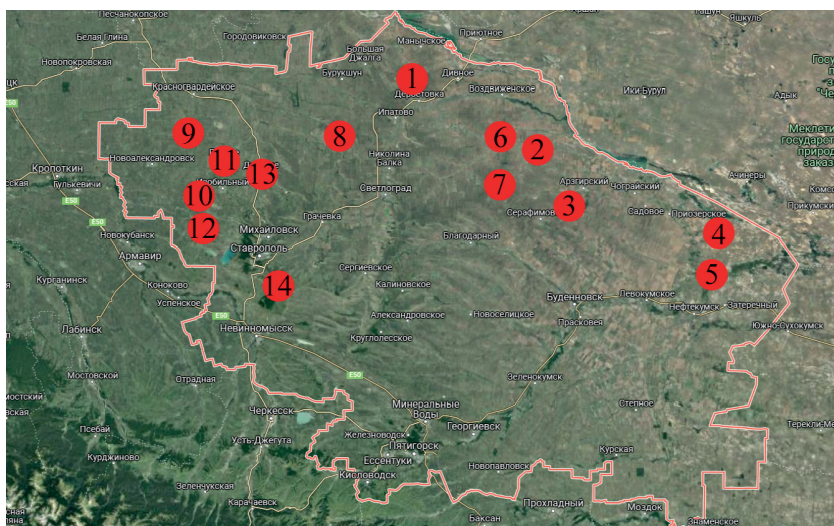


Рисунок 1. Места сбора желудков серой куропатки в Ставропольском крае (2008–2021 гг.)

Figure 1. Sample collection sites in the Stavropol Region (2008–2021)

сентябрь – 6, январь – 9) и 26 зобов птиц, добытых охотниками и сбитых автотранспортом в различных районах Ставропольского края (рис. 1). При анализе диеты серой куропатки данные по содержанию желудков и зобов объединены.

Статистические расчеты проведены с использованием программы Microsoft Excel.

Содержимое желудков и зобов переносили в бумажный сверток и оставляли сушиться. Через 1–2 дня просохший материал разбирали на составляющие: гастролиты, семена растений, беспозвоночные, зеленая (травяная) масса и т. д. [16].

Для определения групп кормов использовали классификацию А. Н. Прекопова [17]. В основную группу входят корма, которые встречаются в рационе чаще, чем в 5 % случаев. Группу второстепенных кормов составляют корма, встречающиеся в рационе от 1 до 5 % случаев. В группу случайных кормов входят корма, которые встречаются в рационе менее 1 % случаев.

Результаты и их обсуждение

Гнезда серые куропатки устраивают в густой траве, часто под защитой кустарников. В ходе наблюдений гнезда были обнаружены в зарослях осота в балке, под покровом шиповника на дачном участке, под кустом курая (*Salsola australis*) в лесополосе, среди густого ковра кровельного под прикрытием небольшого куста боярышника в старом заброшенном саду, среди густой травы в междурядье белоакациевой лесополосы, среди саженцев сосны в питомнике и среди сухой прошлогодней травы на залежи.

В июле – сентябре стаи куропаток ($n = 46$) состоят из $13,72 \pm 0,93$ птиц. В эмбриональный

и постэмбриональный периоды на Ставрополье эффективность размножения составляет 68,6 % [6].

Диета серой куропатки. Серая куропатка питается семенами и зелеными частями трав. В конце лета (август) и осенью (сентябрь) в их пищевом рационе ($n = 1627$ и $n = 438$ соответственно) отмечены зерна пшеницы (*Triticum vulgare*) – 30,12 и 23,29 %, семена трав (родов Горошек (*Vicia*) и Горец (*Polygonum*)) – 15,12 и 21,00 %, беспозвоночные – 3,50 и 1,14 % (табл. 1 и 2, рис. 2 и 3). Однако невозможно подсчитать количество зеленых листьев и побегов.

Во всех желудках были обнаружены по 15–20 камешков белого, серого и коричневого цветов диаметром около 3 мм.

Масса желудка определена у 36 птиц, масса зоба у 24. Масса желудка составила $20,52 \pm 4,29$ г (lim 10,3–37,8, SD = 7,83, $n = 36$, $P = 0,001$), масса зоба – $14,42 \pm 2,68$ г (lim 9–19,7, SD = 4,00, $n = 24$, $P = 0,001$).

По зимнему питанию информации мало, поскольку в желудках куропаток ($n = 9$) семян не обнаружено. Но в зобах обнаружены листья травы (озимая пшеница) длиной от 5 мм до 2,5 см. В одном из желудков обнаружены листья люцерны.

В летний период (август, $n = 27$) ярко выражен смешанный характер питания с преобладанием семян культурных и дикорастущих травянистых растений. В 10 желудках обнаружены корма животного происхождения (в 4 только они), в 23 желудках семена и зерна.

В сентябре из 6 желудков только в двух были обнаружены корма животного происхождения:

Таблица 1. Диета серой куропатки (август)

Table 1. Gray partridge diet (August)

Пищевые объекты	Встречаемость, % от общего количества проб желудков (n = 27)	Доля, % от числа пищевых объектов (n = 1627)
Основные корма		
Пшеница (<i>Triticum vulgare</i>)	81,48	30,12
Горошек мышиный (<i>Vicia cracca</i>)	29,63	6,08
Гречишка (<i>Polygonum aviculare</i>)	25,96	9,04
Амарант запрокинутый (<i>Amaranthus retrofléxus</i>)	22,22	13,83
Кобылка пестрая (<i>Arcyptera fusca</i>) и голубокрылая (<i>Oedipoda caerulescens</i>)	18,52	6,15
Амброзия полыннолистная (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>)	14,81	9,53
Второстепенные корма		
Вика (<i>Vika</i> sp.)	14,81	2,89
Марь белая (<i>Chenopodium album</i>)	11,11	4,00
Желтушник (<i>Erysimum</i> sp.)	11,11	3,56
Пустынная саранча (<i>Schistocerca gregaria</i>)	11,11	2,34
Кукуруза сахарная (<i>Zea máys</i>)	11,11	1,11
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia vulgaris</i>)	7,41	4,86
Щетинник зеленый (<i>Setaria viridis</i>)	7,41	3,26
Медоносная пчела (<i>Apis mellifera</i>)	7,41	1,04
Лебеда раскидистая (<i>Atriplex patula</i>)	3,70	2,09
Случайные корма		
Колорадский жук (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)	3,70	0,12

Таблица 2. Диета серой куропатки (сентябрь)

Table 2. Gray partridge diet (September)

Пищевые объекты	Встречаемость, % от общего количества проб желудков (n = 6)	Доля, % от числа пищевых объектов (n = 438)
Основные корма		
Пшеница (<i>Triticum vulgare</i>)	100,00	23,29
Гречишка (<i>Polygonum aviculare</i>)	66,67	15,75
Амарант запрокинутый (<i>Amaranthus retrofléxus</i>)	33,33	21,69
Горошек мышиный (<i>Vicia cracca</i>)	33,33	5,25
Щетинник зеленый (<i>Setaria viridis</i>)	16,67	7,76
Лебеда раскидистая (<i>Atriplex patula</i>)	16,67	6,39
Марь белая (<i>Chenopodium album</i>)	16,67	6,16
Вика (<i>Vika</i> sp.)	16,67	6,16
Второстепенные корма		
Кукуруза сахарная (<i>Zea máys</i>)	33,33	2,05
Амброзия полыннолистная (<i>Ambrosia artemisiifolia</i>)	16,67	4,34
Случайные корма		
Скарабей (<i>Scarabaeus</i> sp.)	16,67	0,68
Колорадский жук (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>)	16,67	0,46

2 колорадских жука и 3 скарабея соответственно. Таким образом, ярко выражена сезонность в смене кормов.

Отмечена тенденция (рис. 4): чем выше число встреч того или иного пищевого объекта в

пищеварительном тракте куропаток, тем выше их абсолютное число ($r = 0,9355$, $P < 0,001$).

Поздней весной и летом к растительным кормам добавляются беспозвоночные, а птенцы до двухнедельного возраста питаются только



Рисунок 2. Летняя (август) диета серой куропатки (n = 1627 пищевых объектов)

Figure 2. Summer (August) diet of the gray partridge (n = 1627 food items)

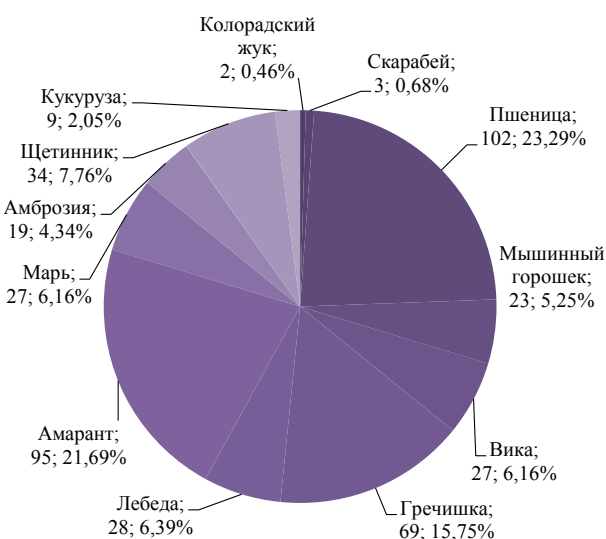


Рисунок 3. Осенняя (сентябрь) диета серой куропатки (n = 438 пищевых объектов)

Figure 3. Autumn (September) diet of the gray partridge (n = 438 food items)

Таблица 3. Гастролиты в желудках (n = 38) серых куропаток: число, размер и корреляция между диаметром гастролитов и их числом в желудках (август – сентябрь 2008–2021 гг.)

Table 3. Gastroliths in the stomachs (n = 38) of gray partridges: number, size, and correlation between the diameter of gastroliths and their number (August – September, 2008–2021)

Цвет гастролитов	Число гастролитов в желудке	Диаметр гастролитов, мм	Корреляция Пирсона, r
Белые	12,17 ± 3,66 (lim 2–25; SD = 6,67; n = 36; P = 0,001)	0,41 ± 0,13 (lim 0,2–1,3; SD = 0,23; n = 438; P = 0,001)	0,8952 (P < 0,001)
Серые	4,79 ± 3,74 (lim 1–33; SD = 6,02; n = 28; P = 0,001)	0,29 ± 0,034 (lim 0,1–0,6; SD = 0,12; n = 134; P = 0,001)	–0,0186 (P > 0,05)
Темно-серые	5,40 ± 3,39 (lim 2–10; SD = 3,85; n = 5; P < 0,05)	0,54 ± 0,13 (lim 0,3–0,8; SD = 0,20; n = 27; P = 0,001)	0,81 (P < 0,05)
Черные	4,82 ± 2,61 (lim 1–19; SD = 4,19; n = 28; P = 0,001)	0,34 ± 0,04 (lim 0,1–0,6; SD = 0,14; n = 135; P = 0,001)	0,3580 (P > 0,05)
Оранжевые	4,85 ± 2,37 (lim 1–13; SD = 3,68; n = 26; P = 0,001)	0,34 ± 0,06 (lim 0,1–1,0; SD = 0,22; n = 126; P = 0,001)	–0,3392 (P > 0,05)
Коричневые	7,67 ± 6,48 (lim 1–11; SD = 5,7; n = 3; P = 0,049)	0,5 (n = 23)	–
Зеленые	12 (n = 2)	0,7–0,8 (n = 24)	–1,0 (P < 0,01)

животными кормами [7]. У 6 сбитых на дорогах в различных районах края куропаток в июле зобы были наполнены зерном пшеницы, в августе 2011 г. у 3 сбитых на дороге птиц в Туркменском, Арзгирском и Левокумском районах зобы и желудки полностью были наполнены голубокрылыми (*Oedipoda caerulea*) и пестрыми кобылками (*Arcyptera fusca*).

Зимой куропатки (n = 9) переходят на питание зелеными побегами и листьями злаковых трав и люцерны. При ровном рыхлом снежном покрове до

15–20 см глубиной куропатки откапывают клювом на полях озимую пшеницу. Когда снег слежится и становится твердым, то птицы перемещаются в места, где снег сдувается ветром с поверхности земли – речные террасы, холмы и обочины дорог.

Гастролиты. Гастролиты – объекты минерального происхождения (крупные песчинки и камни), которые встречаются в желудках животных. Они способствуют перетиранию плотной и волокнистой пищи, повышая усвояемость кормов, особенно в зимний период [18].

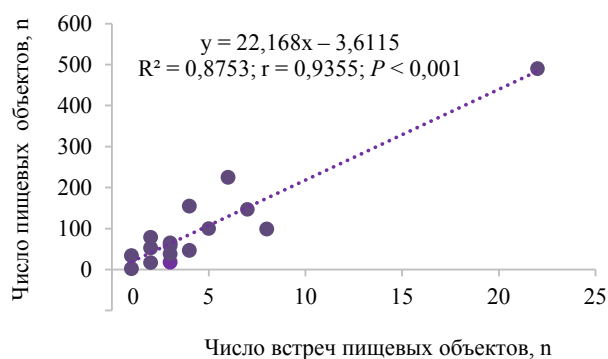


Рисунок 4. Зависимость между числом пищевых объектов и их встречаемостью в пищеварительном тракте серых куропаток

Figure 4. Correlation between the number of food objects and their occurrence in the digestive tract of gray partridges

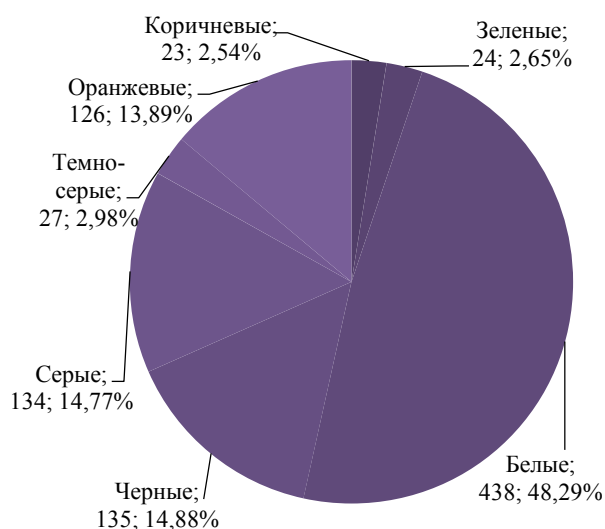


Рисунок 5. Соотношение гастролитов (n = 907) разных цветов в желудках серых куропаток

Figure 5. Ratio of gastroliths (n = 907) of different colors in the stomachs of the gray partridge

Отмеченные во всех желудках (n = 38) гастролиты разнообразны по цвету (белые, черные, серые, оранжевые, коричневые и др.), форме (уплощенные, шарообразные, неправильной формы) и размеру (табл. 3). Встречаемость гастролитов составила 100 %.

Между числом гастролитов в желудке и их диаметром для разных цветов выявлены как положительные, так и отрицательные корреляции. В желудках куропаток преобладали (48,29 %) гастролиты белого цвета (рис. 5).

Рисунки 6–9 демонстрируют как прямую (положительная корреляция), так и обратную зависимость (отрицательная корреляция) числа

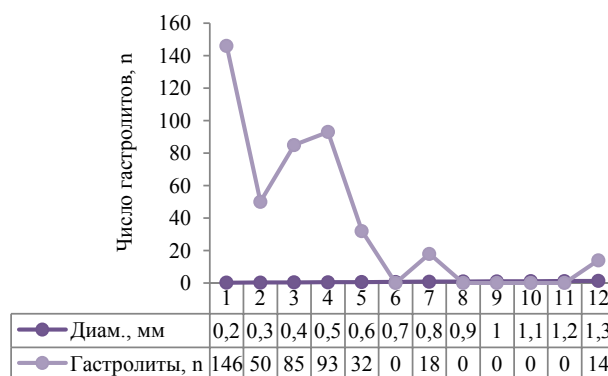


Рисунок 6. Зависимость числа белых гастролитов от их диаметра

Figure 6. Correlation between the number of white gastroliths and their diameter

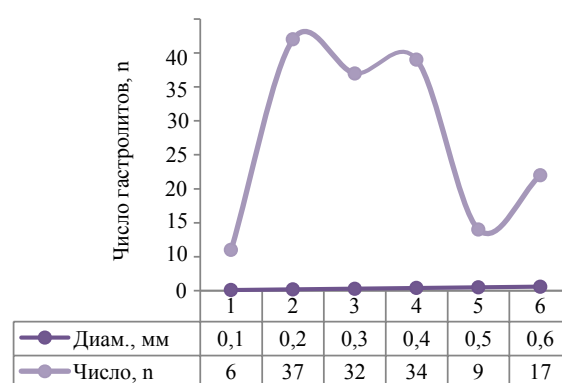


Рисунок 7. Зависимость числа черных гастролитов от их диаметра

Figure 7. Correlation between the number of black gastroliths and their diameter

гастролитов различных цветов в желудках серых куропаток от их диаметра. Зависимость сложная: отмечается до 1–3 пиков, приходящихся на различный диаметр гастролитов. У белых гастролитов (рис. 6) пики численности приходятся на камушки диаметром 0,2 и 0,4–0,5 мм. У черных гастролитов (рис. 7.) выражено 3 пика, приходящихся на диаметры 0,2–0,4 мм, у серых (рис. 8) – 0,1 и 0,3–0,4 мм, у оранжевых (рис. 9) – 0,1 и 0,4 мм.

Кормовое поведение серой куропатки характеризуется наземным поиском и добыванием корма («пешая охота»). Таким образом, поведение куропатки пространственно менее разнообразно, чем кормовое поведение, например, фазана (*Phasianus colchicus*), который добывает корм как с земли, так и при нахождении на древесно-кустарниковой растительности [7, 16].

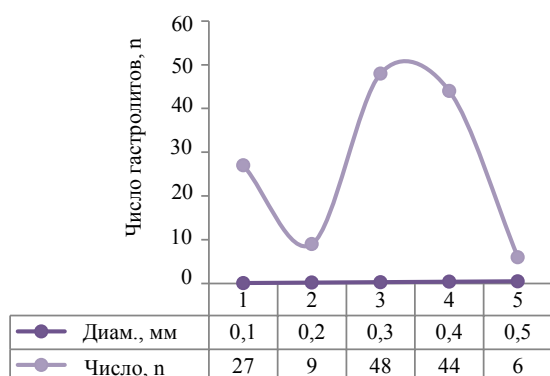


Рисунок 8. Зависимость числа серых гастролитов (в желудках серой куропатки) от их диаметра

Figure 8. Correlation between the number of grey gastroliths and their diameter

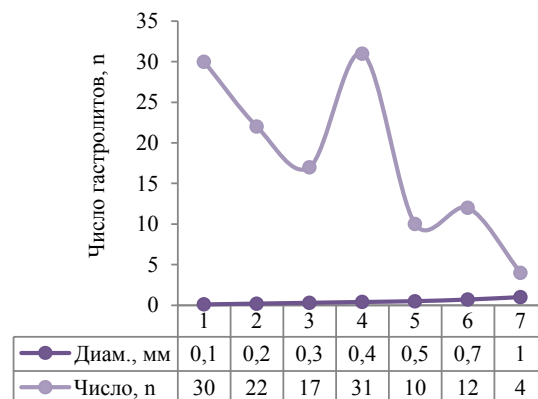


Рисунок 9. Зависимость числа оранжевых гастролитов от их диаметра

Figure 8. Correlation between the number of orange gastroliths and their diameter

«Многосторонность» кормового поведения оценена по стандартизированной мере информации (мере неупорядоченности) Шеннона-Уивера [19]:

$$\beta_H' = -\sum_{i=1}^Q P_i \log_e P_i / \log_e Q \quad (1)$$

где Q – количество кормовых классов, P – пропорция событий в классе i .

Функция Шеннона-Уивера отражает степень неравномерности распределения кормовых методов по пространственным ячейкам, которая ведет к снижению показателя β_H' . У куропаток оно равно $\beta_H' = 0$, а у фазана $\beta_H' = 0,1164$. Используя систему цифрового кодирования поведения и литературные данные, можно выделить следующие основные кормовые методы серой куропатки при наземном поиске корма [20–26]:

1) ходьба и собирание семян, падалицы ягод или малоподвижных беспозвоночных с поверхности земли;

2) активная пешая охота на подвижных наземных насекомых;

3) выклевание семян из соцветий низких травянистых растений;

4) склевывание вегетативных частей травянистых растений;

5) раскапывание земли при помощи лап и склевывание пищевых объектов;

6) раскапывание неглубокого снега клювом и лапами (при глубоком снеге наблюдается прорывание в снегу туннелей и дальнейшее раскапывание до земли) и склевывание экспонированных пищевых объектов;

7) использование участков с раскопанным снегом другими животными (зайцами и пр.).

Несколько особняком стоит кормежка куропатки березовыми сережками [7]. Мы предполагаем, что возможно это были опавшие сережки.

Выводы

Материалы, полученные в результате проведенного исследования, актуализируют информацию о характере пищевого спектра серой куропатки на территории Ставропольского края.

Серых куропаток, кроме пшеницы и кукурузы, привлекают сорные растения – птичий горец, куриное просо, щирица запрокинутая, марь белая и щетинник зеленый. Агротехнические приемы и структура севооборотов должны повышать мозаичность агроландшафта. Эффективно повышает емкость биоценозов для куропаток посадка ремизов и кормовых полей.

Необходима подкормка в зимний период и охрана птиц от браконьеров. В охотничьих угодьях в течение всего года целесообразно регулировать численность бродячих собак.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарность

Выражаем искреннюю благодарность доценту кафедры ботаники, селекции и семеноводства садовых растений РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева М. И. Попченко за помощь в определении семян растений.

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.

Acknowledgements

We express our gratitude to M.I. Popchenko, Associate Professor of the Department of Botany, Selective Breeding, and Seed Production of Garden Plants, Russian State Agrarian University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy, for assistance in identifying plant seeds.

References/Список литературы

1. Sviridova TV, Malovichko LV, Grishanov GV, Vengerov PD. Breeding conditions for birds in the nowadays farmlands of European Russia: The impact of agriculture intensification and polarization, Part II: Birds. *Biology Bulletin*. 2020;47(10):1425–1436. <https://doi.org/10.1134/S1062359020100246>
2. Hille SM, Schöll EM, Schai-Braun S. Rural landscape dynamics over time and its consequences for habitat preference patterns of the grey partridge *Perdix perdix*. *PLoS ONE*. 2021;16(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255483>
3. Gée A, Sarasa M, Pays O. Long-term variation of demographic parameters in four small game species in Europe: Opportunities and limits to test for a global pattern. *Animal Biodiversity and Conservation*. 2018;41(1):33–60. <https://doi.org/10.32800/abc.2018.41.0033>
4. Ewald JA, Sotherton NW, Aebischer NJ. Research into practice: Gray partridge (*Perdix perdix*) restoration in Southern England. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2020;8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.517500>
5. Harmange C, Bretagnolle V, Sarasa M, Pays O. Changes in habitat selection patterns of the gray partridge *Perdix perdix* in relation to agricultural landscape dynamics over the past two decades. *Ecology and Evolution*. 2019;9(9):5236–5247. <https://doi.org/10.1002/ece3.5114>
6. Koblik EA, Malovichko LV. Atypical color of grey partridge (*Perdix perdix* L.) from central Pre-Caucasis: A comparative analysis. *Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology*. 2019;54(2):59–67. (In Russ.). <https://doi.org/10.26456/vtbio71>
7. Potapov RL. Gray partridge. In: Beme RL, Grachev NP, Isakov YuA, editors. *Birds of the Soviet Union. Galliformes and gruiformes*. Leningrad: Nauka; 1987. pp. 24–39. (In Russ.).
Потапов Р. Л. Серая куропатка // Птицы СССР. Курообразные. Журавлеобразные / Р. Л. Беме, Н. П. Грачев, Ю. А. Исаков. Ленинград: Наука, 1987. С. 119–135.
8. Formozov AN. Snow cover in the life of mammals and birds. Moscow: Izdatel'stvo MSU; 1990. 286 p. (In Russ.).
Формозов А. Н. Снежный покров в жизни млекопитающих и птиц. М.: Издательство МГУ, 1990. 286 с.
9. Bostanzhoglo VN. Ornithological fauna of the Aral-Caspian steppes. Moscow: Imperatorskiy Moskovskiy Universitet; 1911. 410 p. (In Russ.).
Бостанжогло В. Н. Орнитологическая фауна Арало-Каспийских степей. М.: Императорский Московский Университет, 1911. 410 с.
10. Dinnik NYa. Ornithological observations in the Caucasus. St. Petersburg: Tipografiya V. Demakova; 1886. 379 p. (In Russ.).
Динник Н. Я. Орнитологические наблюдения на Кавказе. СПб.: Типография В. Демакова, 1886. 379 с.
11. Rusanov YaS. Gray partridge. Hunting and game management. 1992;(3–4):22–23. (In Russ.).
Русанов Я. С. Серая куропатка // Охота и охотничье хозяйство. 1992. № 3–4. С. 22–23.
12. Malovichko LV, Fedosov VN. Winter avifauna of the Eastern Primanychie. Little bustard. 2006;4(2):5–27. (In Russ.).
Маловичко Л. В., Федосов В. Н. Особенности зимней авифауны Восточного Приманьячья // Стрепет. 2006. Т. 4. № 2. С. 5–27.
13. Galushin VM, Belik VP, Zubakin VA. Effect of the current socio-economic transformations on birds in Northern Eurasia. *Proceedings of the International Conference Relevant Issues of the Research and Protection of Birds in Eastern Europe and Northern Asia*; 2001; Kazan'. Kazan': MAGARIF; 2001. p. 429–449. (In Russ.).
Галушин В. М., Белик В. П., Зубакин В. А. Реакция птиц на современные социально-экономические преобразования в Северной Евразии // Труды Международной конференции «Актуальные проблемы изучения и охраны птиц Восточной Европы и Северной Азии». Казань, 2001. С. 429–449.
14. Malovichko LV, Fedosov VN, Plesnyavkh AS. Dynamics of the avifauna of the steppe Dunda tract. *Fauna of Stavropol*. 2005;(13):50–62. (In Russ.).
Маловичко Л. В., Федосов В. Н., Плеснявых А. С. Некоторые особенности динамики авифауны степного урочища «Дунда» // Фауна Ставрополя. 2005. № 13. С. 50–62.

15. Barabash-Nikiforov II, Semago LL. Birds of the South-East of the Black Earth Center. Voronezh: Izdatel'stvo Voronezhskogo universiteta; 1963. 211 p. (In Russ.).
Барабаш-Никифоров И. И., Семаго Л. Л. Птицы юго-востока Черноземного центра. Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1963. 211 с.
16. Kaledin AP, Malovichko LV, Rezanov AG, Drozdova LS. Autumn and winter diet of *Phasianus colchicus* in the Central Ciscaucasia. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(1):133–143. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-133-143>
17. Prekopov AN. The golden bee-eater in Ciscaucasia. Proceedings of the Voroshilov State Pedagogical Institute. 1940;3(2):240–442. (In Russ.).
Прекопов А. Н. К биологии золотистой шурки в Предкавказье // Труды Ворошиловского государственного педагогического института. 1940. Т. 3. № 2. С. 240–442.
18. Alekseev VN. Seasonal variability of the maintenance gastrolite in stomachs of hazel grouses in Southern Urals mountains. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series. 2015;120(1):18–25. (In Russ.).
Алексеев В. Н. Сезонная изменчивость содержания гастролитов в желудках рябчиков на Южном Урале // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 2015. Т. 120. № 1. С. 18–25.
19. MacNally R. C. On characterizing foraging versatility, illustrated by using birds. Oikos. 1994;69(1):95–106. <https://doi.org/10.2307/3545288>
20. Rezanov AG. Feeding behavior of birds: Generalized method of description and ecological and geographical features. Dr. Sci. Bio. diss. Moscow: Moscow Pedagogical State University; 2000. 417 p. (In Russ.).
Резанов А. Г. Кормовое поведение птиц: генерализованный метод описания и эколого-географические особенности: дис. ... д-ра био. наук. М.: 2000, 417 с.
21. Rezanov AG. Feeding behavior of birds: Digital coding method and database analysis. Moscow: Izdat-shkola; 2000. 223 p. (In Russ.).
Резанов А. Г. Кормовое поведение птиц: метод цифрового кодирования и анализ базы данных. М.: Издательство школы, 2000. 223 с.
22. Kholodkovskiy NA, Silant'ev AA. Birds of Europe. St. Petersburg: A.F. Devriena; 1901. 636 s. (In Russ.).
Холодковский Н. А., Силантьев А. А. Птицы Европы. СПб.: А. Ф. Девриена, 1901. 636 с.
23. Formozov AN, Osmolovskaya VI, Blagosklonov KN. Birds and forest pests: Role of birds in regulating the number of harmful insects in forests and forest plantations. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo obshchestva ispytateley prirody; 1950. 182 p. (In Russ.).
Формозов А. Н., Осмоловская В. И., Благодосклонов К. Н. Птицы и вредители леса: Значение птиц в регулировании численности вредных насекомых леса и лесных посадок. М.: Издательство Московского общества испытателей природы, 1950. 182 с.
24. Kartashev NN. Genus Partridge. In: Dement'ev GP, Gladkov NA, editors. Birds of the Soviet Union. Moscow: Sovetskaya nauka; 1952. pp. 226–246. (In Russ.).
Карташев Н. Н. Род Куропатки // Птицы Советского Союза / под ред. Г. П. Дементьева, Н. А. Гладкова. М.: Советская наука, 1952. С. 226–246.
25. Beketov SV, Kaledin AP, Senator SA, Upelnik VP, Kuznetsov SB, Stolpovsky YuA. Zeboid cow milk: physicochemical quality indicators. Foods and Raw Materials. 2022;10(1):171–175. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-171-175>
26. Cramp S, Simmons KEL. Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa: The birds of the Western Palearctic. Vol. 2. Oxford: Oxford University Press; 1979. 696 p.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2368>
<https://elibrary.ru/SQQANW>

Краткое сообщение
<https://fptt.ru>

Паштеты с инулинсодержащей добавкой



И. У. Кусова*^{ID}, **С. К. Ильдирова**^{ID},
Н. А. Федотова^{ID}, **Д. И. Быстров**^{ID}

Московский государственный университет пищевых производств^{ROR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 26.04.2022

Принята после рецензирования: 16.05.2022

Принята в печать: 27.05.2022

*И. У. Кусова: ildirovask@mgupp.ru,

<https://orcid.org/0000-0001-8022-7229>

С. К. Ильдирова: <https://orcid.org/0000-0001-5746-8147>

Н. А. Федотова: <https://orcid.org/0000-0002-4389-0512>

Д. И. Быстров: <https://orcid.org/0000-0003-4132-0839>

© И. У. Кусова, С. К. Ильдирова,
Н. А. Федотова, Д. И. Быстров, 2022



Аннотация.

Паштеты пользуются большой популярностью у населения, поскольку удобны для потребления. Данный вид кулинарных изделий является перспективным объектом для обогащения функциональными пищевыми ингредиентами. Цель данного исследования заключалась в оценке состава и органолептических показателей разработанных паштетов функционального назначения с порошком цикория.

Объектами исследования являлись паштет из печени говядины и паштет из печени курицы с добавлением гидратированного инулинсодержащего порошка цикория. В работе были использованы стандартные методы исследования.

Разработаны паштеты с гидратированным инулинсодержащим порошком цикория в количестве 3 % основного сырья. Органолептический анализ показал соответствие нормативной документации внешнего вида, вкуса и консистенции паштетов. Отмечено повышенное содержание углеводов, в том числе инулина.

При потреблении 100 г готового паштета организм человека может получить до 13 % пребиотика от нормы, рекомендованной физиологами.

Ключевые слова. Пребиотики, паштет, инулин, пищевая ценность, цикорий

Финансирование. Работа выполнена на базе кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса Московского государственного университета пищевых производств (МГУПП)^{ROR}.

Для цитирования: Паштеты с инулинсодержащей добавкой / И. У. Кусова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 344–349. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2368>

Pâté with Inulin Supplement

Irina U. Kusova*^{ORCID}, Svetlana K. Ildirova^{ORCID},
Nelya A. Fedotova^{ORCID}, Dmitriy I. Bystrov^{ORCID}

Moscow State University of Food Production^{ORCID}, Moscow, Russia

Received: 26.04.2022
Revised: 16.05.2022
Accepted: 27.05.2022

*Irina U. Kusova: ildirovask@mgupp.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-8022-7229>
Svetlana K. Ildirova: <https://orcid.org/0000-0001-5746-8147>
Nelya A. Fedotova: <https://orcid.org/0000-0002-4389-0512>
Dmitriy I. Bystrov: <https://orcid.org/0000-0003-4132-0839>

© I.U. Kusova, S.K. Ildirova,
N.A. Fedotova, D.I. Bystrov, 2022



Abstract.

Pâté are very comfortable for consumption, which makes them very popular. Pâté also has a good functional potential. The research objective was to assess the composition and sensory properties of new functional pâtés with chicory powder. The study featured beef liver pâté and chicken liver pâté with hydrated inulin-containing chicory powder. The tests relied on standard methods.

The new pâté had 3% of hydrated inulin-containing chicory powder. The sensory assessment proved that the appearance, taste, and texture complied with the normative documentation. The function product had a high content of carbohydrates, including inulin.

100 g of ready-made pâté provide 13% of the daily intake of prebiotics.

Keywords. Prebiotics, pate, inulin, nutritional value, chicory

Funding. The research was carried out on the premises of the Department of Food Industry, Hotel Business, and Service of the Moscow State University of Food Production (MSUFP)^{ORCID}.

For citation: Kusova IU, Ildirova SK, Fedotova NA, Bystrov DI. Pâté with Inulin Supplement. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):344–349. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2368>

Введение

Проблема микроэкологии кишечника привлекает большое внимание не только врачей, но и специалистов технологов пищевых производств [1]. Микроэкологическая система организма как взрослого, так и ребенка – очень сложный филогенетический комплекс, который включает разнообразные по количественному и качественному составу ассоциации микроорганизмов и продукты их биохимической активности (метаболиты) [2, 3]. Состояние динамического равновесия между организмом хозяина, микроорганизмами, которые заселяют кишечник, и окружающей средой принято называть «эубиоз». При этом здоровье человека находится на оптимальном уровне [4]. При нарушении этого динамического равновесия возникает дисбактериоз кишечника, при котором изменяется функционирование всего организма человека и нарушается баланс микрофлоры. Это приводит к возникновению и развитию

заболеваний. В России около 90 % населения страдает разными формами дисбактериоза, спровоцированного несбалансированным питанием, хроническими и функциональными заболеваниями органов и систем, психоэмоциональными стрессами и бесконтрольным применением медицинских препаратов [5–7].

Пребиотики – пищевые добавки немикробного происхождения, которые не перевариваются в кишечнике и способны благоприятно влиять на организм через селективную стимуляцию роста и активность микрофлоры кишечника [8]. К пребиотикам относятся различные олигосахариды, содержащиеся в растительном сырье корне цикория, корнях лопуха, чесноке, бананах, амаранте багряном и др. [9, 10].

Инулин относится к группе растворимых пищевых волокон, обладающих пребиотическим эффектом. Он не переваривается пищеварительными ферментами организма человека. Инулин способствует

выведению радионуклидов и тяжелых металлов, оказывает сахароснижающее, желчегонное, успокаивающее, антиатеросклеротическое, противовоспалительное и иммуностимулирующее действия [11, 12]. Инулин улучшает работу пищеварительной системы человека, способствует росту полезной микрофлоры кишечника и повышению иммунитета, улучшает усвоение кальция и магния, снижает уровень холестерина [13]. Несмотря на неоднократное воздействие высокой температуры и фракционное осаждение, пребиотические вещества сохраняют способность связывать токсичные и радиоактивные элементы, образуя нейтральные соединения, которые выводятся из кишечника [14].

Большим содержанием инулина характеризуются корни цикория (до 60 %). Кроме инулина, корни цикория содержат белковые вещества и сахара: левулозу (10–20 %), фруктозу (4,5–9,5 %), пектин, холин, гликозид интибина (0,2 %), придающий горький вкус, яблочную, лимонную и другие органические кислоты. В состав цикория входят около 33 минеральных элементов, витамины А, Е, В₁, В₂, В₁₂, РР, дубильные вещества, минеральные соли и микроэлементы [15–17].

Использование в рецептурах мясных продуктов различных видов растительного сырья позволяет не только увеличить ассортимент, но и получить продукт с заданными свойствами, отвечающий современным требованиям [18].

Паштеты представляют мелко измельченный варено-запеченный фарш, содержащий мясное сырье (мясо птицы, свинины, говядины), субпродукты (печень, мозги, сердце), поваренную соль и различные вкусо-ароматические добавки [19, 20].

Пребиотики термолabileльны и при нагреве образуют структурированные и плотные гели, которые во время охлаждения образуют студни. В паштетной массе они взаимодействуют с

белками пищевой системы. В результате этого формируются углеводно-белковые комплексы, которые улучшают структуру продукта.

Технологии паштетов помогают получить однородную обезличенную пищевую систему и позволяют решить проблему использования отдельных мелких частей сырья и их превращения в высококачественные продукты с высокими органолептическими и физико-химическими показателями, соответствующими требованиям нормативной документации [21].

Целью данного исследования является оценка состава и органолептических показателей разработанных паштетов функционального назначения с введением пребиотического компонента – гидратированного инулинсодержащего порошка цикория.

Объекты и методы исследования

Для приготовления мясных паштетов применяли сырье, соответствующее требованиям технической документации и ТР ТС 034/2013: печень говядины и печень курицы. Также были использованы лук репчатый, морковь и гидратированный инулинсодержащий порошок цикория.

Гидратированный инулинсодержащий порошок цикория был выдержан в водно-спиртовом растворе с последующим фильтрованием, высушиванием и измельчением. При проведении исследования показателей качества паштетов сенсорными методами полученная фракция добавки с размерами частиц 10^{-3} – 10^{-4} см не ощущается в продуктах питания.

Оценку химического состава и органолептических показателей полученных паштетов проводили согласно нормативной документации. Массовую долю белка в образцах определяли по ГОСТ 25011-20174, массовую долю жира – по ГОСТ 23042-20155, массовую долю углеводов – расчетным методом, массовую

Таблица 1. Рецептуры паштетов из разных видов сырья с использованием гидратированного инулинсодержащего порошка цикория

Table 1. Formulations of pâté from different raw materials with hydrated inulin-containing chicory powder

Наименования сырья	Паштет из печени говядины, нетто, г		Паштет из печени курицы, нетто, г	
	Контроль	Образец	Контроль	Образец
Печень говядины	90,0	87,0	–	–
Печень куриная	–	–	88,0	85,0
Лук репчатый	10,0	10,0	10,0	10,0
Морковь	7,0	7,0	7,0	7,0
Шпик	10,0	10,0	10,0	10,0
Перец черный молотый	0,06	0,06	0,06	0,06
Бульон	5,0	5,0	5,0	5,0
Масло сливочное	10,0	10,0	10,0	10,0
Выход	100,0	100,0	100,0	100,0

Таблица 2. Органолептические показатели паштетов с гидратированным инулинсодержащим порошком цикория

Table 2. Sensory profile of pâté from different raw materials with hydrated inulin-containing chicory powder

Показатели	Контроль (паштет из печени говядины)	Образцы паштетов с гидратированным инулинсодержащим порошком цикория	
		Из печени говядины	Из печени курицы
Внешний вид	Однородная масса	Однородная масса	Однородная масса
Цвет	Серо-коричневый	Серо-коричневый	Светло-коричневый
Консистенция	Мазеобразная, тонкая	Мазеобразная, тонкая	Мазеобразная, тонкая
Запах	Слабый приятный запах печени	Слабый приятный запах печени	Слабый приятный запах печени
Вкус	С характерным вкусом печени с овощами	С характерным вкусом печени с овощами	С характерным вкусом печени с овощами

Таблица 3. Химический состав паштетов, в 100 г продукта

Table 3. Chemical composition, per 100 g

Наименование изделия	Белки, г	Жиры, г	Углеводы/ в т. ч. инулин, г	Энергетическая ценность, ккал
Паштет из печени говядины (контроль)	19,0	17,0	7,0	207
Паштет из печени говядины с гидратированным инулинсодержащим порошком цикория 3 %	19,0	16,5	8,3/1,3	225
Паштет из печени курицы (контроль)	14,0	16,0	6,0	174
Паштет из печени курицы с гидратированным инулинсодержащим порошком цикория 3 %	14,0	16,0	7,8/1,8	191

долю влаги – по ГОСТ 9793-20166, массовую долю инулина – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Органолептическую оценку разработанных паштетов проводили в соответствии с ГОСТ 9959-201510.

Все эксперименты проведены в 4-х кратной повторности. Полученные результаты обрабатывались методами математической статистики. Уровень доверительной вероятности – 0,95.

Результаты и их обсуждение

Авторами разработана технология изготовления паштетов с использованием гидратированного инулинсодержащего порошка цикория. Рецептуры представлены в таблице 1.

В опытных образцах паштетов 3 % основного сырья были заменены на гидратированный инулинсодержащий порошок цикория. Образцы паштетов без добавки использовали как контроль.

Перед введением в паштетную массу гидратированный инулинсодержащий порошок цикория необходимо соединить с бульоном температурой 55–60 °С, выдержать 10–15 мин и тщательно перемешать со сливочным маслом до пастообразной массы.

Подготовленную печень, шпик и овощи измельчали и обжаривали при температуре 150–160 °С в течение

25–30 мин. В конце обжарки добавляли соль и специи. Затем полученную массу гомогенизировали и вводили пребиотическо-масляный комплекс, тщательно перемешивали. Полученный продукт пастеризовали, охлаждали и упаковывали.

Органолептические показатели паштетных изделий с добавлением порошка цикория соответствовали требованиям нормативной документации для паштетов, приготовленных по традиционной технологии (табл. 2).

Был исследован химический состав разработанной продукции (табл. 3).

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении в разработанных паштетах количества углеводов, в том числе пребиотического компонента инулина.

Выводы

За счет внесения гидратированного инулинсодержащего порошка цикория в паштете из говяжьей печени повышается биологическая ценность на 11 %, в паштете из куриной печени – на 13 %. Внешний вид, вкус и консистенция паштетов не ухудшаются. В следующих исследованиях запланировано изучение структурно-механических и реологических показателей и сроков хранения.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в подготовке и написании статьи.

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Li C, Niu Z, Zou M, Liu S, Wang M, Gu X, *et al.* Probiotics, prebiotics, and synbiotics regulate the intestinal microbiota differentially and restore the relative abundance of specific gut microorganisms. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(7):5816–5829. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-18003>
2. Shi M, Zhang L, Tian M, Chen F. The comparison of prebiotic roles of different vegetable and fruit powders using in vitro simulation intestinal microecology system. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*. 2020;20(2):87–94. <https://doi.org/10.16429/j.1009-7848.2020.02.011>
3. Chicherin IYu, Pogorelsky IP, Lundovskikh IA, Darmov IV, Shabalina MR. Intestinal dysbiosis, human health and functional nutrition. *Theory and Practice of Meat Processing*. 2017;2(4):44–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2017-2-4-44-61>
4. Shenderov BA. Current state and prospects of the concept of Functional Nutrition. *Food Industry*. 2016;(6):44–47. (In Russ.).
Шендеров Б. А. Современное состояние и перспективы развития концепции «Функциональное питание» // Пищевая промышленность. 2016. № 6. С. 44–47.
5. Gaziyeva RM, Kryuchkova VV, Belik SN, Skripin PV. Intestinal dysbiosis and possibility of its correction by functional fermented milk products. *Bulletin of Don State Agrarian University*. 2017;23(1–1):121–130. (In Russ.).
Дисбиоз кишечника и возможности его коррекции функциональными кисломолочными продуктами / Р. М. Газиева [и др.] // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2017. Т. 23. № 1–1. С. 121–130.
6. Nemchenko UM, Ivanova EI, Grigorova EV, Savelkaeva MV, Rychkova LV. The characteristic composition of the intestinal microbiota in adults with functional dyspepsia. *The Far Eastern Journal of Infections Pathology*. 2018;35(35):48–51. (In Russ.).
Характеристика состава кишечного микробиоценоза у взрослого населения с функциональной диспепсией / У. М. Немченко [и др.] // Дальневосточный журнал инфекционной патологии. 2018. Т. 35. № 35. С. 48–51.
7. Chen G, Li Y, Li X, Zhou D, Wang Y, Wen X, *et al.* Functional foods and intestinal homeostasis: The perspective of *in vivo* evidence. *Trends in Food Science and Technology*. 2021;111:475–482. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.075>
8. Zakharova LM, Gorbunchikova MS. A New Synbiotic Fermented Dairy Product: Technological Production Features. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(1):17–28. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-17-28>
9. Nikolaeva SV, Zolotarev YuV, Gorelov AV. The use of probiotics in medical practice. *Russian Medical Inquiry*. 2018;2(8–2):84–87. (In Russ.).
Николаева С. В., Золотарев Ю. В., Горелов А. В. Применение пробиотиков в медицинской практике. *Русский медицинский журнал // Медицинское обозрение*. 2018. Т. 2. № 8–2. С. 84–87.
10. Ooi MCY, Zhang X, Beaudry CM, Lim J, Penner MH. Chromatographic preparation of food-grade prebiotic oligosaccharides with defined degree of polymerization. *Food Chemistry*. 2022;373. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131542>
11. Vera C, Illanes A, Guerrero C. Enzymatic production of prebiotic oligosaccharides. *Current Opinion in Food Science*. 2021;37:160–170. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.013>
12. Inulin as a natural prebiotic [Internet]. [cited 2022 Apr 06]. Available from: <http://propionix.ru/inulin-obshchie-svedeniya>
Инулин – натуральный пребиотик. URL: <http://propionix.ru/inulin-obshchie-svedeniya> (дата обращения: 06.04.2022).
13. Gulyuk NG, Lukin ND, Puchkova TS, Pikhalo DM. Processing of inulin-containing raw materials for inulin and its derivatives. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2017;31(8):76–79. (In Russ.).
Переработка инулинсодержащего сырья на инулин и его производные / Н. Г. Гулюк [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 8. С. 76–79.

14. Gapon MN. New approaches to diagnosis of dysbacteriosis of the colon. *Kuban Scientific Medical Bulletin*. 2017;161(6):30–35. (In Russ.).

Гапон М. Н. О новых подходах к диагностике дисбактериоза толстой кишки // Кубанский научный медицинский вестник. 2017. Т. 161. № 6. С. 30–35.

15. Perović J, Tumbas Šaponjac V, Kojić J, Krulj J, Moreno DA, García-Viguera C, *et al.* Chicory (*Cichorium intybus* L.) as a food ingredient – Nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A review. *Food Chemistry*. 2021;336. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127676>

16. Nayda N.M. Some peculiarities of growth and development of *Cichorium intybus* in crop conditions of Leningrad region. *Izvesniya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2018;(50):11–17. (In Russ.).

Найда Н. М. Некоторые особенности роста и развития цикория обыкновенного в условиях культуры в ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018. № 50. С. 11–17.

17. Polyanina TYu, Vyutnova OM, Novikova IA. Economic importance, chemical composition and medicinal properties of chicory. *News of FSVS*. 2019;(2):94–97. (In Russ.). <https://doi.org/10.18619/2658-4832-2019-2-94-97>

18. Barkov VG, Velichko NA, Ivanova OV. The development of the compounding of meat and cereal pate from turkey meat. *Bulletin of KSAU*. 2019;146(5):167–173. (In Russ.).

Баркова В. Г., Величко Н. А., Иванова О. В. Разработка рецептуры мясорастительного паштета из мяса индейки // Вестник КРАСГАУ. 2019. Т. 146. № 5. С. 167–173.

19. Bazhenova BA, Zhamsaranova SD, Zabalueva YuYu, Gerasimov AV, Zambulaeva ND. Effects of lingonberry extract on the antioxidant capacity of meat paste. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):250–258. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-250-258>

20. Zinina OV, Gavrilova KS, Pozdnyakova MA. Research of meat-vegetable pate enriched with non-traditional food ingredients. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2018;6(4):61–66. (In Russ.). <https://doi.org/10.14529/food180408>

21. Gargaeva AG, Gurinovich GV. Developing the recipes of protein-fat emulsions for poultry meat pastes. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;47(4):33–39. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2017-4-33-39>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2369>
<https://elibrary.ru/TAGLWJ>

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

Ecotoxicological Analysis of Fallow Soils at the Yamal Experimental Agricultural Station

Timur I. Nizamutdinov¹, Azamat R. Suleymanov^{1,2},
Evgenia N. Morgun³, Natalia V. Dinkelaker⁴, Evgeny V. Abakumov^{1,*}

¹ Saint-Petersburg State University^{ROR}, St. Petersburg, Russia

² Institute of Biology Ufa Science Center of the Russian Academy of Sciences^{ROR}, Ufa, Russia

³ Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District^{ROR}, Salekhard, Russia

⁴ ITMO University^{ROR}, St. Petersburg, Russia

Received: 03.03.2022

Revised: 13.04.2022

Accepted: 30.05.2022

*Evgeny V. Abakumov: e_abakumov@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-5248-9018>

Timur I. Nizamutdinov: <https://orcid.org/0000-0003-2600-5494>

Azamat R. Suleymanov: <https://orcid.org/0000-0001-7974-4931>

Evgenia N. Morgun: <https://orcid.org/0000-0002-4178-4417>

Natalia V. Dinkelaker: <https://orcid.org/0000-0002-1821-0044>

© T.I. Nizamutdinov, A.R. Suleymanov,
E.N. Morgun, N.V. Dinkelaker, E.V. Abakumov, 2022



Abstract.

The agricultural use of soils is limited by their contamination with various compounds and low contents of nutrients. We aimed to study the unique soils of the Yamal Experimental Station to determine their contamination with heavy metals and assess their potential fertility.

Established in 1932, the Yamal Experimental Station (Salekhard, Russia) has bred new varieties of vegetable crops in open and protected ground. In August 2021, we made a soil section and 40 pits in a 0–10 cm layer. X-ray fluorescence was used to determine 11 metals and oxides. The qualitative assessment was based on the total soil pollution, soil pollution, and geoaccumulation indexes. Finally, we determined the contents of nutrients.

The metals and metal oxides showed regressive-accumulative distribution along the soil profile. The concentrations of all ecotoxicants (except for arsenic) were within the maximum/approximate permissible values. Since arsenic has a high regional background content, its elevated concentrations make the soil suitable for agricultural use if proper quality control is in place. The total soil pollution index classified the level of pollution as “acceptable”. The geoaccumulation index showed the soils as mostly “unpolluted” with metals. The soil pollution index had values below 1, which indicated the absence of pollution.

The fallow soils of the Yamal Experimental Station have a high level of potential fertility and are suitable for agricultural reuse according to the soil quality indexes applied. They can also serve as a local geochemical standard that has a long history of agrogenic transformation in cryogenic ecosystems. Taking into account increased concentrations of arsenic, we recommend primary quality control of agricultural products to identify its possible migration in the soil-plant system.

Keywords. Ecotoxicological state, soil quality, agrozems, heavy metals, Arctic, polar agriculture

Funding. This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 19-416-890002 “The microbiome of fallow soils in the agroecosystems of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug: diversity, features, taxonomy, and changes”) and the Department of External Relations of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug.

For citation: 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. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2369>

Почвы залежного поля Ямальской опытной станции: эколого-аналитическая оценка



Т. И. Низамутдинов¹, А. Р. Сулейманов^{1,2},
Е. Н. Моргун³, Н. В. Динкелакер⁴, Е. В. Абакумов^{1,*}

¹ Санкт-Петербургский государственный университет , Санкт-Петербург, Россия

² Уфимский институт биологии УФИЦ РАН , Уфа, Россия

³ ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» , Салехард, Россия

⁴ Национальный исследовательский университет ИТМО , Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию: 03.03.2022

Принята после рецензирования: 13.04.2022

Принята в печать: 30.05.2022

*Е. В. Абакумов: e_abakumov@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-5248-9018>

Т. И. Низамутдинов: <https://orcid.org/0000-0003-2600-5494>

А. Р. Сулейманов: <https://orcid.org/0000-0001-7974-4931>

Е. Н. Моргун: <https://orcid.org/0000-0002-4178-4417>

Н. В. Динкелакер: <https://orcid.org/0000-0002-1821-0044>

© Т. И. Низамутдинов, А. Р. Сулейманов,
Е. Н. Моргун, Н. В. Динкелакер, Е. В. Абакумов, 2022



Аннотация.

Одним из основных факторов, лимитирующих сельскохозяйственное использование почв, является их загрязненность различными соединениями и низкое содержание элементов питания. Цель работы – исследование уникальных почв Ямальской опытной станции на предмет их загрязненности тяжелыми металлами и оценка их потенциального плодородия. Объектом исследования являлась Ямальская опытная станция (Салехард), на которой с 1932 г. велись опытные работы по выведению различных сортов овощных культур в открытом и закрытом грунте. В августе 2021 г. заложен почвенный разрез и 40 прикопок в 0–10 см слое. Рентген-флуоресцентным методом были определены концентрации 11 металлов и оксидов. Качественная оценка почв осуществлялась с помощью индексов суммарного загрязнения почв (Z_c), загрязнения почв и геоаккумуляции (I_{geo}). Определяли содержание элементов питания.

Распределение металлов и оксидов металлов по почвенному профилю соответствует регрессионно-аккумулятивному типу. Концентрации изученных экотоксикантов (за исключением мышьяка) не превышали ориентировочно допустимые и предельно допустимые. Были зафиксированы повышенные концентрации мышьяка, но, учитывая высокий региональный фон этого элемента, отнесение почвы к классу непригодных не является обоснованным при организации контроля за качеством почв и сельскохозяйственной продукции. Качественная оценка полиэлементного загрязнения почвы, основанная на фоновых региональных концентрациях загрязняющих веществ, показала, что по индексу Z_c уровень загрязнения соответствует допустимому. Применение индекса I_{geo} показало, что почвы «практически не загрязнены» металлами. Значения индекса загрязнения почв менее 1, что свидетельствует об отсутствии загрязнения.

Почвы залежного поля Ямальской опытной агростанции обладают высоким уровнем потенциального плодородия и пригодны для повторного вовлечения в сельскохозяйственный оборот по комплексным показателям качества почв. Они могут служить локальным геохимическим эталоном с долготелетней историей наблюдений агрогенной трансформацией почв криогенных экосистем. Принимая во внимание повышенные концентрации мышьяка, рекомендуется проведение первичного контроля качества сельскохозяйственной продукции на предмет его возможной миграции в системе почва – растение.

Ключевые слова. Экотоксикологическое состояние, качество почв, агроземы, тяжелые металлы, Арктика, полярное земледелие

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-ЯНАО № 19-416-890002 «Микробиом залежных почв агроэкосистем Ямало-Ненецкого автономного округа: разнообразие, свойства, таксономия и динамика» и при поддержке Департамента внешних связей Ямало-Ненецкого АО.

Для цитирования: Почвы залежного поля Ямальской опытной станции: эколого-аналитическая оценка / Т. И. Низамутдинов [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 350–360. (На англ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2369>

Introduction

Polymetallic contamination of soil and topsoil is one of the main factors that limit agricultural activity on open ground. Monitoring concentrations of heavy and trace metals is particularly vital if agricultural land is located within urban ecosystems. Anthropogenic load on urban soils has been well studied globally, with researchers repeatedly recording high concentrations of heavy metals [1, 2]. The harmful effects of industrial emissions and products of fossil fuel combustion, as well as illegal waste disposal, degrade topsoil and make it dangerous for human life and health [3–8].

Established in 1932, the Yamal Experimental Station is uniquely located in the city of Salekhard (Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Russia) on the Arctic Circle (Fig. 1). Its fields were first cultivated in 1933 and planted in 1934. Back then, they were fertilized with manure. Later, the station's agriculturists began to test various farming methods and fertilizers (superphosphate, bone meal, potassium salt, and ash) on separate microsites. They harrowed and plowed the land to various depths and cultivated various crops, including radish, turnip, potatoes, cabbage, cauliflower, kohlrabi, rutabaga, beetroot, and vetch-oat mixture. Up until early 1990s, the station had done active research, practicing regular crop rotations, using mineral and organic fertilizers, etc. However, the economic and political crisis in the country put an end to all experimental work. No crops were planted for 10 years except for potatoes, and in 2019, the field was completely abandoned [9–12].

The monitoring of agricultural lands located near and within large cities is especially important in terms of their environmental protection and food security. The quality of crop production directly depends on the ecotoxicological state of the soil since toxic substances accumulating in the roots of plants pose a threat to public health [13–16]. Therefore, we aimed to conduct an ecological analysis of the quality of soils at the Yamal



Figure 1. Aerial photograph of the Yamal Experimental Station's field

Experimental Station in terms of their applicability for agriculture. To achieve this aim, we set the following objectives:

- 1) determine the concentrations of heavy metals and oxides in the soil;
- 2) measure pollution levels against the sanitary and hygienic standards of the Russian Federation;
- 3) examine the ecotoxicological state of soils using complex indices; and
- 4) assess potential soil fertility based on the content of main nutrients.

Study objects and methods

For this study, we used a field of the Yamal Experimental Station (Fig. 2) established in the city of Salekhard (Yamal-Nenets Autonomous Okrug, Russia). The station is currently managed by the Tyumen Scientific Center (Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences). Salekhard is located on the Arctic Circle (66°31'48" N 66°36'06" E) on the border between the subarctic and the temperate climatic zones. Its annual precipitation varies from 220 to 400 mm, mostly falling in spring and summer. The region has low evapotranspiration and constant excess of moisture. Its average temperatures are –23.2°C in January and +14.8°C in July, with +7°C as the annual average. In the warmest months, the temperature of the soil is +13°C at a depth of 10 cm [11, 17].

The soil cover is represented by Plaggic Podzol (Turbic). Long-term agricultural use has formed a unique soil profile (Fig. 3), which is not typical for the background soils of the pristine zones in vicinities of Salekhard city. The upper horizon (Ap) up to 30 cm thick is a brown, clay loamy, agro-light-humus soil permeated with roots. This humus-accumulative horizon gives way to a 45 cm thick illuvial-ferruginous, sandy loamy, gleyic with placic layer horizon (Bs), which gradually turns into sandy, structureless, placic horizons (BCg and Cg@) with redoximorphic features and spots.

The sampling took place in August, 2021, for which we made a soil section and 40 pits in a layer of 0–10 cm. The soil samples were placed in sealed plastic bags and labeled. Laboratory and analytical work was carried out at the Department of Applied Ecology (St. Petersburg State University) and at ITMO University (St. Petersburg). After delivery to St. Petersburg, the soil samples were air-dried in a separate room. Then, they were ground in a porcelain mortar, sieved through a 1 mm mesh sieve, and weighed for further analysis by quartering.

The contents of heavy metals were quantitatively determined by X-ray fluorescence (FR.1.31.2018.32143) using a Spectroscan Max-G spectrometer. The samples were ground in a disk grinder to a particle size of $\leq 71 \mu\text{m}$ and air-dried (clauses 5.1–5.5, State Standard ISO 11464-2015). Then, they were pressed into a cup of boric acid. For this, we poured boric acid into a

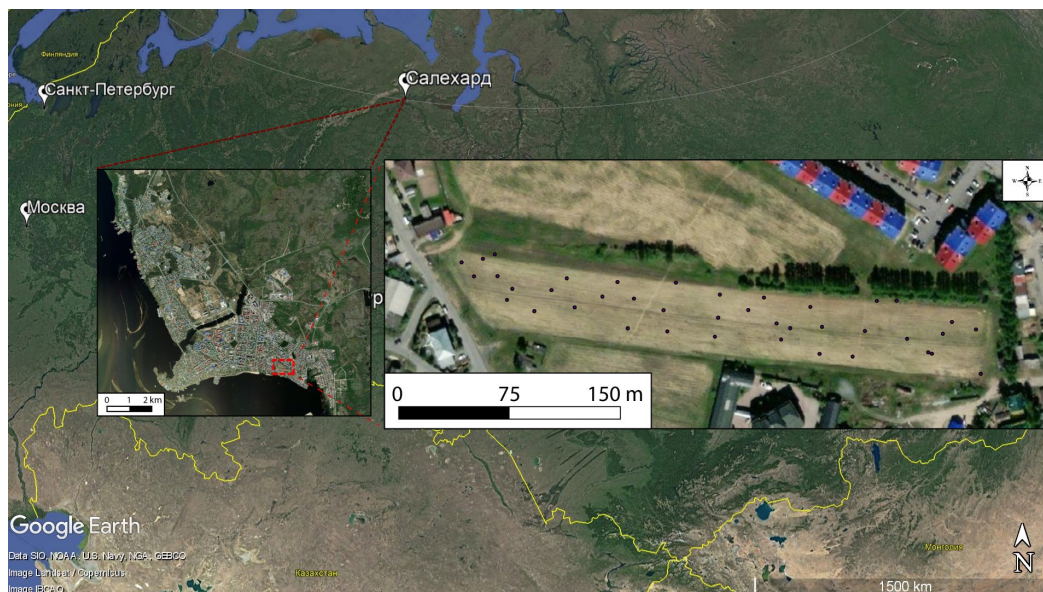


Figure 2. Location of Salekhard and soil sampling sites

mold and formed a cup (at least 3 mm deep) with a figured punch. The sample was then poured into the cup and pressed with a smooth punch and a press. The tablet was placed into the sample holder and then into the spectrometer. The samples were automatically analyzed to determine total contents of 11 elements (oxides): strontium, lead, arsenic, zinc, nickel, cobalt, vanadium, chromium, iron oxide (III), manganese oxide, and titanium dioxide.

Nutrients were determined by standard methods, namely:

– mobile phosphorus and exchangeable potassium: by the Kirsanov method;

– ammonium nitrogen: by the Arinushkina colorimetric method; and

– nitrate nitrogen: by the ionometric method [18].

Several complex indices were used to qualitatively assess the ecotoxicological state of the Yamal Experimental Station's soils, namely the total soil pollution index, the soil pollution index, and the geoaccumulation index.

The total soil pollution index (Z_c) was calculated by using formulas 1 and 2 [19].

$$K_c = \frac{C_i}{C_{bi}} \quad (1)$$

where C_i is the actual content of a substance in soil, mg/kg; C_{bi} is the regional background, mg/kg

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1) \quad (2)$$

where n is the total number of substances; K_{ci} is the concentration coefficient of the i -th pollution component.

The soil pollution index (SPI) was based on maximum permissible concentrations (MPC) and calculated by using formula 3. In essence, this index represents the integral level of threshold limit values. The higher it is, the worse the soil's ecotoxicological state. Its values of > 1.0 indicate soil contamination.

$$SPI = \sum_m^i (C_i / C_{MPC}) / n \quad (3)$$

where C_i / C_{MPC} is the ratio of a substance content to MPC at the sampling point; n is the number of substances to be determined.



Figure 3. Profile of Plaggic Podzol (Turbic)

The geoaccumulation index I_{geo} , which was originally proposed by Müller for bottom sediments and later used to assess the ecotoxicological state of soils, was calculated by formula 4 [20–24]

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5B_n} \quad (4)$$

where C_n is the content of an element in soil; B_n is the geochemical background; 1.5 is the compensation factor.

As can be seen from the above formulas, the complex indices were calculated without using generally accepted maximum or approximate permissible concentrations of pollutants. Instead, they were based on the background values of element concentrations, which we calculated by analyzing and averaging those values published in literature. Particularly, we determined element concentrations for the outskirts of Salekhard; Arctic and Southern Yamal, as well as Belyi Island; the Nadym-Pur and Pur-Taz interfluvies; the north of Western Siberia, and the Upper Taz Nature Reserve [25–35]. Table 1 shows averaged background concentrations and effective maximum/approximate permissible concentrations (Sanitary Standard 1.2.3685-21).

The current approximate permissible concentrations (APCs) follow Hygienic Standard 2.1.7.2042-06, which was later replaced by Sanitary Standard 1.2.3685-21 with the same APC values. Noteworthy, they were calculated for three main soil groups in Russia:

1) sandy and sandy loams; 2) acidic (loamy and clayey) soils with pH KCl < 5.5; and 3) close to neutral and neutral (loamy and clayey) soils with pH KCl > 5.5. We compared the obtained metal concentrations with the APCs for acidic soils (pH KCl < 5.5) since their textural classes, as well as acidity and alkalinity values, were published earlier [25].

Table 2 shows the scales for the ecotoxicological evaluation of soils, including four pollution categories for the Z_c index, from acceptable to extremely hazardous (Guidelines 2.1.7.730-99), and seven pollution levels for the I_{geo} index, from unpolluted to extremely polluted [21].

Statistical analysis was carried out in the R program.

Results and discussion

The vertical distribution of metal and oxide concentrations in the soil profile is mainly of the regressive-accumulative type and less often of the progressive-eluvial-illuvial type (Table 3). This anthropogenic-differentiated distribution profile, characteristic of most agricultural soil and urban soils, resulted from the long-term (90 years) agricultural use of this land. The upper layer (0–10 cm) of the agrohumus horizon (Ap) contained maximum concentrations of all metals and oxides except for chromium. The transitional illuvial-ferruginous horizon (Bs) showed a sharp decrease in element concentrations, especially iron oxide and cobalt.

Table 1. Current maximum/approximate permissible concentrations and background concentrations of metals and oxides for Yamal-Nenets Autonomous Okrug

Metals and oxides										
Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	MnO	Cr	V	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
Maximum/approximate permissible concentrations										
600*	65	5	110	40	50*	1500	100*	150	600*	65
Measured background concentrations										
114.3	13.1	6.4	40.2	12.3	5.2	149.5	65.4	33.2	7.1	0.5

* – maximum and approximate concentrations for strontium, cobalt, and chromium were taken from [3, 36] since they were not determined in the standards.

Table 2. Evaluation scales for Z_c and I_{geo} indexes

Z_c		I_{geo}		
Value	Pollution category	Pollution class	Value	Pollution level
Less 16	Acceptable	0	$I_{geo} < 0$	Unpolluted
16–32	Moderately hazardous	1	$0 < I_{geo} < 1$	Unpolluted to moderately polluted
32–128	Hazardous	2	$1 < I_{geo} < 2$	Moderately polluted
Over 128	Extremely hazardous	3	$2 < I_{geo} < 3$	Moderately to strongly polluted
		4	$3 < I_{geo} < 4$	Strongly polluted
		5	$4 < I_{geo} < 5$	Strongly to extremely polluted
		6	$5 < I_{geo}$	Extremely polluted

Table 3. Concentrations of elements, including heavy metals, in the soil profile

Horizon, cm	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	MnO	Cr	V	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
	mg/kg									%	
Ap1, 0–10	198	23	16	47	23	5	424	81	113	3.54	0.9
Ap2, 10–20	188	13	16	40	19	4	358	98	104	3.00	0.8
Ap3, 20–30	203	9	13	39	21	5	372	83	97	3.17	0.8
Bs, 30–75	188	9	16	24	16	2	371	63	86	2.28	0.8
BCg, 75–160	166	11	9	15	14	1	295	121	53	1.09	0.5
Cg@, 160–200	159	3	8	15	10	2	178	51	24	0.71	0.3
MPC/APC	600*	65	5	110	40	50*	1500	100*	150	–	–
Background values	114.3	13.1	6.4	40.2	12.3	5.2	149.5	65.4	33.2	7.1	0.5

* – maximum and approximate permissible concentrations (MPC/APC) for strontium, cobalt, and chromium were taken from [3, 36] since they were not determined in the standards.

Table 4. Geoaccumulation index (I_{geo})

Soil horizon, cm	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	MnO	Cr	V
Ap1, 0–10	0.2	0.2	0.7	–0.4	0.3	–0.7	0.9	–0.3	1.2
Ap2, 10–20	0.1	–0.6	0.7	–0.6	0.0	–1.0	0.7	0.0	1.1
Ap3, 20–30	0.2	–1.1	0.4	–0.6	0.2	–0.7	0.7	–0.2	1.0
Bs, 30–75	0.1	–1.1	0.7	–1.3	–0.2	–2.0	0.7	–0.6	0.8
BCg, 75–160	0.0	–0.8	–0.1	–2.0	–0.4	–3.0	0.4	0.3	0.1
Cg@, 160–200	–0.1	–2.7	–0.3	–2.0	–0.9	–2.0	–0.3	–0.9	–1.1

Arsenic concentrations were above the approximate permissible value of 5 mg/kg throughout the soil profile. They varied from 13 to 16 mg/kg in the agrophumus horizon, decreasing to 8 mg/kg near parent material. The other trace metals showed concentrations below the current MPC/APC values.

Higher arsenic concentrations are quite typical for the Yamal soils, as evidenced by the increased regional background values. Earlier, Tomashunas *et al.* and Alekseyev *et al.* found increased arsenic contents in Yamal, both in its natural and anthropogenically disturbed ecosystems [28, 29]. However, the authors associated these values with the regional features of soil-forming rocks. Consequently, classifying these soils as unsuitable for agricultural use would not be entirely justified. Yet, arsenic belongs to the first hazard class so we cannot ignore its excessive concentrations. Therefore, we strongly recommend further monitoring to identify possible arsenic migration in the soil-plant system. Also, primary agricultural products should be subject to proper quality control to ensure their safety in terms of arsenic content.

Our comprehensive assessment based on the Z_c index (Fig. 4) showed that vertically the soil quality could be classified as “acceptable” ($Z_c < 16$). The polymetallic pollution was of the regressive-accumulative type, with maximum pollution found in the Ap agrophumus horizon ($Z_c = 9.5$, $n = 9$) and minimum pollution registered in horizon C parent material ($Z_c = 1.8$, $n = 3$).

Similarly, the SPI index values (< 1 throughout the soil profile) indicated no contamination in the soil (Fig. 5). We measured this index for those elements that had officially established maximum permissible concentrations, namely Pb, As, Zn, Ni, MnO, and V.

The I_{geo} index showed that the soils were mostly “unpolluted” (Table 4). Only its values for arsenic, manganese monoxide, and vanadium classified the soils as “unpolluted to moderately polluted” ($I_{geo} < 2$).

Thus, the three soil quality indices did not reveal a critical level of polymetallic pollution in the soils of the Yamal Experimental Station.

The spatial distribution of polymetallic pollution is not uniform. The contents of elements in the topsoil (0–10 cm) are presented in Table 5. We found that the average contents of heavy and trace metals were within the maximum and approximate permissible values, except for arsenic and chromium. Arsenic concentrations were above the permissible values in all 40 samples, while chromium – only in 9 samples.

Increased element concentrations in the arable horizons of agricultural land may be associated with the application of agrochemicals and manure. Moreover, most pollutants accumulate in the topsoil since this layer is most vulnerable to anthropogenic impact [16].

The spatial heterogeneity of polymetallic pollution could also result from the agricultural experiments of 1932–2007. Every year, the experimental field was divided into many microsections where agriculturists

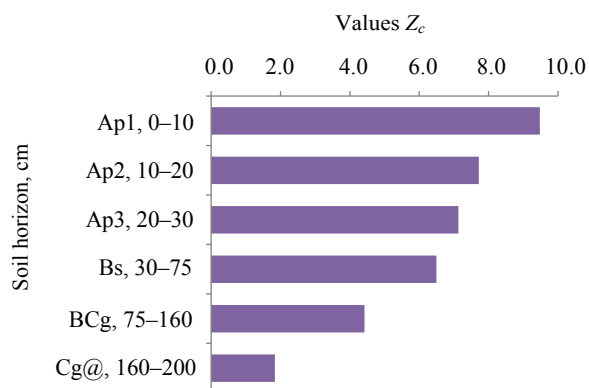
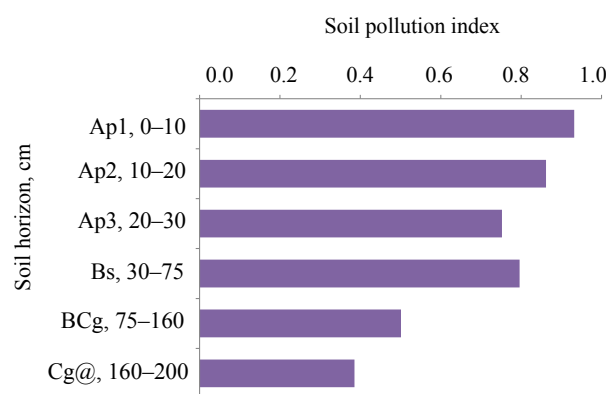
Figure 4. Vertical distribution of the Z_c index values

Figure 5. Vertical distribution of the soil pollution index values

Table 5. Contents of elements, including heavy metals, in topsoil (0–10 cm)

Parameter	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	MnO	Cr	V	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
	mg/kg									%	
	n = 40										
Minimum	160.0	4.0	7.0	35.0	17.0	0	333.0	71.0	73.0	2.8	0.50
Maximum	247.0	30.0	18.0	80.0	29.0	16.0	499.0	140.0	117.0	4.6	1.00
Average	192.0	15.4	11.5	43.0	21.5	5.6	399.0	90.7	97.8	3.3	0.85
SD	16.3	5.8	2.8	7.4	2.36	3.1	38.4	15.4	10.2	0.3	0.08
MPC/APC	600.0*	65.0	5.0	110.0	40.0	50.0*	1500.0	100.0*	150.0	—	—
Backgrounds	114.3	13.1	6.4	40.2	12.3	5.2	149.5	65.4	33.2	7.1	0.5

* – maximum and approximate permissible concentrations (MPC/APC) for strontium, cobalt, and chromium were taken from [3, 36] since they were not determined in the standards.

Table 6. Concentration coefficient K_{ci} and index Z_c for elements, including heavy metals, in topsoil (0–10 cm)

Parameter	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	MnO	Cr	V	Z_c
	K_{ci}									
	n = 40									
Minimum	1.4	0.3	1.1	0.9	1.4	0	2.3	1.1	2.2	5.6
Maximum	2.2	2.3	2.8	2.0	2.4	3.1	3.3	2.1	3.5	10.1
Average	1.7	1.2	1.8	1.1	1.7	1.1	2.7	1.4	2.9	7.8
SD	0.1	0.5	0.4	0.2	0.2	0.6	0.3	0.2	0.3	1.1

applied different types of fertilizers and agrotechnical methods, as well as planted different crops. This practice could not fail to affect the nature of heavy metals distribution in the soil.

The qualitative assessment based on the Z_c index (Table 6) classified soil pollution at the Yamal Experimental Station as “acceptable” ($Z_c < 16$). The Z_c index ranged from 5.6 to 10.1.

According to the complex soil pollution index (Table 7), the humus-accumulative horizon had an insignificant level of spatial pollution.

The spatial analysis of the I_{geo} index (Table 8) revealed the mostly “unpolluted” level of soil contamination with individual heavy metals ($I_{geo} < 0$). Its maximum values

were recorded for cobalt ($I_{geo} = 1.0$), manganese monoxide ($I_{geo} = 1.2$), and vanadium ($I_{geo} = 1.2$), indicating the “moderately polluted” level of soil contamination with these elements ($1 < I_{geo} < 2$). At $n = 40$, the average values of the I_{geo} index were above or equal to 1 only for vanadium. For the other elements, they were below 0 or in the range from 0 to 1, indicative of an acceptable pollution level in spatial terms.

The long-term agricultural use of the Yamal Experimental Station contributed to a high content of basic nutrients (Fig. 6). We found a high concentration of mobile phosphorus compounds (up to 450 mg/kg) and exchangeable potassium (up to 60 mg/kg) in the agrolight-humus horizon (Ap). The topsoil also

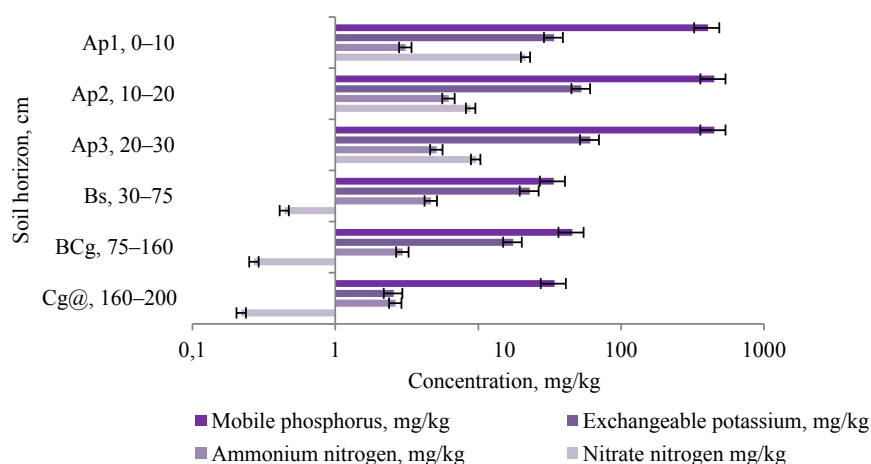


Figure 6. Vertical distribution of nutrients is soil

Table 7. Soil pollution index (SPI) for elements, including heavy metals, in topsoil (0–10 cm)

Parameter	Pb	As	Zn	Ni	MnO	V	SPI
	C_i/C_{MPC}						
	n = 40						
Minimum	0.1	1.4	0.3	0.4	0.2	0.5	0.5
Maximum	0.5	3.6	0.7	0.7	0.9	0.8	0.9
Average	0.2	2.3	0.4	0.5	0.3	0.7	0.7
SD	0.1	0.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Table 8. I_{geo} index values for elements, including heavy metals, in topsoil (0–10 cm)

Parameter	Sr	Pb	As	Zn	Ni	Co	MnO	Cr	V
	n = 40								
Minimum	–0.1	–2.3	–0.5	–0.8	–0.1	–3.0	0.6	–0.5	0.6
Maximum	0.5	0.6	0.9	0.4	0.7	1.0	1.2	0.5	1.2
Average	0.2	–0.5	0.2	–0.5	0.2	–0.6	0.8	–0.1	1.0
SD	0.1	0.6	0.3	0.2	0.2	0.8	0.1	0.2	0.2

Table 9. Contents of main nutrients is topsoil (0–10 cm)

Parameter	Mobile phosphorus, mg/kg	Exchangeable potassium, mg/kg	Ammonium nitrogen, mg/kg	Nitrate nitrogen, mg/kg
	n = 40			
Minimum	165.0	53.0	0.9	0.2
Maximum	1268.0	294.0	10.3	62.8
Average	665.6	106.8	4.8	25.4
SD	235.6	47.9	2.2	19.2

contained maximum concentrations of various forms of nitrogen, namely ammonium nitrogen (up to 6 mg/kg) and nitrate nitrogen (up to 22 mg/kg). We also observed the penetration of nutrients into the mineral horizons (Bs, BCg, and Cg@). At a depth of 160–200 cm, the concentrations of mobile phosphorus, exchangeable potassium, ammonium nitrogen, and nitrate nitrogen were 34, 2.5, 2.6, and 0.2 mg/kg, respectively.

The spatial distribution of nutrient concentrations varied greatly (Table 9). This might be due to the method of applying various doses of fertilizers to the arable horizon.

Conclusion

Our ecotoxicological analysis of fallow soils at the Yamal Experimental Station yielded the following conclusions.

1. The distribution of heavy and trace metals and metal oxides in the soil profile is mainly of the regressive-accumulative type. Their maximum concentrations were found in the topsoil horizon (0–30 cm) with the exception of chromium (75–160 cm).

2. Arsenic exceeded approximate permissible concentrations in the topsoil and in the soil profile. However, literature reveals increased contents of arsenic in the soils of Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, even in its anthropogenically undisturbed ecosystems. Therefore, classifying these soils as unsuitable for agriculture is not entirely justified. Yet, we recommend their monitoring to identify potential migration of arsenic into agricultural products. In addition, primary quality control of crops should be in place if these soils are to be used for agriculture.

3. The qualitative ecotoxicological analysis using background regional concentrations revealed insignificant levels of soil pollution both vertically and spatially. The Z_c index classified pollution as “acceptable”. The I_{geo} index characterized the soils as “unpolluted” or “moderately polluted”. The soil pollution index was below 1, both vertically and spatially, which also indicated an acceptable ecotoxicological state.

4. The contents of the main nutrients in the soils revealed their high potential fertility. Phosphorus, potassium, and nitrogen in the forms available for plants had maximum concentrations in the topsoil horizon. However, we found their downward migration along the soil profile.

Thus, the fallow soils of the Yamal Experimental Station have a high level of potential fertility and can be used for agriculture provided there is proper quality control to monitor arsenic contents.

Contribution

E.V. Abakumov supervised the project. T.I. Nizamutdinov, A.R. Suleymanov, E.N. Morgun, and N.V. Dinkelaker implemented the project.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors thank Dr. Anatoly Tikhanovsky for his historical perspective of the Yamal Experimental Station. The article is in honor of the 300th anniversary of St. Petersburg State University.

References

1. Guo B, Hong C, Tong W, Xu M, Huang C, Yin H, *et al.* Health risk assessment of heavy metal pollution in a soil-rice system: a case study in the Jin-Qu Basin of China. *Scientific Reports*. 2020;1(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68295-6>
2. Logan TJ, Traina SJ. Trace metals in agricultural soils. In: Allen HE, Perdue EM, Brown DS, editors. *Metals in groundwater*. Boca Raton: CRC Press; 2020. p. 309–347.
3. Bezuglova OS, Gorbov SN, Tischenko SA, Aleksikova AS, Tagiverdiev SS, Sherstnev AK, *et al.* Accumulation and migration of heavy metals in soils of the Rostov region, south of Russia. *Journal of Soils and Sediments*. 2016;16(4):1203–1213. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1165-8>
4. Suleymanov A, Abakumov E, Zakharenko I, Suleymanov R. Assessment and mapping of landfills on soils in the Serpukhov district (Moscow region). *Geodesy and Cartography*. 2021;47(4):181–185. <https://doi.org/10.3846/gac.2021.12922>
5. Polyakov V, Kozlov A, Suleymanov A, Abakumov E. Soil pollution status of urban soils in St. Petersburg city, North-west of Russia. *Soil and Water Research*. 2021;16(3):164–173. <https://doi.org/10.17221/95/2020-SWR>
6. Gebeyehu HR, Bayissa LD. Levels of heavy metals in soil and vegetables and associated health risks in Mojo area, Ethiopia. *PLoS ONE*. 2020;15(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227883>
7. Gao L, Wang Z, Li S, Chen J. Bioavailability and toxicity of trace metals (Cd, Cr, Cu, Ni, and Zn) in sediment cores from the Shima River, South China. *Chemosphere*. 2018;192:31–42. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.110>
8. Khan A, Khan S, Khan MA, Aamir M, Ullah H, Nawab J, *et al.* Heavy metals effects on plant growth and dietary intake of trace metals in vegetables cultivated in contaminated soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2019;16(5):2295–2304. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1849-x>
9. Chernykh N. The development of forest-tundra soils for agricultural crops. *Agricultural and industrial economy of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug*. Salekhard; 1977. 14–19 p. (In Russ.).
- Черных Н. Опыт освоения лесотундровых почв под сельскохозяйственные культуры // Сельское и промышленное хозяйство Ямало-Ненецкого национального округа. Салехард, 1977. С. 14–19.
10. Morgun EN, Abakumov EV. Agricultural research and crop yields in the Yamal-Nenets Autonomous District: Retrospective analysis (1932–2019). *Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District*. 2019;104(3):4–9. (In Russ.). <https://doi.org/10.26110/ARCTIC.2019.104.3.001>
11. Tikhanovsky AN. Potatoes in Yamal. Novosibirsk: Akademizdat; 2021. 160 p. (In Russ.).
- Тихановский А. Н. Картофель на Ямале. Новосибирск: Академиздат, 2021. 160 с.

12. Abakumov EV, Morgun EN. State and prospects for the use of fallow lands in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. *Biosphere Economy: Theory and Practice*. 2021;40(11):5–17. (In Russ.).

Абакумов Е. В., Моргун Е. Н. Состояние и перспективы использования залежных земель в Ямало-Ненецком автономном округе // Биосферное хозяйство: теория и практика. 2021. Т. 11. № 40. С. 5–17.

13. Chernykh NA, Cbeltygmasheva IS, Baeva JI. Soil pollution and quality of plants production. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2003;(9):179–187. (In Russ.).

Черных Н. А., Челтыгмашева И. С., Баева Ю. И. Загрязнение почв тяжелыми металлами и качество растениеводческой продукции // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2003. № 9. С. 179–187.

14. Zhong Y, Igalavithana AD, Zhang M, Li X, Rinklebe J, Hou D, *et al.* Effects of aging and weathering on immobilization of trace metals/metalloids in soils amended with biochar. *Environmental Science: Processes and Impacts*. 2020;22(9):1790–1808. <https://doi.org/10.1039/d0em00057d>

15. Neverova OA, Egorova IN. Evaluation of hips (*Rosa majalis Herrm.*) gathered on the coal opencast dump in the Kemerovo region. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2015;38(3):139–145. (In Russ.).

Неверова О. А., Егорова И. Н. Оценка качества плодов шиповника (*Rosa majalis Herrm.*), произрастающего на породном отвале угольного разреза в условиях Кемеровской области // Техника и технология пищевых производств. 2015. Т. 38. № 3. С. 139–145.

16. Komarov VI, Selivanov OG, Martsev AA, Podoletc AA, Lukyanov SN. Heavy metals contamination in arable horizon of soils of agricultural appointment of the Vladimir Region. *Agrohimia*. 2019;(12):75–82. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0002188119100089>

17. Paromov VV, Zemtsov VA, Kopysov SG. Climate of West Siberia during the slowing phase of warming (1986–2015) and prediction of hydro-climatic resources for 2021–2030. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2017;328(1):62–74. (In Russ.).

Паромов В. В., Земцов В. А., Копысов С. Г. Климат Западной Сибири в фазу замедления потепления (1986–2015 гг.) и прогнозирование гидроклиматических ресурсов на 2021–2030 гг // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 1. С. 62–74.

18. Arinushkina E. Chemical analysis of soils. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta; 1952. 240 p. (In Russ.).

Аринушкина Е. Химический анализ почв и грунтов М.: Издательство Московского университета, 1952. 240 с.

19. Saltan N, Slukovskaya M, Mikhaylova I, Zarov E, Skripnikov P, Gorbov S, *et al.* Assessment of soil heavy metal pollution by land use zones in small towns of the industrialized Arctic Region, Russia. In: Vasenev V, Dovletyarova E, Valentini R, Cheng Z, Calfapietra C, Inostroza L, Leuchner M, editors. *Springer Geography*. Cham: Springer; 2020. pp. 100–110. https://doi.org/10.1007/978-3-030-75285-9_10

20. Baghaie AH, Aghili F. Investigation of heavy metals concentration in soil around a PbZn mine and ecological risk assessment. *Environmental Health Engineering and Management Journal*. 2019;6(3):151–156. <https://doi.org/10.15171/EHEM.2019.17>

21. Kowalska JB, Mazurek R, Gąsiorek M, Zaleski T. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination – A review. *Environmental Geochemistry and Health*. 2018;40(6):2395–2420.

22. Rehman I, Ishaq M, Ali L, Khan S, Ahmad I, Din I, *et al.* Enrichment, spatial distribution of potential ecological and human health risk assessment via toxic metals in soil and surface water ingestion in the vicinity of Sewakht mines, district Chitral, Northern Pakistan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018;154:127–136. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.033>

23. Łyszczarz S, Błońska E, Lasota J. The application of the geo-accumulation index and geostatistical methods to the assessment of forest soil contamination with heavy metals in the Babia Góra National Park (Poland). *Archives of Environmental Protection*. 2020;46(3):69–79. <https://doi.org/10.24425/aep.2020.134537>

24. Sabet Aghlidi P, Cheraghi M, Lorestani B, Sobhanardakani S, Merrikhpour H. Analysis, spatial distribution and ecological risk assessment of arsenic and some heavy metals of agricultural soils, case study: South of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2020;18(2):665–676. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00492-x>

25. Nizamutdinov T, Abakumov E, Morgun E. Morphological features, productivity and pollution state of abandoned agricultural soils in the Russian Arctic (Yamal Region). *One Ecosystem*. 2021;6. <https://doi.org/10.3897/oneeco.6.e68408>

26. Nizamutdinov T, Abakumov E, Morgun E, Loktev R, Kolesnikov R. Agrochemical and pollution status of urbanized agricultural soils in the central part of Yamal region. *Energies*. 2021;14(14). <https://doi.org/10.3390/en14144080>

27. Nizamutdinov T, Morgun E, Pechkin A, Kostecki J, Greinert A, Abakumov E. Differentiation of trace metal contamination level between different urban functional zones in permafrost affected soils (The example of several cities in the Yamal Region, Russian arctic). *Minerals*. 2021;11(7). <https://doi.org/10.3390/min11070668>

28. Tomashunas VM, Abakumov EV. The content of heavy metals in soils of the Yamal peninsula and the Bely Island. *Hygiene and Sanitation*. 2014;93(6):26–31. (In Russ.).

Томашунас В. М., Абакумов Е. В. Содержание тяжелых металлов в почвах полуострова Ямал и острова Белый // *Гигиена и санитария*. 2014. Т. 93. № 6. С. 26–31.

29. Alekseev II, Dinkelaker NV, Oripova AA, Semyina GA, Morozov AA, Abakumov EV. Assessment of ecotoxicological state of soils of the Polar Ural and Southern Yamal. *Hygiene and Sanitation*. 2017;96(10):941–945. (In Russ.). <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-941-945>

30. Ji X, Abakumov E, Antcibor I, Tomashunas V, Knoblauch C, Zubzycki S, *et al.* Influence of anthropogenic activities on metals in arctic permafrost: a characterization of benchmark soils on the Yamal and Gydan peninsulas in Russia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 2019;76(4):540–553. <https://doi.org/10.1007/s00244-019-00607-y>

31. Moskovchenko DV, Kurchatova AN, Fefilov NN, Yurtaev AA. Concentrations of trace elements and iron in the Arctic soils of Belyi Island (the Kara Sea, Russia): patterns of variation across landscapes. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2017;189(5). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5928-0>

32. Romanenko EA, Moskovchenko DV, Kudryavtsev AA, Shigabaeva GN. Mobile forms of metals in soils in the Nadym-Pur interfluvium (Western Siberia). *Bulletin of Nizhnevartovsk State University*. 2020;(2):136–145. (In Russ.). <https://doi.org/10.36906/2311-4444/20-2/18>

33. Moskovchenko DV, Romanenko EA. Elemental composition of soils of the Pur-Taz interfluvium. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2020;(103):51–84. (In Russ.). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-103-51-84>

34. Opekunova MG, Opekunov AY, Kukushkin SY, Ganul AG. Background contents of heavy metals in soils and bottom sediments in the north of Western Siberia. *Eurasian Soil Science*. 2019;(4):422–439. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0032180X19020114>

35. Pechkin AS, Agbalian EV, Shinkaruk EV, Khnycheva NA, Melnikova VV, Iulbarisova KV, *et al.* Background physical and chemical characteristics of the soil cover of the northern part of the state reserve “Verkhne-Tazovskiy”. *Nature management and protection: natural monuments, biological and landscape diversity of the Tomsk Ob region and other regions of Russia: Proceeding of the 9th All-Russian scientific conference with international participation*; 2020; Tomsk. Tomsk: Tomsk State University; 2020. p. 211–215. (In Russ.). <https://doi.org/10.17223/978-5-94621-954-9-2020-50>

36. Kovalsky VV. *Geochemical ecology*. Moscow: Nauka; 1974. 299 p. (In Russ.).

Ковальский В. В. *Геохимическая экология*. М.: Наука, 1974. 299 с.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2371>
<https://elibrary.ru/VKFRFCF>

Оригинальная статья
<https://fppt.ru>

Исследование бактериофагов, лизирующих молочнокислые бактерии



В. И. Ганина^{1,*}, Н. Г. Машенцева², И. И. Ионова²

¹ Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского
(Первый казачий университет), Москва, Россия

² Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 04.05.2022

Принята после рецензирования: 30.05.2022

Принята в печать: 14.06.2022

*В. И. Ганина: vigan5428@yandex.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-3119-7016>

Н. Г. Машенцева: <https://orcid.org/0000-0002-9287-0585>

И. И. Ионова: <https://orcid.org/0000-0002-3118-3554>

© В. И. Ганина, Н. Г. Машенцева, И. И. Ионова, 2022



Аннотация.

Явление бактериофагии на пищевых производствах приводит к нарушению биотехнологического процесса ферментирования видов продукции и резкому ухудшению ее качества, а также к экономическим потерям. Цель исследования – изучение биоразнообразия и эволюции свойств бактериофагов, способных лизировать молочнокислые бактерии и применяемых в биотехнологии ферментированных видов молочной и мясной продукции.

Исследовались образцы молочной и мясной продукции и бактериофаги, выделенные из них. Образцы отбирались на предприятиях, где выявлены случаи торможения процессов ферментации сырья. В работе использовали микробиологические, органолептические, физико-химические, генетические и математические методы исследования, а также методы электронной микроскопии и оптической реассоциации.

Анализ результатов свидетельствует о наличии бактериофагов в продукции с нарушением технологии процесса ферментации. Из исследованных образцов кисломолочных продуктов, творожной сыворотки, сыровяленых и сырокопченых колбас выделено 20 бактериофагов, лизирующих молочнокислые бактерии рода *Lactococcus* ssp., 11 – *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, 5 – *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Изучено разнообразие выделенных бактериофагов и их молекулярно-биологические характеристики. Определены титр и диапазон новых хозяев. Выявлены отличия вновь выделенных бактериофагов от коллекционных. Установлено, что бактериофаги могут поражать широкий круг молочнокислых бактерий.

Установлено изменение биоразнообразия и эволюции бактериофагов за счет расширения спектра их литического действия и вирулентности, независимо от питательной среды (молочное или мясное сырье), в которой они могут лизировать молочнокислые бактерии. Расширена коллекция бактериофагов и линейка тест-культур для их выявления. Полученные результаты позволят достоверно выявлять бактериофаги на ранних стадиях их развития в ферментированных видах продукции и своевременно осуществлять корректирующие мероприятия.

Ключевые слова. Бактериофаги, лизис, молочнокислые бактерии, закваски, стартовые культуры, ферментированные продукты

Для цитирования: Ганина В. И., Машенцева Н. Г., Ионова И. И. Исследование бактериофагов, лизирующих молочнокислые бактерии // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 361–374. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2371>

Bacteriophages of Lactic Acid Bacteria

Vera I. Ganina^{1,*}, Natalia G. Mashentseva², Inna I. Ionova²

¹ K.G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management
(the First Cossack University), Moscow, Russia

² Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

Received: 04.05.2022
Revised: 30.05.2022
Accepted: 14.06.2022

*Vera I. Ganina: vigan5428@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-3119-7016>
Natalia G. Mashentseva: <https://orcid.org/0000-0002-9287-0585>
Inna I. Ionova: <https://orcid.org/0000-0002-3118-3554>

© V.I. Ganina, N.G. Mashentseva, I.I. Ionova, 2022



Abstract.

Bacteriophages harm food production, disrupt fermenting, spoil dairy products, and cause financial loss. The article describes the biodiversity and properties of bacteriophages capable of lysing lactic acid bacteria used in fermented dairy and meat products. The research featured bacteriophages obtained from fermented meat and dairy products. The methods included microbiological analyses, sensory evaluation, physico-chemical tests, genetic studies, electron microscopy, optical reassociation, and mathematical data processing.

Violation of the fermentation process always resulted in bacteriophages in the finished products, e.g., fermented dairy products, curd whey, raw smoked and dry-cured sausages, etc. The list of bacteriophages of lactic acid bacteria included 20 bacteriophages of *Lactococcus* ssp., 11 – of *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, and 5 – of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. The study revealed the diversity of the isolated bacteriophages, their molecular and biological profile, the titer and range of their new hosts, and the differences from standard ones. The bacteriophages proved to be able to infect a wider range of lactic acid bacteria.

The article describes the change in the biodiversity and evolution of bacteriophages depending on their lytic action and virulence. The improved collection of bacteriophages and their detection cultures contribute to an earlier and more effective identification of bacteriophages in fermented products.

Keywords. Bacteriophages, lysis, lactic acid bacteria, starter cultures, fermented products

For citation: Ganina VI, Mashentseva NG, Ionova II. Bacteriophages of Lactic Acid Bacteria. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):361–374. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2371>

Введение

Ферментированные виды пищевой продукции (кисломолочные продукты, сыры, сырокопченые колбасы и др.) играют важную роль в питании населения, оказывают положительное влияние на организм человека и пользуются популярностью у многих людей [1–8]. Производство качественной и безопасной продукции – важнейшая задача пищевых предприятий. Однако на предприятиях могут возникать факторы, приводящие к нарушению биотехнологического процесса ферментированной продукции и увеличивающие риск снижения ее качества. К важнейшим микробиологическим причинам, влияющим на процесс ферментации сырья, относят лизис бактериофагами молочно-

кислых бактерий, которые входят в состав заквасок для кисломолочной продукции и стартовых культур для колбас.

Бактериофаги широко распространены в природе и заражают все формы жизни: от прокариот до эукариот. Ферментация пищевых продуктов осуществляется микробными консорциумами в высоком титре, которые представляют собой резервуар для развития бактериофагов, поражающих микроорганизмы [9]. Исследования ученых показали наличие вирусов, поражающих бактерии, во многих ферментированных пищевых продуктах, включая сыры, йогурт и другие кисломолочные продукты, закваску и мясо. Бактериофаги наносят вред производству, т. к. снижают ферментативную способность молочнокислых бактерий. Это приводит

к замедлению, а иногда к полной остановке процесса ферментации и выработке нестандартной продукции.

Разнообразие бактериофагов в ферментированных пищевых продуктах варьируется в зависимости от географии, климата, окружающей среды, типа сырья, технологии, оборудования и микробного состава стартовых культур [10]. Бактериофаги можно обнаружить у разных хозяев. Они имеют небольшие размеры (изометрические головки обычно имеют диаметр 45–170 нм) и состоят из одного типа нуклеиновой кислоты (ДНК или РНК, одно- или двунитевые), защищенной белком или липопротеиновым капсидом [11]. Пути заражения молочнокислых бактерий бактериофагами исследуются и считаются основной причиной нарушения ферментации в биотехнологии молочной и мясной продукции.

Представители родов *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Enterococcus*, *Streptococcus* и др. используются в ферментированных продуктах [9, 12]. Молочнокислые бактерии могут предотвращать инвазию бактериофагов путем развития систем устойчивости к ним или она может быть генетически сконструирована. Наличие бактериофагов в микробных культурах недостаточно для воздействия на процессы ферментации. Это зависит от микробного состава закваски или стартовой культуры: чем разнообразнее микрофлора, тем меньше вероятность остановки процесса ферментации. Объясняется это тем, что бактерии имеют разный уровень и специфическую чувствительность к бактериофагам, которые способны поражать гомологичные им бактерии. При нападении бактериофагов на клетки некоторые бактерии оказываются устойчивыми и осуществляют ферментацию пищевого сырья. Помимо этого, контаминация связана с консистенцией пищевой матрицы, в которой жидкие пищевые среды более восприимчивы к быстрому распространению бактериофагов, чем твердые или полутвердые. Некоторые ученые полагают, что твердое состояние мяса в салями является ключевым фактором снижения возможности возникновения атак бактериофагами [13].

Присутствие бактериофагов в ферментированных пищевых продуктах традиционно изучается культуральными методами. Развитие молекулярных методов и появление секвенирования нового поколения (NGS) позволяют выявлять разнообразие бактериофагов, присутствующих в ферментированных пищевых продуктах. Применение современных молекулярно-генетических методов позволяет успешно характеризовать бактериофаги, лизирующие молочнокислые бактерии [14–17].

Увеличение производственных мощностей по переработке сырья и ассортимента продукции обостряет проблему бактериофагии, поскольку расширяется линейка применяемых заквасок и стартовых культур различного микробиологичес-

кого состава. Микрофлора заквасок и стартовых культур разнообразна и зависит от продукции, в биотехнологии которой она применяется. Наиболее широко в биотехнологии ферментированных видов молочной продукции применяют молочнокислые бактерии *Lactococcus lactis* (*lactis*, *cremoris*, *diacetylactis*), *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, *Lactobacillus* (*acidophilus*, *delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *plantarum*, *helveticus*), а в биотехнологии сыровяленых и сырокопченых колбас – *L. acidophilus*, *Lactiplantibacillus plantarum*, *Latilactobacillus* (*curvatus*, *sakei*), *Lacticaseibacillus* (*paracasei*, *rhamnosus*), *Limosilactobacillus fermentum*, *Ligilactobacillus salivarius*, *Levilactobacillus brevis*, *Pediococcus* (*acidilactici*, *pentosaceus*), денитрифицирующие, грамположительные и каталазо-положительные кокки *Staphylococcus* (*xylosus*, *carnosus*) и др. Роль микрофлоры в биотехнологии ферментированных видов продукции велика: синтез ферментов, участвующих в биохимических процессах и приводящих к формированию физико-химических, органолептических и микробиологических показателей; ингибирование развития технически вредной, патогенной и условно-патогенной микрофлоры; синтез витаминов, бактериоцинов, полисахаридов и других биологически активных веществ; повышение пищевой ценности [18, 19]. Штаммы молочнокислых бактерий, входящие в состав заквасок и стартовых культур, на производстве подвергаются действию бактериофагов. От устойчивости заквасок и стартовых культур к бактериофагам, присутствующим в биотехнологическом цикле конкретного продукта и на определенном предприятии, зависит качество и безопасность готового продукта.

Проблема бактериофагии известна и изучается давно, но полностью ее решить в биотехнологии ферментированных видов продукции не удастся [20–22]. Это обусловлено изменчивостью бактериофагов при действии различных факторов, что диктует необходимость постоянного мониторинга и изучения их свойств [23–25]. На предприятиях России большинство не имеет возможности и не осуществляет мониторинг бактериофагов в ходе производства продукции с применением заквасок и стартовых культур. Это обуславливает необходимость фагового мониторинга другими организациями.

Для снижения возникновения рисков фаговых атак в биотехнологии ферментированных видов молочной и мясной продукции была поставлена цель изучения биоразнообразия и эволюции свойств бактериофагов, способных лизировать молочнокислые бактерии, которые входят в состав заквасок и стартовых культур.

Научная новизна полученных результатов заключается в установлении изменения биоразнообразия и эволюции бактериофагов за счет расширения спектра их литического действия и

вирулентности, независимо от питательной среды (молочное или мясное сырье), в которой они могут лизировать молочнокислые бактерии. Практическая значимость исследования состоит в расширении коллекции бактериофагов, которая необходима при создании заквасок и стартовых культур с высокой фагоустойчивостью для получения ферментированных видов молочной и мясной продукции.

Результаты исследования позволили увеличить линейку тест-культур, используемых для обнаружения бактериофагов в биотехнологии ферментированных видов молочной и мясной продукции. Это будет способствовать выявлению бактериофагов на ранних этапах их накопления в пищевых системах и своевременному принятию и выполнению корректирующих мероприятий, обеспечивающих выпуск продукции с требуемыми показателями качества и безопасности.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись образцы кисломолочной продукции и молочной сыворотки, отобранные на предприятиях, на которых отмечались случаи торможения процессов ферментации; бактериофаги, выделенные из ферментированных видов молочной и мясной продукции и молочной сыворотки. В работе для выявления бактериофагов в кисломолочных продуктах и молочной сыворотке использовали следующие тест-культуры: ATCC 11454 (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis*), ВКПМ В 4461 (*Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*), 6 штаммов *L. lactis* subsp. *lactis* – 15, Л102, Л36с, Л18М, ЛА-2, ЛА-Е2 и 3 штамма *L. lactis* subsp. *cremoris* – К 52, КН-98, КН-96; ATCC 19258 и 7 штаммов *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* – СТ138, СТ9, СТ14, СТ132, Т24, ТР20, Т48; *Lactobacillus acidophilus* ВКПМ-9644 (штамм АСТ-41), *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ВКПМ-8554 (штамм БГ-Г), а также культуры *L. acidophilus* (штаммы АЕ-5, АД-3, БВ-7, Б-259) и *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (штамм Б-ЛГ) из коллекции МГУПП.

Исследования фильтратов, полученных из сыровяленых полусухих и сырокопченых колбас, проводили с применением тест-культур *L. acidophilus* АСТ-41 (ВКПМ-9644), *Lactiplantibacillus plantarum* ssp. *plantarum* ГВИ-16 (ВКПМ-855) и культур из коллекции МГУПП: *Lacticaseibacillus paracasei* LC-3, *L. acidophilus* АЕ-5, АД-3, БВ-7, Б-259, *L. plantarum* ssp. *plantarum* 7К (В-2663), *Latilactobacillus curvatus* (В-8889), *Latilactobacillus sakei* ssp. *sakei* 104 (В-8936), *Lacticaseibacillus casei* 10 (В-8890), *Pediococcus acidilactici* 38 (В-8902), *Pediococcus pentosaceus* 28 (В-8888) и *Staphylococcus carnosus* 108 (В-8953).

Вновь выделенные бактериофаги сравнивали с коллекционными бактериофагами: ВКПМ Ph-1624, ВКПМ Ph-1625, ВКПМ Ph-1623 и ВКПМ Ph-1622, которые ранее были выделены и изучены в МГУПП

с последующим депонированием во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (ВКПМ), а также с бактериофагами Р001, Р008, Р335 (из международной коллекции Тойбера, Германия) и бактериофагом Т4 *Escherichia coli*, предоставленными БРЦ ВКПМ «Курчатовский институт» – ГосНИИгенетика.

Для выявления наличия бактериофагов в исследуемых образцах применяли метод поверхностного посева на чашки Петри. На чашки Петри с подсушенной средой наносили 0,1 см³ коллекционной тест-культуры в фазе логарифмического роста, которая развивалась на среде М17 с лактозой (HiMedia, Индия), растирали на поверхности чашки шпателем Дригальского и оставляли на 10–15 мин для впитывания влаги в агар. Затем на чашку наносили каплю образца, закрывали крышкой и оставляли на 10–15 мин при комнатной температуре. После чего чашки переворачивали и термостатировали в течение 16–18 ч при температуре 28 ± 1 °С при выявлении бактериофагов лактококков и при 37 ± 1 °С при выявлении бактериофагов, лизирующих термофильные молочнокислые стрептококки и палочки. Если после указанного времени термостатирования наблюдали зону угнетения роста (образование прозрачных зон лизиса) в месте нанесения исследуемого образца, то устанавливали перевиваемость литического агента. Для этого в пробирку с 3 см³ стерильного физиологического раствора помещали кусочек агара, взятый из зоны лизиса, добавляли 0,3 см³ хлороформа, тщательно взбалтывали и оставляли на 24 ч при температуре 4 ± 2 °С для более полного выхода частиц фага из агара. Затем каплю суспензии из пробирки наносили на свежеприготовленный газон тест-культуры и термостатировали 16–18 ч. В случае появления негативной (прозрачной) зоны считали, что угнетение роста культуры вызвано действием бактериофага.

Для получения генетически чистого бактериофага титровали выделенные из промышленных образцов смеси бактериофагов. Далее добавляли 1 см³ бактериальной культуры к 3 см³ полужидкого агара и выливали суспензию в мягком агаре на чашку с плотной питательной средой. Затем погружали прямую стерильную проволоку в препарат бактериофага, полученный из отдельной бляшки, и осторожно наносили штрихи на поверхности застывшей агаризованной среды. Переворачивали чашки и инкубировали при оптимальной температуре в течение 16–18 ч. После получения полос лизиса бактериальных культур кусочки агара вырезали при помощи шпателя из зоны лизиса, не затрагивая бактериальные клетки. Вносили его в 100 мкл дистиллированной воды, далее вносили 0,1 см³ хлороформа, перемешивали с помощью смесителя

Vortex и оставляли при 4 ± 1 °C на ночь для более полного выхода фаговых частиц.

Для накопления бактериофагов в 10 см^3 среды М17 с лактозой вносили 1–2 петли чувствительной культуры ($\text{КОЕ } 10^8\text{--}10^9$ в 1 см^3) и термостатировали до получения культуры в фазе логарифмического роста. Затем в эту же пробирку вносили кусочек агара с зоной лизиса либо $0,1\text{ см}^3$ лизата бактериофага (10^8 БОЕ в 1 см^3) и термостатировали в течение 16–18 ч при температуре 28 ± 1 °C при накоплении бактериофагов лактококков и при 37 ± 1 °C при накоплении бактериофагов, лизирующих термофильные молочнокислые стрептококки и палочки. Фильтровали через установку Стерифил 250 с фильтром (размер пор $0,46\text{ мкм}$). Полученные лизаты переносили в стерильные пробирки.

Для количественного учета бактериофагов использовали метод определения титра фага (двухслойный метод). Для этого 3 см^3 полужидкой среды (0,75 %), 1 см^3 тест-культуры в фазе логарифмического роста и 1 см^3 разведения фага перемешивали при 42 °C. Затем выливали на чашку Петри с подсушенной плотной питательной средой (1,5 %). Термостатировали в течение 16–18 ч при температуре 28 ± 1 °C при выявлении бактериофагов лактококков и при 37 ± 1 °C при выявлении бактериофагов, лизирующих термофильные молочнокислые стрептококки и палочки. На следующий день по числу негативных колоний с учетом разведений определяли титр бактериофага [26, 27].

Диапазон хозяев для выделенных бактериофагов определяли путем нанесения их лизатов с помощью репликатора на агаризованную среду (М17 с лактозой) с газом предполагаемого штамма-хозяина в фазе логарифмического роста. Стандартной мерой служили лизаты бактериофагов, титр которых составлял не менее 10^8 БОЕ/см^3 . Количество клеток штамма-хозяина составляло $10^8\text{--}10^9\text{ КОЕ}$ в 1 см^3 . Посевы термостатировали в течение 16–18 ч при температуре 28 ± 1 °C для молочнокислых бактерий рода *Lactococcus* и при 37 ± 1 °C для *S. salivarius* subsp. *thermophilus* и *Lactobacillus* ssp.

Генетические исследования (выделение ДНК и плазмидной ДНК, их рестрикция и гибридизация при определении гомологии) осуществляли общеизвестными методами [28–31]. В исследованиях использовали ферменты производства «Fermentas», Литва, химические реактивы – «Sigma-Aldrich», США. Рестрикцию плазмидной ДНК проводили, используя ферменты рестрикции производства «Fermentas». Фрагменты плазмиды анализировали путем электрофореза в агарозном геле.

Конъюгативный перенос ДНК проводили следующим образом. Ночные культуры донора и реципиента разводили, выращивали до середины логарифмической фазы роста и смешивали в

отношении 1:2. $0,2\text{ см}^3$ смеси высевали на поверхность чашки с питательным агаром. Чашки инкубировали при температуре 30 °C в течение 18–20 ч. После этого материал, выросший на чашке, ресуспендировали в 1 см^3 жидкой питательной среды. Различные разведения высевали на селективные среды.

Элюирование плазмидной ДНК с ДЭА7-мембраны проводили следующим образом. Полоску мембраны помещали в пробирку Эппендорф, добавляли 150–250 мкл буфера (1 М NaCl, 0,1 М ЭДТА, 20 М трис, pH 8,0), чтобы вся полоска была покрыта буфером, и центрифугировали 5 с. Затем инкубировали 45 мин при температуре 65 °C. После чего полоску промывали еще раз в 50 мкл буфера. Чтобы удалить бромистый этидий, надо экстрагировать его тремя объемами водонасыщенного изобутанола, высадить ДНК 2,5 объемами этанола (5 ч при 20 °C) и переосадить с 3 М ацетатом натрия для удаления остатков NaCl.

Дополнительно определяли уровень гомологии ДНК методом оптической реассоциации. Биомассу осаждали центрифугированием с последующим двукратным промыванием раствором, содержащим 0,15 М NaCl и 0,1 М Na ЭДТА. Выделение ДНК проводили по методу Мармура с модификациями, включающими обработку ДНК проназой после воздействия РНКазой А и центрифугирование очищенных препаратов. Промытую биомассу переводили в буфер для лизиса, который проводили путем добавления яичного лизоцима («Serva», Германия) с последующей инкубацией при 37 °C в течение 1 ч и внесением 1 % додецилсульфата натрия. Перед отделением ДНК от полисахаридов и РНК с помощью изопропилового спирта проводили обработку препарата проназой («Serva», Германия) в концентрации 50 мкг/мл. О степени очистки высокополимерной ДНК судили по спектрофотометрическому показателю E_{260}/E_{280} (тест на очистку от балластных белков), который должен составлять 1,7–1,8. Эта величина у всех препаратов находилась в пределах 2,0–2,2. Это свидетельствовало об удалении основной массы полисахаридов.

Электронную микроскопию бактериофагов проводили на микроскопе JEM-100 (Япония) в БРЦ ВКПМ «Курчатовский институт» – ГосНИИгенетика. Препараты бактериофагов для электронной микроскопии готовили методом негативного контрастирования 1 % водным раствором уранил-ацетата. Суспензию бактериофагов и контрастер наносили на формваровые пленки-подложки, укрепленные углеводом.

Результаты и их обсуждение

Проведен анализ проб кисломолочной продукции и молочной сыворотки на наличие бактериофагов, отобранных на предприятиях, на которых наблюдались случаи торможения процесса ферментации сырья или

Таблица 1. Результаты анализа образцов кисломолочной продукции на наличие бактериофагов

Table 1. Fermented dairy products and bacteriophages

№ образца	Наименование образцов	Количество исследованных образцов, шт.	Количество образцов, в которых обнаружены бактериофаги, шт.	Количество фаговых частиц в образцах, БОЕ/г или см ³
1.	Творог, производимый периодическим способом	37	37	От 10 ² до 10 ⁷
2.	Творог, производимый поточным методом	26	19	От 10 ² до 10 ⁵
3.	Зерненный творог	19	13	От 10 ⁴ до 10 ⁷
4.	Молочная сыворотка из под творога	79	79	От 10 ³ до 10 ⁷
5.	Сметана*	22	16	От 10 ⁴ до 10 ⁶
6.	Йогурт*	29	14	От 10 ² до 10 ⁶
7.	Ряженка*	27	12	От 10 ³ до 10 ⁶
8.	Снежок*	14	6	От 10 ³ до 10 ⁶

* – продукция, произведенная резервуарным способом.

* – products produced by the tank method.

его полной приостановки. Выявление бактериофагов в образцах кисломолочной продукции, производимой с применением заквасок, содержащих лактококки, осуществляли с использованием коллекционных тест-культур ATCC 11454 (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis*), В 4461 (*Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*), а также 6 штаммов *L. lactis* subsp. *lactis* – 15, Л102, Л36с, Л18М, ЛА-2, ЛА-Е2 и 3 штаммов *L. lactis* subsp. *cremoris* – К 52, КН-98, КН-96 из коллекции МГУПП. Результаты анализа 253 проверенных образцов кисломолочной продукции свидетельствовали о наличии бактериофагов, лизирующих молочнокислые бактерии (табл. 1).

Установлено, что образцы содержали разное количество бактериофагов, которое составляло от 10² до 10⁷ БОЕ/г или см³ продукта. Присутствующие в исследованных образцах бактериофаги тормозили ход процесса ферментации и отрицательно влияли на формирование органолептических, физико-химических и других показателей качества готовой продукции. В технологии творога, зерненого творога и сметаны на предприятиях использовали закваски, в состав которых входили лактококки (*L. lactis* subsp. *lactis*, *L. lactis* subsp. *cremoris* и *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*) или мезофильные лактококки и термофильные молочнокислые стрептококки (*Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*). Закваски, применяемые в технологии йогурта и продукта «Снежок», состояли из молочнокислых палочек (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) и термофильных молочнокислых стрептококков, а в технологии ряженки – *S. salivarius* subsp. *thermophilus*. Частота выявления бактериофагов в изученных образцах кисломолочной продукции и молочной сыворотке приведена на рисунке 1.

Наибольшее количество бактериофагов выявили в образцах творога, производимого периодическим

способом, зерненого творога и молочной сыворотке. Это обусловлено тем, что в данных технологиях используются емкости открытого типа, что увеличивает риски попадания бактериофагов из воздуха и других источников. Большое количество бактериофагов, обнаруженных в молочной сыворотке, подтверждает ранее полученные результаты и свидетельствует о необходимости обязательной максимальной ее изоляции из помещений, в которых получают творог разных видов. В образцах творога, зерненого творога, молочной сыворотки и сметаны выявляли бактериофаги, способные инактивировать лактококки и термофильные молочнокислые стрептококки, поскольку они входили в состав заквасок, применяемых в биотехнологии данных видов продукции. В образцах йогурта и кисломолочного продукта «Снежок» выявляли бактериофаги, способные лизировать термофильные молочнокислые стрептококки и культуры болгарской палочки, а в ряженке – термофильные молочнокислые стрептококки.

Выделение бактериофагов из исследованных образцов кисломолочной продукции, молочной сыворотки и фильтратов колбас проводили после проверки перевиваемости литического агента. На первом этапе исследований осуществляли выделение бактериофагов, способных лизировать лактококки. Изучение молекулярно-биологической характеристики выделенных 20 бактериофагов лактококков с применением электронной микроскопии показало, что бактериофаги идентичны по морфологии. Они имели вытянутые капсиды размером 55–66×35–50 нм и несокращающиеся исчерченные отростки длиной 100–133 нм и шириной 6–10 нм. Число полос на отростке около 20. Отростки заканчивались небольшой базальной пластинкой, незначительно выступающей за его пределы. В качестве контроля для

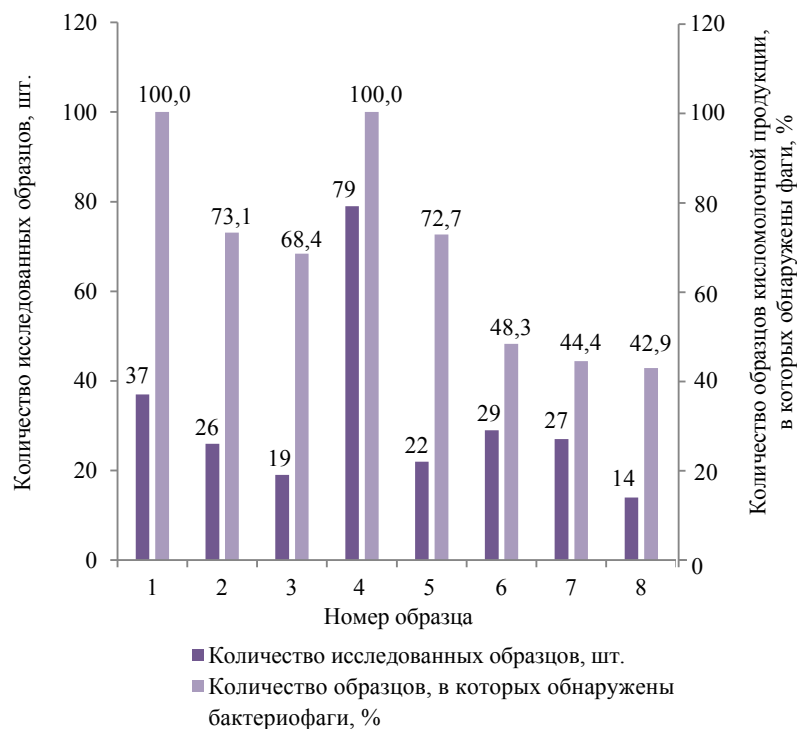


Рисунок 1. Частота выявления бактериофагов в образцах кисломолочной продукции и молочной сыворотке:

1 – творог, производимый периодическим способом; 2 – творог, производимый поточным методом; 3 – зерненный творог; 4 – молочная сыворотка из под творога; 5 – сметана; 6 – йогурт; 7 – ряженка; 8 – продукт «Снежок»

Figure 1. Bacteriophages in fermented dairy products and whey: 1 – cottage cheese produced by batch method; 2 – cottage cheese produced by the in-line method; 3 – grained cottage cheese; 4 – whey from cottage cheese; 5 – sour cream; 6 – yogurt; 7 – Ryazhenka fermented baked milk; 8 – Snezhok fermented dairy product

определения молекулярных размеров бактериофагов использовали фаг T4 *Escherichia coli*.

Проведено сравнение бактериофагов лактококков из международной коллекции (P001, P008, P335) с выделенными бактериофагами. Выявлено, что бактериофаг P001 имеет сходные морфологию и размеры частиц с некоторыми выделенными бактериофагами. Среди бактериофагов, выделенных с предприятий, обнаружили схожие по морфологии с бактериофагами P008 и P335. Выделенные бактериофаги лактококков, которые отличались размерами при электронной микроскопии, условно разделили на 3 группы: 1 – морфотип P001, 2 – морфотип P008 и 3 – морфотип P335. Выборочно у бактериофагов этих 3 групп (1Ф, 2Ф, 3Ф, 4Ф, 7Ф, 9Ф, 12Ф, 14Ф, 17Ф) методом рестрикционного анализа изучили фаговую ДНК. В качестве маркеров при оценке молекулярных масс фрагментов использовали *EcoRV*, *EcoR* III и *EcoRI* фрагмента фага λ . ДНК изученных бактериофагов была чувствительна к рестриктазам *EcoRI* и *EcoRV*. При гидролизе рестриктазой *EcoRV* образовывалось 7–9 фрагментов. Суммированием молекулярных масс рестрикт

определяли молекулярную массу ДНК бактериофагов, которая находилась в интервале: для фагов группы 1 (морфотип P001) от 33,8 до 36,41 т.п.н., группы 2 (морфотип P008) от 26,45 до 26,71 т.п.н., группы 3 (морфотип P335) от 29,35 до 30,90 т.п.н. (табл. 2). К бактериофагам второй группы были отнесены 3Ф и 14Ф, к бактериофагам третьей группы – 4Ф, 12Ф и 17Ф, а все оставшиеся бактериофаги, лизирующие лактококки, отнесены к первой группе.

Выявлено, что большая часть выделенных бактериофагов, лизирующих лактококки, относилась к морфотипу P001 – 15 фагов (76 %), а меньшая – к морфотипам P008 – 2 фага (11,8 %) и P335 – 3 фага (17,6 %). Полученные данные были подтверждены путем изучения сравнительной характеристики геномов бактериофагов лактококков и выявления родства между ними с помощью ДНК/ДНК гибридизации. В качестве меченой ДНК использовали 32-Р-ДНК бактериофагов P001, P008 и P335. В качестве контроля использовали бактериофаги из международной коллекции P001, P008 и фаг P335.

В результате проведенных исследований были получены «отпечатки» негативных колоний

Таблица 2. Размеры фрагментов ДНК бактериофагов, лизирующих лактококки

Table 2. DNA fragments of bacteriophages of lactococci

Номер фрагмента	Размеры фрагментов ДНК после гидролиза <i>EcoRV</i> , т.п.н.								
	1Ф	2Ф	3Ф	4Ф	7Ф	9Ф	12Ф	14Ф	17Ф
1	7,60	7,40	6,85	7,10	7,50	7,45	7,05	6,90	6,70
2	6,65	5,60	5,60	5,40	6,40	6,55	5,55	5,20	5,45
3	5,60	4,70	4,26	4,35	5,45	5,40	4,45	4,35	4,30
4	4,30	4,30	3,30	3,90	4,20	4,20	4,15	3,40	3,60
5	3,30	3,50	2,90	3,20	3,20	3,60	3,30	2,90	3,15
6	3,00	3,00	2,35	2,25	2,90	2,80	2,70	2,40	2,60
7	2,35	2,20	1,45	1,90	2,30	2,15	2,10	1,30	2,00
8	2,10	1,80	–	1,40	2,00	1,85	1,60	–	1,55
9	1,51	1,30	–	–	1,45	1,20	–	–	–
Суммарная молекулярная масса	36,41	33,8	26,71	29,50	35,40	35,20	30,90	26,45	29,35

Таблица 3. Диапазон хозяев выделенных бактериофагов, лизирующих термофильные молочнокислые стрептококки

Table 3. Hosts of bacteriophages of thermophilic lactic streptococci

Наименование выделенного фага	Источник выделения	Титр фагов, БОЕ в 1 см ³							
		Штаммы-хозяева							
		Тест-культура	СТ138	СТ9	СТ14	СТ132	T24	TP20	T48
1F ST	Творог-31	1,3×10 ⁵	н/о	1,2×10 ⁴	1,6×10 ⁵	н/о	1,7×10 ²	н/о	1,4×10 ³
2F ST	Творог-52	1,4×10 ⁵	н/о	1,7×10 ³	1,5×10 ⁵	н/о	1,2×10 ⁵	н/о	1,8×10 ²
3F ST	Молочная сыворотка-18	2,5×10 ⁷	н/о	1,4×10 ⁴	4,3×10 ⁵	н/о	3,6×10 ⁴	н/о	6,9×10 ⁵
4F ST	Молочная сыворотка-65	8,4×10 ⁶	н/о	1,3×10 ⁵	1,2×10 ⁵	н/о	1,7×10 ³	н/о	1,5×10 ⁴
5F ST	Молочная сыворотка-76	7,7×10 ⁶	н/о	1,4×10 ⁵	1,1×10 ⁵	н/о	1,2×10 ³	н/о	1,2×10 ⁵
6F ST	Сметана-9	9,7×10 ⁵	3,5×10 ⁴	н/о	н/о	1,3×10 ⁴	7,6×10 ⁴	н/о	6,9×10 ⁵
7F ST	Сметана-18	2,1×10 ⁶	4,9×10 ⁴	н/о	н/о	2,7×10 ⁴	3,8×10 ⁴	н/о	7,0×10 ⁵
8F ST	Йогурт-4	1,9×10 ⁶	н/о	5,8×10 ⁴	3,6×10 ⁴	н/о	1,4×10 ³	4,1×10 ⁵	1,3×10 ²
9F ST	Йогурт-19	8,8×10 ⁵	н/о	2,1×10 ⁵	4,9×10 ⁴	н/о	3,3×10 ³	7,7×10 ⁴	1,8×10 ²
10F ST	Ряженка-22	3,7×10 ⁶	н/о	8,3×10 ⁴	9,9×10 ⁴	н/о	1,1×10 ⁵	1,5×10 ³	5,1×10 ⁴
11F ST	Снежок-6	1,8×10 ⁶	н/о	7,7×10 ⁴	5,5×10 ⁴	н/о	1,9×10 ⁴	2,8×10 ³	4,6×10 ⁴

н/о – на данной культуре фаги не были обнаружены.

н/о – no bacteriophages detected.

исследуемых бактериофагов. Как следует из полученных данных, бактериофаги, отнесенные к 1 группе, являются родственными, поскольку их ДНК гибридизируется с 32-Р-ДНК фага Р001. ДНК бактериофагов 2 группы гибридизовалась с 32-Р-ДНК фага Р008, а ДНК бактериофагов 3 группы гибридизовалась с 32-Р-ДНК фага Р335.

Проведенное изучение спектра литического действия выделенных бактериофагов показало, что отечественные закваски лактококков поражались фагами морфотипа Р001, а закваски из зарубежных стран – фагами морфотипа Р008 и Р335. Циркуляцию бактериофагов, отличающихся по морфотипам, можно объяснить применением на предприятиях заквасок,

содержащих лактококки, от разных производителей России и западных стран. Это связано с тем, что каждый производитель использует в составе заквасок определенные штаммы лактококков, которые отличаются по фагоустойчивости к разным типам бактериофагов.

Большинство выделенных бактериофагов одновременно могли лизировать *L. lactis* subsp. *lactis*, *L. lactis* subsp. *cremoris* и *L. lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*, т. е. являются поливалентными. Ранее выделяемые бактериофаги чаще лизировали только один конкретный вид или подвида лактококков. Можно сделать заключение о появлении и увеличении со временем числа поливалентных

Таблица 4. Диапазон хозяев и титр выявленных бактериофагов, лизирующих штаммы *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, в образцах йогурта и продукта «Снежок»Table 4. Hosts and titer of detected bacteriophages of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* in yoghurt and Snezhok fermented dairy product

Наименование выделенного фага	Источник выделения	Титр фагов, БОЕ в 1 см ³						
		Тест-культуры						
		ВКПМ-9644	ВКПМ-8554	АЕ-5	АД-3	БВ-7	Б-259	Б-ЛГ
ФБП-312	Йогурт	н/о	4,7×10 ⁶	7,2×10 ²	2,1×10 ³	3,4×10 ⁴	8,6×10 ⁴	8,9×10 ⁵
ФБП-319	Йогурт	1,3×10 ²	2,2×10 ⁵	2,3×10 ³	5,4×10 ⁴	4,8×10 ³	7,3×10 ⁴	1,7×10 ⁵
ФБП-334	Йогурт	н/о	9,3×10 ⁴	1,2×10 ³	4,4×10 ³	2,6×10 ³	6,8×10 ⁴	7,4×10 ⁴
ФБП-347	Снежок	1,2×10 ³	3,4×10 ⁶	3,7×10 ³	2,5×10 ³	6,1×10 ³	5,9×10 ⁴	6,9×10 ⁵
ФБП-353	Снежок	н/о	8,5×10 ⁵	4,6×10 ³	3,7×10 ³	5,3×10 ³	8,2×10 ⁴	4,8×10 ⁵

н/о – на данной культуре фаги не были обнаружены.

н/о – no bacteriophages detected.

бактериофагов лактококков, выявляемых на предприятиях, выпускающих кисломолочную продукцию. Расширение биоразнообразия бактериофагов, поражающих молочнокислые бактерии рода *Lactococcus* spp., подтверждается данными и других авторов [21, 32].

Выявление бактериофагов в образцах кисломолочной продукции, производимой с применением заквасок, содержащих штаммы термофильных молочнокислых стрептококков, осуществляли с использованием коллекционной тест-культуры ATCC 19258 и 7 штаммов *S. salivarius* subsp. *thermophilus* – СТ138, СТ9, СТ14, СТ132, Т24, ТР20, Т48 из коллекции МГУПП. В результате проведенной работы было выделено 11 бактериофагов, лизирующих *S. salivarius* subsp. *thermophilus*. Установлено, что большее число изолятов бактериофагов имели не только первичного хозяина (тест-культура), но и новых общих вторичных хозяев (табл. 3).

Тестирование выделенных бактериофагов, лизирующих термофильные молочнокислые стрептококки, с помощью анализа диапазона хозяев позволило выявить большее количество бактериофагов, лизирующих разных хозяев. Отмечено, что на разных штаммах, применяемых в качестве тест-культур, обнаруживали или не обнаруживали бактериофаги, лизирующие термофильный молочнокислый стрептококк. Титр обнаруженных бактериофагов на разных тест-культурах варьировался от 1,7×10² до 2,5×10⁷ БОЕ в 1 см³. Подтверждена целесообразность применения коллекционных тест-культур для выявления бактериофагов, лизирующих штаммы термофильного молочнокислого стрептококка, в кисломолочной продукции, хотя спектр хозяев бактериофагов увеличился.

Установлено, что штаммы СТ138 и СТ132 можно использовать в качестве тест-культур для выявления бактериофагов в сметане, но их не

следует применять для индикации бактериофагов в разных видах творога, молочной сыворотки, йогурта, ряженки и продукта «Снежок». Штаммы СТ9 и СТ14 можно применять для выявления бактериофагов в проверенных видах кисломолочной продукции, за исключением сметаны. Использование штамма ТР20 позволило выявить бактериофаги в йогурте, ряженке и продукте «Снежок». Штаммы Т24 и Т48 выступали в качестве хозяев для всех выделенных бактериофагов, способных лизировать культуры термофильного молочнокислого стрептококка.

Таким образом, были определены дополнительные штаммы, которые можно использовать при индикации бактериофагов, способных лизировать *S. salivarius* subsp. *thermophilus*, применяющиеся в биотехнологии ферментированных видов продукции.

Выявление бактериофагов, способных лизировать молочнокислые термофильные палочки в образцах йогурта и продукта «Снежок», осуществляли с использованием коллекционной тест-культуры *Lactobacillus acidophilus* ВКПМ-9644 (штамм АСТ-41), *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ВКПМ-8554 (штамм БГ-Г), а также культур *L. acidophilus* (штаммы АЕ-5, АД-3, БВ-7, Б-259) и *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (штамм Б-ЛГ) из коллекции МГУПП. В ходе проведенной работы выделено 5 бактериофагов, лизирующих молочнокислые термофильные палочки, входящие в состав заквасок, которые применяются в биотехнологии йогурта и продукта «Снежок». Диапазон хозяев и титр выявленных бактериофагов приведен в таблице 4.

Анализ полученных результатов свидетельствовал о наличии бактериофагов, которые поражают молочнокислые термофильные палочки, в частности *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, используемых в составе заквасок для йогурта и продукта «Снежок». Установлено, что выделенные бактериофаги имели в качестве хозяев не только коллекционные тест-культуры, но и другие штаммы молочнокислых

термофильных палочек. Это свидетельствует об увеличении биоразнообразия фагов, циркулирующих на предприятиях. Предложено при выявлении бактериофагов, способных лизировать *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, дополнительно использовать в качестве тест-культуры штамм Б-ЛГ, поскольку титр бактериофагов при его применении составлял $7,4 \times 10^4$ – $8,9 \times 10^5$ БОЕ в 1 см³.

Таким образом, бактериофаги представляют собой основную микробиологическую угрозу для производства ферментированных пищевых продуктов. Эта проблема в большей степени затрагивает молочную промышленность, т. к. бактериофаги присутствуют в сыром молоке, на поверхностях оборудования, резервуарах, полах и стенах производственных помещений, а также распространяются воздушным путем. Распознавание источников загрязнения и правильный мониторинг бактериофагов на заводах позволяют своевременно применять соответствующие меры контроля. К ним относятся общие меры, такие как надлежащее проектирование завода, применение современного асептического оборудования, эффективные программы санитарной обработки, необходимая обработка молочного сырья и изолирование молочной сыворотки. Кроме того, использование культур молочнокислых бактерий должно быть адекватным и с применением схем ротации.

Исследования, проводимые по изучению бактериофагии в других странах, подтверждают актуальность и важность этой проблемы. В исследовании K. Lavelle и др. изучалось биоразнообразие и эволюция фагов на ирландском предприятии по выпуску ферментированных молочных продуктов в течение 11-летнего периода. Это привело к выделению 17 генетически различных

фагов, которые относятся к cos группе. Были проанализированы и идентифицированы в дистальном хвосте, белках базовой пластины и вариабельных областях лизина, связанных с хвостовым отростком, белки, ответственные за распознавание хозяина: домены VR1 и VR2, связывающие углеводы. Это подтверждает идею о том, что фаги *S. thermophilus* распознают углеводный рецептор на клеточной поверхности своего хозяина [33].

Ученые продолжают проводить исследования вновь выявляемых бактериофагов, которые лизируют молочнокислые бактерии при ферментации пищевых сред и сравнивать их с ранее выделенными. В работе польских исследователей показано, что вновь выявленные бактериофаги на молочных заводах, хотя и сохранили общий геном с ранее выделенными, имеют несколько отличительных признаков, включая наличие и расположение генов эндонуклеазы HNH [34].

В исследованиях X. Chen с соавторами приводится характеристика и адсорбция вирулентного бактериофага, поражающего *Lactobacillus plantarum* [35]. В исследовании M. Eller и др. был выделен и охарактеризован литический бактериофаг IL-P1 *Lactococcus lactis* из сыворотки при неудавшейся ферментации. Бактериофаг выделяли и культивировали в *L. lactis* subsp. *cremoris* на среде M17. Анализ вирусного генома показал, что он состоит из ДНК длиной 48 т.п.н., а ПЦР и микроскопия подтвердили принадлежность IL-P1 к группе бактериофагов типа 936 семейства *Siphoviridae*, которое является наиболее распространенным типом лактококкового вируса в молочных продуктах во всем мире [36].

Проводимые исследования сосредоточены на выделении и характеристике вновь появляющихся

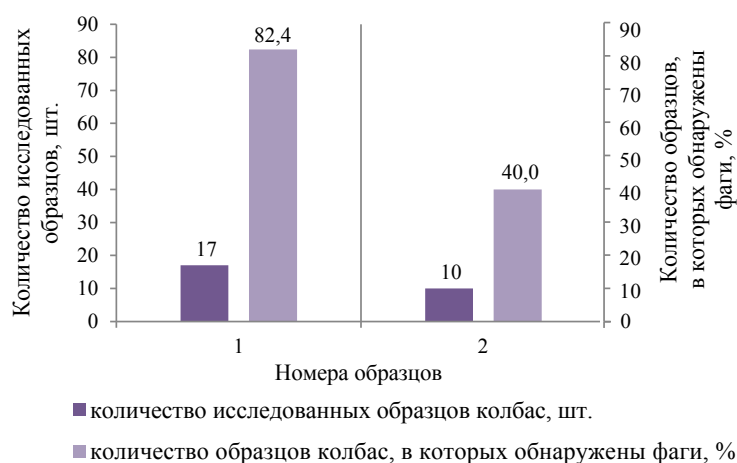


Рисунок 2. Частота выявления фагов в образцах сыровяленых и сырокопченых колбас:
1 – сыровяленые колбасы; 2 – сырокопченые колбасы

Figure 2. Bacteriophages in dry-cured and raw-smoked sausages: 1 – dry-cured sausages; 2 – raw smoked sausages

бактериофагов, лизирующих молочнокислые бактерии, которые используются в разных пищевых системах (например, в молочном и мясном сырье и др.) и приводят к ухудшению качества продукции и экономическим потерям.

Расширение в нашей стране производства колбас, вырабатываемых с применением стартовых культур, состоящих из молочнокислых бактерий, привело к возникновению вопросов у сотрудников предприятий о причинах нарушения процессов ферментации мясного сырья. В этой связи в рамках проведения исследования была поставлена задача по определению факторов, влияющих на развитие молочнокислых бактерий в мясном сырье, в том числе возможности воздействия на них бактериофагов. Проведенный анализ 27 образцов сыровяленых и сырокопченых колбас свидетельствовал о наличии в некоторых из них бактериофагов (рис. 2).

Стартовые культуры, применяемые в биотехнологии изученных образцов сыровяленых и сырокопченых колбас, состояли из микроорганизмов, разрешенных для применения в России, а именно *Latilactobacillus curvatus*, *Latilactobacillus sakei* ssp. *sakei*, *Lactocaseibacillus paracasei*, *Pediococcus acidilactici* и *Pediococcus pentosaceus*. В работе были исследованы фильтраты сыровяленых полусухих и сырокопченых колбас: Брауншвейгская, Еврейская и Зернистая. При исследовании сыровяленых полусухих колбас количество образцов, в которых выявлены бактериофаги, лизирующие молочнокислые палочки, составило 14 (82,4 %), а сырокопченых – 4 (40 %). Дополнительные технологические операции при выработке сырокопченых колбас способствуют снижению количества бактериофагов в готовой продукции. В исследованных образцах колбас определено наличие бактериофагов, лизирующих культуры *Lactiplantibacillus plantarum* ssp. *plantarum* и *L. sakei* ssp. *sakei*, которые входили в состав применяемых стартовых культур.

Исследования бактериофагов в мясном сырье в других странах проводятся, но их не много [37, 38]. Новый бактериофаг (фаг ggg) и его хозяин *Leuconostoc gelidum* LRC-BD были выделены из свиной корейки в вакуумной упаковке. Гомогенаты ткани свиной корейки обогащали *L. gelidum* LRC-BD для выделения бактериофагов. Электронно-микроскопическое наблюдение показало, что бактериофаг ggg относится к семейству *Siphoviridae*. Диапазон хозяев был ограничен изолятами *L. gelidum* из мяса [37]. В тайской ферментированной свиной колбасе Nham был обнаружен бактериофаг Ф22 семейства *Podoviridae*, поражающий молочнокислые бактерии. Электронные микрофотографии показали, что головка бактериофага была икосаэдрической размером 92×50 нм и длиной хвоста 27 нм. Исходя из морфологии, этот бактериофаг был отнесен к семейству *Podoviridae*. Бактериальный изолят, чувствительный к инфекции бактериофага

Ф22, был идентифицирован как *Weissella cibaria*. Определение диапазона хозяина показало, что бактериофаг Ф22 не был способен инфицировать другие 40 изолятов лабораторных и эталонных штаммов *Weissella* [38]. Малочисленные источники литературы о поражении стартовых культур при получении мясной продукции свидетельствуют о том, что явление бактериофагии встречается реже, чем при производстве ферментированных видов молочной продукции. Однако это не означает, что исследования в данном направлении не следует проводить.

Результаты исследований, представленные в данной статье, обуславливают необходимость проведения дальнейшего изучения бактериофагов, поражающих стартовые культуры в биотехнологии ферментированных видов мясной продукции.

Следовательно, и закваски для кисломолочной продукции, и стартовые культуры для сыровяленых и сырокопченых колбас с высокой фагоустойчивостью, содержащие молочнокислые бактерии, могут подвергаться фаголизису. Проведение широкого мониторинга обусловило выявление большого числа бактериофагов, лизирующих разных хозяев не только коллекционных тест-культур, но и вторичных хозяев.

Выводы

В результате проведенного исследования установлено изменение биоразнообразия и эволюции бактериофагов за счет расширения спектра их литического действия и вирулентности, независимо от питательной среды (молочное или мясное сырье), в коорой они могут поражать молочнокислые бактерии.

Выделено 20 бактериофагов, лизирующих молочнокислые бактерии рода *Lactococcus* ssp., 11 – *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, 5 – *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Выделенные и охарактеризованные бактериофаги включены в коллекцию для отбора культур молочнокислых бактерий, применяемых для составления заквасок и стартовых культур. Результаты исследования позволили расширить линейку тест-культур, используемых для обнаружения бактериофагов в биотехнологии ферментированных видов молочной и мясной продукции. Полученные результаты исследования будут способствовать выявлению бактериофагов на ранних этапах нарушения биотехнологических процессов, а также своевременному принятию и выполнению корректирующих мероприятий, обеспечивающих выпуск продукции с требуемыми показателями качества и безопасности.

Критерии авторства

В. И. Ганина осуществляла общее руководство при проведении всех исследований; проводила анализ литературных источников по вопросу бактериофагии

в молочной отрасли, выделение и изучение бактериофагов, лизирующих молочнокислые бактерии, а также анализ полученных данных. Н. Г. Машенцева анализировала источники литературы, касающиеся фаголизиса стартовых культур, применяемых в мясной отрасли; осуществляла подготовку тест-культур и образцов колбас для выявления бактериофагов и их изучения; проводила анализ полученных результатов. И. И. Ионова осуществляла поиск литературы и подготовку тест-культур и штаммов молочнокислых бактерий из коллекции МГУПП для проведения исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность руководителю и сотрудникам БРЦ ВКПМ «Курчатовский институт» – ГосНИИгенетика и учебно-вспомогательному персоналу кафедры технология молока, пробиотических молочных продуктов и сыроделия Московского

государственного университета пищевых производств за помощь в организации экспериментальных исследований.

Contribution

V.I. Ganina supervised the research, reviewed scientific publications, isolated bacteriophages and analyzed the data. N.G. Mashentseva reviewed publications on phagolysis of starter cultures in the meat industry, prepared test cultures and sausage samples, and analyzed the obtained results. I.I. Ionova selected publications for the review and prepared test cultures and strains of lactic acid bacteria from the collection of the Moscow State University of Food Production.

Conflict of interest

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

Acknowledgements

The authors express their deepest gratitude to the Kurchatov Institute GosNIIGenetika and the Department of Technology of Milk, Probiotic Dairy Products, and Cheesemaking of the Moscow State University of Food Production.

References/Список литературы

1. Chaplygina TV, Prosekov AY, Babich OO, Pavsky VA, Ivanova SA. Functional dairy products are protection during pandemic. Dairy Industry. 2020;(6):26–28. (In Russ.). <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-06-26-28>
2. Belmer SV. Fermented milk products: from history to the present. Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics. 2019;64(6):119–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2019-64-6-119-125>
3. Zobkova ZS. Dependence of the relative biological value of fermented milk drinks on the type of starter microorganisms. Dairy Industry. 2020;(8):36–37. (In Russ.).
- Зобкова З. С. Зависимость относительной биологической ценности кисломолочных напитков от вида заквасочных микроорганизмов // Молочная промышленность. 2020. № 8. С. 36–37.
4. Goroshchenko LG. Dynamics of fermented milk products' production in 2020. Dairy Industry. 2021;(8):63–64. (In Russ.).
- Горощенко Л. Г. Динамика производства кисломолочных продуктов в 2020 г // Молочная промышленность. 2021. № 8. С. 63–64.
5. Khrundin DV, Ponomarev VYa, Yunusov ESh. Fermented oat milk as a base for lactose-free sauce. Foods and Raw Materials. 2022;10(1):155–162. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-155-162>
6. Gavrilova N, Chernopolskaya N, Molyboga E, Shipkova K, Dolmatova I, Demidova V, et al. Biotechnology application in production of specialized dairy products using probiotic cultures immobilization. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2019;8(6):642–648.
7. Zakharova LM, Gorbunchikova MS. A new synbiotic fermented dairy product: technological production features. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(1):17–28. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-17-28>
8. Martinchik AN, Keshabyants EE, Peskova EV, Mikhaylov NA, Baturin AK. Dairy products and obesity: pro and contra, Russian experience. Problems of Nutrition. 2018;87(4):39–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10040>
9. Vinicius de Melo Pereira G, de Carvalho Neto DP, Junqueira ACO, Karp SG, Letti LAJ, Magalhães Júnior AI, et al. A review of selection criteria for starter culture development in the food fermentation industry. Food Reviews International. 2020;36(2):135–167. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1630636>
10. Tamang JP, Cotter PD, Endo A, Han NS, Kort R, Liu SQ, et al. Fermented foods in a global age: East meets West. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2020;19(1):184–217. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12520>

11. Bintsis T. Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics. *AIMS Microbiology*. 2018;4(4):665–684. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.4.665>
12. Yang Y, Babich OO, Sukhikh SA, Zimina MI, Milentyeva IS. Identification of total aromas of plant protein sources. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):377–384. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-377-384>
13. Maske BL, de Melo Pereira GV, da Silva Vale A, Marques Souza DS, De Dea Lindner J, Soccol CR. Viruses in fermented foods: are they good or bad? Two sides of the same coin. *Food Microbiology*. 2021;98. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103794>
14. Muhammed MK, Kot W, Neve H, Mahony J, Castro-Mejía JL, Krych L, *et al.* Analysis of dairy bacteriophages: Extraction method and pilot study on whey samples derived from using undefined and defined mesophilic starter cultures. *Applied and Environmental Microbiology*. 2017;83(19). <https://doi.org/10.1128/AEM.00888-17>
15. McDonnell B, Mahony J, Hanemaaijer L, Neve H, Noben J-P, Lugli GA, *et al.* Global survey and genome exploration of bacteriophages infecting the lactic acid bacterium *Streptococcus thermophilus*. *Frontiers in Microbiology*. 2017;8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01754>
16. de Melo Pereira GV, de Carvalho Neto DP, Maske BL, de Dea Lindner J, Vale AS, Favero GR, *et al.* An updated review on bacterial community composition of traditional fermented milk products: what next-generation sequencing has revealed so far? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020;62(7):1870–1889. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1848787>
17. Garmaeva S, Sinha T, Kurilshikov A, Fu J, Wijmenga C, Zhernakova A. Studying the gut virome in the metagenomic era: Challenges and perspectives. *BMC Biology*. 2019;17(1). <https://doi.org/10.1186/s12915-019-0704-y>
18. Dugat-Bony E, Lossouarn J, de Paepe M, Sarthou A-S, Fedala Y, Petit M-A, *et al.* Viral metagenomic analysis of the cheese surface: A comparative study of rapid procedures for extracting viral particles. *Food Microbiology*. 2020;85. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103278>
19. Laranjo M, Potes ME, Elias M. Role of starter cultures on the safety of fermented meat products. *Frontiers in Microbiology*. 2019;10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00853>
20. Ganina VI. Bacteriophages and ways to reduce their quantities. *Dairy Industry*. 2016;(2):41–43. (In Russ.).
- Ганина В. И. Бактериофаги и способы снижения их количества // *Молочная промышленность*. 2016. № 2. С. 41–43.
21. Briggiler Marcó M, Mercanti DJ. Bacteriophages in dairy plants. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2021;97:1–54. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.015>
22. Pujato SA, Quiberoni A, Mercanti DJ. Bacteriophages on dairy foods. *Journal of Applied Microbiology*. 2018;126(1):14–30. <https://doi.org/10.1111/jam.14062>
23. Briggiler Marcó M, Suárez VB, Quiberoni A, Pujato SA. Inactivation of dairy bacteriophages by thermal and chemical treatments. *Viruses*. 2019;11(5). <https://doi.org/10.3390/v11050480>
24. Sorokina NP, Kuraeva EV, Kucherenko IV, Cheshun KA. The spectrum of lytic activity of collection bacteriophages infecting lactococci. *Dairy Industry*. 2020;(11):27–29. (In Russ.).
- Спектр литической активности коллекционных бактериофагов, инфицирующих лактококки / Н. П. Сорокина [и др.] // *Молочная промышленность*. 2020. № 11. С. 27–29.
25. Ganina VI. The temperature effect on the survival of bacteriophages in the biotechnology of fermented milk products. *Dairy Industry*. 2020;(3):31–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2020-03-32-33>
26. Buslenka AV, Barunova SB, Shpanikava EV, Vasylenko SL, Zhabanos NK, Furyk NN. Investigation of the collection bacteriophages biological properties of lactic acid bacteria. *Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials*. 2019;(13):47–55. (In Russ.).
- Изучение биологических свойств коллекционных бактериофагов молочнокислых бактерий / А. В. Бусленко [и др.] // *Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья*. 2019. № 13. С. 47–55.
27. Tkachenko VV, Odegov NI, Dorofeev RV. Preparation of the “sterile” phagelysates. *Dairy Industry*. 2017;(1):48–49. (In Russ.).
- Ткаченко В. В., Одегов Н. И., Дорофеев Р. В. Приготовление «стерильных» фаголизатов // *Молочная промышленность*. 2017. № 1. С. 48–49.
28. Ackermann H-W, Kropinski AM. Curated list of prokaryote viruses with fully sequenced genomes. *Research in Microbiology*. 2007;158(7):555–566. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2007.07.006>
29. Andreou L-V. Isolation of plasmid DNA from bacteria. *Methods in Enzymology*. 2013;529:135–142. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418687-3.00010-0>
30. Esteban-Torres M, Ruiz L, Sanchez-Gallardo R, van Sinderen D. Isolation of chromosomal and plasmid DNA from bifidobacteria. *Methods in Molecular Biology*. 2021;2278:21–29. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1274-3_3

31. Plata CA, Marni S, Maritan A, Bellini T, Suweis S. Statistical physics of DNA hybridization. *Physical Review E*. 2021;103(4). <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.103.042503>
32. Oliveira J, Mahony J, Hanemaaijer L, Kouwen TRHM, van Sinderen D. Biodiversity of bacteriophages infecting *Lactococcus lactis* starter cultures. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(1):96–105. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13403>
33. Lavelle K, Murphy J, Fitzgerald B, Lugli GA, Zomer A, Neve H, et al. Decade of *Streptococcus thermophilus* phage evolution in an Irish dairy plant. *Applied and Environmental Microbiology*. 2018;84(10). <https://doi.org/10.1128/AEM.02855-17>
34. Chmielewska- Jeznach V, Bardowski JK, Szczepankowska AK. Molecular, physiological and phylogenetic traits of *Lactococcus* 936-type phages from distinct dairy environments. *Scientific Reports*. 2018;8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30371-3>
35. Chen X, Guo J, Liu Y, Chai S, Ma R, Munguntsetseg B. Characterization and adsorption of a *Lactobacillus plantarum* virulent phage. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(5):3879–3886. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16019>
36. Eller MR, Dias RS, de Moraes CA, de Carvalho AF, Oliveira LL, Silva EAM, et al. Molecular characterization of a new lytic bacteriophage isolated from cheese whey. *Archives of Virology*. 2021;157(12):2265–2272. <https://doi.org/10.1007/s00705-012-1432-6>
37. Greer GG, Dilts BD, Ackermann H-W. Characterization of a *Leuconostoc gelidum* bacteriophage from pork. *International Journal of Food Microbiology*. 2007;114(3):370–375. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.09.021>
38. Pringsulaka O, Patarasinpaiboon N, Suwannasai N, Atthakor W, Rangsiruji A. Isolation and characterisation of a novel *Podoviridae*-phage infecting *Weissella cibaria* N 22 from Nham, a Thai fermented pork sausage. *Food Microbiology*. 2011;28(3):518–525. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.10.011>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2370>
<https://elibrary.ru/UALJNZ>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Мультикомпонентные композиты наноконкомплексов циклодекстрина с биологически активными веществами для функциональных продуктов питания



В. П. Курченко^{1,*}, Т. Н. Головач¹,
Н. В. Сушинская¹, Е. И. Тарун¹, Н. В. Дудчик²,
В. Г. Цыганков², И. А. Евдокимов³, А. Д. Лодыгин³

¹ Белорусский государственный университет^{ROR}, Минск, Республика Беларусь

² Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены», Минск, Республика Беларусь

³ Северо-Кавказский федеральный университет^{ROR}, Ставрополь, Россия

Поступила в редакцию: 04.03.2022

Принята после рецензирования: 31.03.2022

Принята в печать: 14.06.2022

*В. П. Курченко: kurchenko@tut.by,

<https://orcid.org/0000-0002-4859-2389>

Т. Н. Головач: <https://orcid.org/0000-0002-2096-8030>

Н. В. Сушинская: <https://orcid.org/0000-0003-4036-9825>

Е. И. Тарун: <https://orcid.org/0000-0001-5711-6037>

Н. В. Дудчик: <https://orcid.org/0000-0002-5877-9307>

В. Г. Цыганков: <https://orcid.org/0000-0003-2263-9959>

И. А. Евдокимов: <https://orcid.org/0000-0002-5396-1548>

А. Д. Лодыгин: <https://orcid.org/0000-0001-8460-2954>

© В. П. Курченко, Т. Н. Головач, Н. В. Сушинская, Е. И. Тарун,
Н. В. Дудчик, В. Г. Цыганков, И. А. Евдокимов, А. Д. Лодыгин, 2022



Аннотация.

Для разработки функциональных продуктов питания необходимы мультикомпонентные композиции, содержащие одновременно гидрофильные и гидрофобные соединения. Для этого применяются комплексы включения циклодекстринов (ЦД) с пептидами гидролизата белков и жирорастворимыми витаминами. Цель работы заключалась в разработке метода получения гипоаллергенных пептидов из ферментативного гидролизата белков сыворотки молока и их включения в β -ЦД, а также в получении наноконкомплексов β -ЦД с препаратами жирорастворимых витаминов D_3 и А и создании на основе полученных клатратов мультикомпонентных композиций для функционального питания.

Объектами исследования являлись наноконкомплекс β -ЦД с фракцией пептидов ферментативного гидролизата белков сыворотки молока и препаратами витаминов D_3 и А, а также их мультикомпонентные смеси. Применялись стандартные аналитические методы исследования: ВЭЖХ-МС, электрофорез, термогравиметрия и флуориметрия.

Разработана методика получения из ферментативного гидролизата белков молока гипоаллергенных фракций пептидов с молекулярной массой от 300–1500 Да (ФП-ГБС). Полученные пептиды содержат от 6 до 14 аминокислотных остатков и обладают гипоаллергенными свойствами, т. к. не содержат антигенные детерминанты, способные вызывать синтез IgE. Получены комплексы включения пептидов гидролизата белков молока и жирорастворимых витаминов А и D_3 . Исследованы антиоксидантные и антимутагенные свойства. Дана токсиколого-гигиеническая оценка полученных клатратов. Клатраты пептидов обладали умеренным горьким вкусом. Комплексы включения жирорастворимых витаминов D_3 : β -ЦД и А: β -ЦД позволили перевести их из раствора оливкового масла в порошкообразную форму, которая растворяется в воде. На основе комплексов включения был разработан мультикомпонентный композит, в 100 г которого содержалось 47 г ФП-ГБС, 1,06 мг витамина D_3 (42 500 МЕ), 3,44 мг витамина А (10 000 МЕ) и 1,54 г оливкового масла. Исследованы структурно-функциональные свойства полученных образцов комплексов включения. Токсиколого-гигиеническая оценка наноконкомплексов ФП-ГБС: β -ЦД, D_3 : β -ЦД и А: β -ЦД и их мультикомпонентного композита в экспериментах на *Tetrahymena pyriformis* показала, что по средней смертельной дозе они относятся к 5 классу опасности (неопасные вещества).

Полученные порошкообразные формы водорастворимых жирорастворимых витаминов и пептидов легко дозируются и могут быть использованы при разработке различных функциональных продуктов питания.

Ключевые слова. Циклодекстрины, витамин А, витамин D_3 , пептиды, комплексы включения, функциональные продукты питания

Для цитирования: Мультикомпонентные композиты наноконкомплексов циклодекстрина с биологически активными веществами для функциональных продуктов питания / В. П. Курченко [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 375–389. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2370>

Multicomponent composites of cyclodextrin nanocomplexes with biologically active substances for functional foods

Vladimir P. Kurchenko^{1,*}, Tatsiana M. Halavach¹,
Natallia V. Sushynskaya¹, Ekaterina I. Tarun¹, Natalia V. Dudchik²,
Vasili G. Tsygankow², Ivan A. Evdokimov³, Aleksei D. Lodygin³

¹ Belarusian State University^{ROR}, Minsk, Republic of Belarus

² Republican unitary enterprise “Scientific and Practical Center of Hygiene”, Minsk, Republic of Belarus

³ North-Caucasus Federal University^{ROR}, Stavropol, Russia

Received: 04.03.2022

Revised: 31.03.2022

Accepted: 14.06.2022

*Vladimir P. Kurchenko: kurchenko@tut.by,
<https://orcid.org/0000-0002-4859-2389>

Tatsiana M. Halavach: <https://orcid.org/0000-0002-2096-8030>
Natallia V. Sushynskaya: <https://orcid.org/0000-0003-4036-9825>
Ekaterina I. Tarun: <https://orcid.org/0000-0001-5711-6037>
Natalia V. Dudchik: <https://orcid.org/0000-0002-5877-9307>
Vasili G. Tsygankow: <https://orcid.org/0000-0003-2263-9959>
Ivan A. Evdokimov: <https://orcid.org/0000-0002-5396-1548>
Aleksei D. Lodygin: <https://orcid.org/0000-0001-8460-2954>

© V.P. Kurchenko, T.M. Halavach, N.V. Sushynskaya, E.I. Tarun,
N.V. Dudchik, V.G. Tsygankow, I.A. Evdokimov, A.D. Lodygin, 2022



Abstract.

Enzymatic protein hydrolysates of milk are used as a protein component of functional foods intended for children, athletes, and senior citizens. They are easy to absorb and possess hypoallergenic, antioxidant, antimicrobial, and antimutagenic properties. However, the peptides in their composition have a bitter taste, which limits the use of milk protein hydrolysates in food industry. Functional foods are often fortified with fat-soluble vitamins and other hydrophobic ingredients. They require multicomponent compositions that contain both hydrophilic and hydrophobic compounds. Complexes of β -cyclodextrins with peptides of whey protein hydrolysates and fat-soluble vitamins can solve this problem.

The present research featured nanocomplexes of β -cyclodextrins with whey peptides and their multicomponent mixes with vitamins D₃ and A. The methodology involved HPLC-MS, electrophoresis, thermogravimetry, and fluorimetry.

The obtained clathrates were used to develop new multicomponent compositions for functional nutrition. The article introduces a new production method for hypoallergenic peptide fractions with a molecular weight of 300–1500 Da from enzymatic whey protein hydrolysates. The obtained peptides contained 6–14 amino acid residues and demonstrated hypoallergenic properties because they contained no antigenic determinants capable of causing IgE synthesis. The complexes of inclusion contained hydrolyzate peptides of dairy proteins and fat-soluble vitamins A and D₃. The research revealed some antioxidant and antimutagenic properties, as well as the toxicological and hygienic profile of the clathrates. The resulting peptide clathrates had a less bitter taste. The inclusion complexes of fat-soluble vitamins D₃: β -cyclodextrins, and A: β -cyclodextrins could be converted from an olive oil solution into a soluble powder. 100 g of the multicomponent composite contained 47.0 g of whey protein hydrolyzate of low molecular weight fraction peptides, 1.06 mg of vitamin D₃ (42 500 IU), 3.44 mg of vitamin A (10 000 IU), and 1.54 g of olive oil. The article also describes the structural and functional properties of the inclusion complexes. Nanocomplexes of whey protein hydrolyzate of low molecular weight fraction peptides: β -cyclodextrins, D₃: β -cyclodextrins, and A: β -cyclodextrins and their multicomponent composite were tested for toxicological and hygienic properties using *Tetrahymena pyriformis*. They appeared to belong to the 5th hazard class in terms of the average lethal dose (non-hazardous substances). The obtained powder forms of fat-soluble vitamins and peptides are easily dosed and can be used to design new functional foods.

Keywords. Cyclodextrins, vitamin A, vitamin D₃, peptides, inclusion complexes, functional foods

For citation: Kurchenko VP, Halavach TM, Sushynskaya NV, Tarun EI, Dudchik NV, Tsygankow VG, et al. Multicomponent Composites of Cyclodextrin Nanocomplexes with Biologically Active Substances for Functional Foods. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):375–389. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2370>

Введение

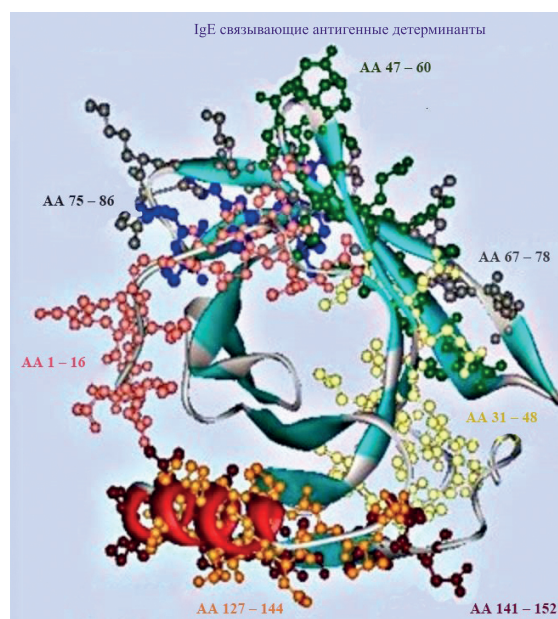
Состояние здоровья человека определяется характером и структурой питания. Нарушение структуры питания – главный фактор, наносящий непоправимый урон здоровью [1–4]. Европейским региональным комитетом ВОЗ предложен план действий в области пищевых продуктов по расширению производства специально созданной пищи или более широкому использованию функциональных продуктов питания [5].

Под функциональными пищевыми продуктами понимаются пищевые продукты, которые посредством добавления или элиминации определенных пищевых ингредиентов изменяются таким образом, что начинают оказывать регулирующее действие на физиологические функции и биохимические реакции человека. Также они способствуют снижению риска возникновения какого-либо заболевания и оказывают высокий эффект воздействия на здоровье человека в сравнении с традиционными пищевыми продуктами [2, 5, 6].

Вопросы производства гипоаллергенных продуктов питания для детей, спортсменов и пожилых людей актуальны. Это связано с тем, что до 10 % детей раннего возраста страдает пищевой аллергией, обусловленной развитием сенсибилизации организма

больного к пищевым аллергенам. Клиническим проявлением пищевой аллергии выступает атопический дерматит – хроническое аллергическое воспаление кожи [7–9]. В раннем возрасте у детей наблюдается повышенная проницаемость желудочно-кишечного тракта для белков молока. Это связано с тем, что β -лактоглобулин (β -лг) и другие белки молока не гидролизуются пепсином. Такие нерасщепленные белки достигают эпителия тонкой кишки и адсорбируются энтероцитами, в которых происходит их частичный протеолиз. Около 10 % не гидролизованных белков в неизменном виде попадают в кровь. При их взаимодействии со специализированными клетками иммунной системы запускается синтез IgE к различным антигенным детерминантам этих белков. На рисунке 1 представлены такие детерминанты β -лг, к которым образуются специфические антитела класса IgE. Исследования показали, что у детей с пищевой аллергией установлена высокая частота обнаружения аллергенспецифических IgE к белкам коровьего молока (68,9 %) и его фракциям: казеину (70,6 %) и β -лактоглобулину (66,3 %).

Таким образом, развитие атопического дерматита, вызванного белками коровьего молока, связано с синтезом аллергенспецифических IgE [7, 8].



a

MKCLLLALALTCGAQALIVTQTMKGLDIQKVAGTWYSLAMAASDISLLDAQSAPLRVYVEELKP
TPEGDLLEILLQKWENGECQKKIPAEKTKIPAVFKIDALNENKVLVDLDYKKYLLFCMENSA
EPEQSLACQCLVRTPEVDDEALEKFDKALKALPMHIRLSFNPTQLEEQCCHI

b

Рисунок 1. Третичная (a) и первичная (b) структура β -лактоглобулина с указанием антигенных детерминант к IgE [11]
 Figure 1. Tertiary (a) and primary (b) structure of β -lactoglobulin with antigenic determinants to IgE [11]

У детей раннего возраста с признаками пищевой аллергии обнаружены аллергенспецифические IgE не только к белкам коровьего молока, но и к наиболее распространенным пищевым антигенам животного и растительного происхождения: мясо птицы и рыбы, фрукты, кисломолочные и глютенсодержащие продукты [8].

Для снижения аллергенности натуральных продуктов их ингредиенты модифицируются таким образом, что начинают проявлять гипоаллергенную физиологическую активность. В продуктах детского питания широко используются белки сыворотки молока. В состав сывороточных белков молока входят β -лг (53,5 %), α -лактоальбумин (α -ла) (21,1 %) и сывороточный альбумин (6,2 %). Все эти белки являются аллергенами [8]. Наибольшим аллергенным потенциалом обладает β -лг, который не гидролизует пепсином. В его третичной структуре указана локализация 7 антигенных детерминант, вызывающих синтез аллергенспецифических IgE (рис. 1а). Как видно из рисунка 1б, первичная структура β -лг содержит линейные антигенные детерминанты, последовательности аминокислот которых вызывают синтез специфических IgE. Для снижения его аллергенного потенциала необходимо провести ферментативный гидролиз, в результате которого будут получены пептиды, не содержащие последовательности аминокислот, образующие антигенные детерминанты и вызывающие образование аллергенспецифических IgE [8]. В зависимости от глубины протеолиза белков гидролизаты разделяются на частичные и глубокие. Частичные гидролизаты со средней степенью гидролиза содержат пептиды различной длины и минимальное количество свободных аминокислот, глубокие представлены короткоцепочечными пептидами с молекулярной массой 3–5 кДа и менее. Увеличение глубины гидролиза белков ведет к снижению их аллергенных свойств. Продукты протеолиза сывороточных белков обладают антиоксидантными, антимикробными и антимутагенными свойствами, которые необходимы для создания функциональных продуктов питания [8, 10–15].

Низкомолекулярные пептиды, полученные путем глубокого ферментативного гидролиза молочной сыворотки, обладают горьким вкусом. Это затрудняет их использование при создании формул для детского питания [11].

Для разработки функциональных продуктов питания требуется создать мультикомпонентные композиции, в составе которых содержатся одновременно гидрофильные и гидрофобные соединения. Одним из путей решения этих проблем является применение комплексов включения циклодекстринов с пептидами гидролизата белков сыворотки молока, жирорастворимыми витаминами и другими ингредиентами [11, 16, 17].

Для детского питания натуральные продукты дополнительно обогащаются какими-либо функциональными ингредиентами, в частности жирорастворимыми витаминами. Однако из-за их высокой гидрофобности и плохой растворимости в воде практическое использование при создании многокомпонентных пищевых продуктов ограничено [1, 18–20].

Циклодекстрины (ЦД) получают путем ферментативного гидролиза крахмала. В зависимости от вида циклодекстринов в их состав входит от 6 до 8 остатков глюкозы, которые образуют тор [20–25]. Все ОН-группы в циклодекстринах находятся на внешней гидрофильной поверхности молекулы, а внутренняя полость является гидрофобной. В водных растворах гидрофобные вещества способны встраиваться в эту полость, образуя комплексы включения – клатраты. Такие молекулярные контейнеры способны удерживать во внутренней полости молекулы неполярных веществ, а за счет гидрофильной наружной поверхности придают им большую растворимость и стабильность и меняют их вкус, цвет и запах [20, 22, 24]. Циклодекстрины относятся к 5 классу токсичности и являются «не токсичными соединениями». Они рекомендованы в качестве пищевой добавки (Е459) (ТР ТС 029/2012).

При производстве специализированных пищевых продуктов для детского питания важную роль играет устойчивость и биодоступность клатратов циклодекстринов с пептидами и жирорастворимыми витаминами. Жирорастворимые витамины и другие гидрофобные вещества способны встраиваться в их внутреннюю полость, образуя клатраты, которые можно перевести в порошкообразную форму [25]. Благодаря комплексообразованию циклодекстринов с жирорастворимыми витаминами и другими гидрофобными веществами они приобретают большую растворимость и становятся стабильными в процессах хранения [11, 20–22]. В диетологии детского питания широко используются пептиды гидролизата белков сыворотки молока, которые обладают гипоаллергенными свойствами [7–9, 13, 15, 26]. Пептиды, входящие в гидролизат белков, обладают горьким вкусом, для уменьшения которого они могут быть включены в циклодекстрины. Клатраты пептидов включаются в формулы, которые содержат различные витамины и минералы [11, 22, 23, 25, 27]. Для включения в мультикомпонентные композиции жирорастворимых витаминов D₃ и А их необходимо перевести в порошкообразную форму путем комплексообразования с циклодекстринами. На основе порошкообразных комплексов включения в циклодекстрины пептидов, жирорастворимых витаминов и гидрофильных макро- и микронутриентов могут быть созданы мультикомпонентные композиции, пригодные для специализированных продуктов питания.

Целью работы являлась разработка метода получения гипоаллергенных пептидов из ферментативного гидролизата белков сыворотки молока и их включения в β -ЦД, а также исследование их антиоксидантной и антимуtagenной активности, получение нанокомплексов β -ЦД с препаратами жирорастворимых витаминов D_3 и А и создание на основе полученных клатратов мультикомпонентных композиций для функционального питания.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись нанокомплексы β -ЦД с фракцией пептидов ферментативного гидролизата белков сыворотки молока и препаратами витаминов D_3 и А, а также их мультикомпонентные смеси.

В работе использованы: препарат витамина D_3 с содержанием 0,425 мг (соответствует 17 000 МЕ холекальциферола) в 1 мл растительного (оливкового) масла (СП ОО «Фармленд», Беларусь); препарат витамина А с содержанием 34,4 мг (соответствует 100 000 МЕ ретинол ацетата) в 1 мл растительного (оливкового) масла (ПРАТ «Технолог», Украина); β -циклодекстрин («Sigma», США, CAS 7585-39-9, E459); концентрат сывороточных белков, полученный методом ультрафильтрации (КСБ-УФ-70, ОАО «Щучинский маслосырзавод», ТУ ВУ 100377914.550-2008); алкалаза (protease from *Bacillus licheniformis*, активность 2,64 Е/г, «Sigma», США).

Получение ферментативного гидролизата белков молочной сыворотки и определение состава пептидов. Ферментативный гидролиз белков сыворотки молока (КСБ-УФ-70) проводили алкалазой при концентрации белка 5 %, температуре 50 °С и рН 8,0 в течение 2 ч. Для получения из гидролизата белков сыворотки (ГБС) низкомолекулярной фракции пептидов (ФП-ГБС) его фильтровали с использованием фильтров Spin-X UF Concentrator 20 (Corning, Англия) с пропускной способностью 5 кДа. Состав пептидов гидролизата белков сыворотки и ФП-ГБС анализировали с использованием денатурирующего электрофореза и хромато-масс-спектрометрии.

Для анализа молекулярно-массового распределения образцов ФП-ГБС и гидролизата белков сыворотки использовали хромато-масс-спектрометрическую систему Agilent 1290 (Agilent, США) с масс-спектрометрическим детектором высокого разрешения Q-TOF 6550. ВЭЖХ-анализ проводили с применением колонки Hypersil Gold (100×2,1 мм, 1,9 мкм, Agilent, США). Колонку уравнивали 0,1 % водным раствором муравьиной кислоты. Разделение образцов осуществляли с использованием линейного градиента ацетонитрила 5–95 % в течение 55 мин при температуре 45 °С, скорость потока подвижной фазы – 200 мкл/мин, объем пробы – 15 мкл. Детекцию проводили при 230 и 280 нм. Параметры источника

ионизации: температура газа – 290 °С, поток газа – 12 л/мин; температура обложечного газа – 325 °С, поток обложечного газа – 9 л/мин. Напряжение на фрагменторе устанавливали равным 150 В; диапазон регистрации спектров составил 100–3200 m/z (соотношение массы к заряду).

Электрофоретический анализ состава пептидов гидролизата белков сыворотки и ФП-ГБС проводили с использованием денатурирующего гель-электрофореза в полиакридном геле по методу Лэмли [28]. Использовали 8 % концентрирующий и 13 % разделяющий гели. Подготовку образцов белков для гель-электрофореза осуществляли с прогреванием в течение 5 мин при 100 °С с добавлением буфера в соотношении 1:1. Состав буфера – 0,2 М дитиотреитол, 4 % додецилсульфата натрия, 20 % глицерина и 0,125 М Трис-НСl (рН 6,8). По окончании электрофореза гели окрашивали при помощи красителя Кумаси R-250 в течение 30 мин при 40 °С. Определение молекулярных масс проводили с помощью программного обеспечения ImageLab («BioRad», США).

Получение комплексов включения β -ЦД с препаратами витаминов D_3 , А и фракцией пептидов гидролизата белков сыворотки молока. Для комплексообразования β -ЦД с ФП-ГБС препаратами витаминов D_3 и А использовали метод соосаждения. Для получения клатрата с ФП-ГБС готовили 500 мл 5 % водного раствора β -ЦД при 50 °С. В полученный раствор вносился сухой препарат ФП-ГБС до конечной концентрации 2,5 % (в расчете на содержание сухого вещества в массовом соотношении 2:1). Раствор инкубировали в течение 4 ч при температуре 50 °С в условиях постоянного перемешивания (200 об/мин). После этого понижали температуру до +4 °С в течение 3 ч. Наблюдалось образование белого осадка комплекса включения. Для определения гравиметрическим методом количества пептидов, включенных в комплекс ФП-ГБС: β -ЦД, 100 мл полученной суспензии центрифугировали в течение 10 мин при 3000 об/мин. Полученный осадок клатратов лиофильно высушивали при температуре 53 °С и давлении 0,1 атм в течение 24–48 ч [11, 15]. Оставшуюся часть полученных комплексов также лиофильно высушивали.

При получении комплексов β -ЦД с препаратами витаминов D_3 и А использовали метод соосаждения. Витамины растворены в оливковом масле. Поэтому для предотвращения их термодеструкции комплексообразование проводили при 25 °С. Готовили насыщенный раствор β -ЦД, растворяя в 500 мл дистиллированной воды 10 г β -ЦД при температуре 25 °С. Затем в него вносили 5 мл препаратов витамина D_3 или 1 мл витамина А. В массовом соотношении содержание β -ЦД было в 2 раза выше, чем препарата витамина. Такое соотношение необходимо для полного включения всех компонентов, входящих в

препараты витаминов D₃ и А. Раствор инкубировали в течение 4 ч при температуре 25 °С в условиях постоянного перемешивания (200 об/мин). После этого понижали температуру до +4 °С в течение 3 ч. Наблюдалось образование белого осадка комплекса включения. Полученные комплексы D₃:β-ЦД и А:β-ЦД отделялись центрифугированием в течение 10 мин при 3000 об/мин и лиофильно высушивались [11, 15].

Аналитические методы. Для оценки органолептических свойств ФП-ГБС и ФП-ГБС:β-ЦД готовились 1, 2, 3, 4 и 5 % растворы в дистиллированной воде при температуре 25 °С. Дегустацию проводили согласно методике [29].

Содержание пептидов в комплексах ФП-ГБС:β-ЦД и препаратов витаминов в комплексах D₃:β-ЦД и А:β-ЦД оценивалось расчетными методами с использованием гравиметрического анализа. Для элюции витаминов и жирных кислот, входящих в клатрат, навеску порошка комплексов массой 2 г промывали 4 мл гексана. Супернатант отделяли центрифугированием в течение 10 мин при 3000 об/мин. Процедуру экстракции повторяли 3 раза. Осадок β-ЦД лиофильно высушивали и определяли его массу. По разнице масс полученного β-ЦД и комплексов D₃:β-ЦД или А:β-ЦД определяли содержание препаратов витаминов в комплексе включения. Аналогично определяли содержание пептидов в комплексе ФП-ГБС:β-ЦД. Контролем служил полученный комплекс β-ЦД с гексаном [11, 20].

Термогравиметрическим методом анализировалось образование комплексов D₃:β-ЦД, А:β-ЦД и ФП-ГБС:β-ЦД и их стабильность при термическом разложении. Измерения проводились с помощью термоаналитической системы ТА-4000 (Mettler Toledo, Швейцария). Масса исследуемой навески составляла 20,0 мг. Использовалось программирование температуры в диапазоне 25–550 °С, скорость подъема температуры – 5 °С/мин, время проведения анализа – 110 мин [11]. Расчет эффективной энергии активации (E_a) проводили согласно методу Бройдо. Опыты проводились в 3-х повторностях.

Определение антиоксидантной активности комплексов включения. Для оценки антиоксидантной активности образцов D₃:β-ЦД, А:β-ЦД и ФП-ГБС:β-ЦД применяли флуориметрический метод ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) [30]. Метод основан на измерении уменьшения интенсивности флуоресценции флуоресцеина при его взаимодействии с кислородными радикалами. Антиоксиданты в реакционной среде, взаимодействуя с кислородсодержащими радикалами, замедляют свободнорадикальное окисление флуоресцеина. Антиоксидантную активность комплексов D₃:β-ЦД, А:β-ЦД, ФП-ГБС:β-ЦД и их мультикомпонентного композита определяли по их способности связывать свободные радикалы, образованные в системе

Фентона. Измерения флуоресценции проводили на флуориметре RF-5301 PC («Shimadzu», Япония). Регистрировали интенсивность флуоресценции на длине волны 514 нм. Длина волны возбуждения – 490 нм. Расчет показателей антиоксидантной активности проводили по степени интенсивности флуоресценции (A, %) по формуле:

$$A = \frac{Fl}{Fl_0} \times 100 \quad (1)$$

где Fl_0 – интенсивность флуоресценции контрольного образца флуоресцеина (раствор флуоресцеина без Fe²⁺, ЭДТА, гидролизата и H₂O₂); Fl – интенсивность флуоресценции раствора после добавления антиоксиданта.

Графики зависимости интенсивности флуоресценции строили от содержания сухих веществ D₃:β-ЦД, А:β-ЦД и ФП-ГБС:β-ЦД в анализируемых образцах. Согласно полученному уравнению рассчитывали концентрацию пробы IC₅₀, соответствующую 50 % ингибированию флуоресценции. Построение графиков и математическую обработку результатов исследований осуществляли при помощи компьютерной программы Microsoft Office Excel 2003. Результаты независимых экспериментов представлены как среднее арифметическое значение ± доверительный интервал. Достоверность различий между выборками данных определяли методом доверительных интервалов.

Определение антимутагенных свойств комплексов включения. В качестве тест-объектов для определения антимутагенного действия комплексов D₃:β-ЦД, А:β-ЦД, ФП-ГБС:β-ЦД и мультикомпонентного композита были использованы ауксотрофные по гистидину штаммы *Salmonella typhimurium* TA 100 и TA 98. Наличие антимутагенного эффекта исследуемых препаратов учитывалось по снижению частоты индуцированных обратных мутаций стандартными мутагенами [31]. В качестве стандартных мутагенов для штамма *S. typhimurium* TA 100 использовали азид натрия в концентрации 10 мкг/чашка, для штамма *S. typhimurium* TA 98 – 2-нитрофлуорен 10 мкг/чашка. В рабочий раствор вносились различные концентрации комплексов включения D₃:β-ЦД, А:β-ЦД, ФП-ГБС:β-ЦД и мультикомпонентного композита. Визуальный учет результатов проводили через 72–120 ч, регистрируя число положительных лунок [31].

Токсиколого-гигиеническая оценка комплексов включения. Токсиколого-гигиеническую оценку комплексов включения D₃:β-ЦД, А:β-ЦД, ФП-ГБС:β-ЦД и мультикомпонентного композита проводили с использованием тест-объекта *Tetrahymena pyriformis* на основе принципов и методов, принятых в общей токсикологии: определение ос-

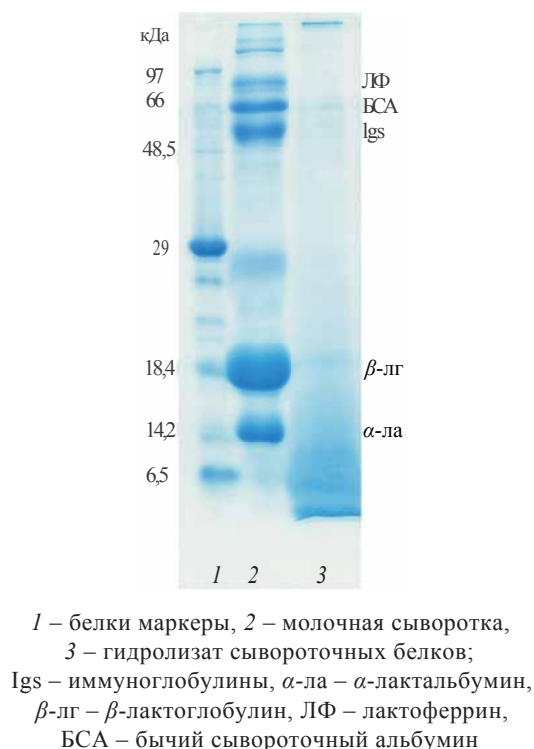


Рисунок 2. ДСН электрофореграмма образца гидролизата молочной сыворотки

Figure 2. SDS electropherogram of whey hydrolyzate

новых токсикологических параметров в остром и подостром экспериментах и установление класса опасности [31, 32].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием общепринятых методов вариационной статистики пакета «Анализ данных» программы Microsoft Office Excel 2003.

Результаты и их обсуждение

Для получения мультикомпонентных композиций, пригодных для создания функциональных продуктов питания, был получен гидролизат белков сыворотки. Из него путем фильтрации выделена фракция низкомолекулярных пептидов ФП-ГБС. Ее использовали для получения наноконплеса с β -ЦД. Для включения в композиты были получены наноконплесы β -ЦД с препаратами жирорастворимых витаминов А и D₃.

Ферментативный гидролиз белков сыворотки молока проводили с использованием алкалазы [7, 8, 11]. Белково-пептидный состав гидролизатов белков сыворотки молока определяли с применением денатурирующего электрофореза в полиакриламидном геле. Полученный гидролизат содержал большое количество пептидов. Поэтому метод ВЭЖХ-МС не использовался, т. к. не было получено удовлетворительного разделения. На

электрофореграмме, представленной на рисунке 2 (дорожка 2), отражен типичный состав молочной сыворотки.

Преобладающими белками сыворотки молока являются β -лактоглобулин (молекулярная масса 18 кДа) и α -лактальбумин (14 кДа). Также обнаружены бычий сывороточный альбумин (66 кДа), лактоферрин (80 кДа), иммуноглобулины (50 кДа) и следовые количества казеина (19–25 кДа). Анализ ДСН-электрофореграммы, представленной на рисунке 2 (дорожка 3), показал, что в ферментативном гидролизате молочной сыворотки наблюдался практически полный протеолиз β -лактоглобулина, α -лактальбумина и минорных белков на промежуточные пептиды. Полученный гидролизат белков сыворотки содержал около 20 % пептидов с молекулярными массами более 10 кДа. Такие пептиды могут содержать не менее двух антигенных детерминант, способных вызывать синтез IgE (рис. 1). Для увеличения доли низкомолекулярной фракции пептидов полученный гидролизат белков сыворотки фильтровали с использованием фильтров с разделяющей способностью 5 кДа.

С использованием ВЭЖХ-МС исследован состав низкомолекулярной фракции пептидов гидролизатов сыворотки белков молока (ФП-ГБС). Согласно данным ВЭЖХ-МС профилей, которые представлены на рисунке 3б, пептиды ФП-ГБС элюируются с хроматографической колонки с 1 по 4 мин. Время удержания нативных белков сыворотки молока составляет от 20 до 24 мин (рис. 3а).

По данным масс-спектропии (рис. 4) в ФП-ГБС выявлены пептиды с молекулярной массой 300–1500 Да. По диапазонам молекулярных масс они распределились следующим образом: 300–500 ДА – 26,4 %, 500–700 ДА – 41,5 %, 700–1000 ДА – 26,4 %, 1000–1500 ДА – 5,7 %. Высокий уровень сигнала установлен для однозарядных ионов со значениями m/z 680–900 Да. Это соразмерно пептидам длиной 6–8 аминокислотных остатков. Таким образом, полученный ФП-ГБС обладает гипоаллергенными свойствами, т. к. не содержит пептиды с полноразмерными антигенными детерминантами, способными вызывать синтез IgE (рис. 1б).

Лиофильно высушенный ФП-ГБС использовали для анализа биологической активности пептидов.

Фракция низкомолекулярных пептидов проявляла антиоксидантные и антимуtagenные свойства (табл. 1), необходимые для создания функциональных продуктов питания.

Обладая важными функциональными свойствами, ФП-ГБС проявлял горький вкус, который затрудняет его использование в функциональных пищевых продуктах по органолептическим показателям. Для снижения горького вкуса ФП-ГБС была разработана технология получения наноконплесов β -ЦД с низкомолекулярными пептидами.

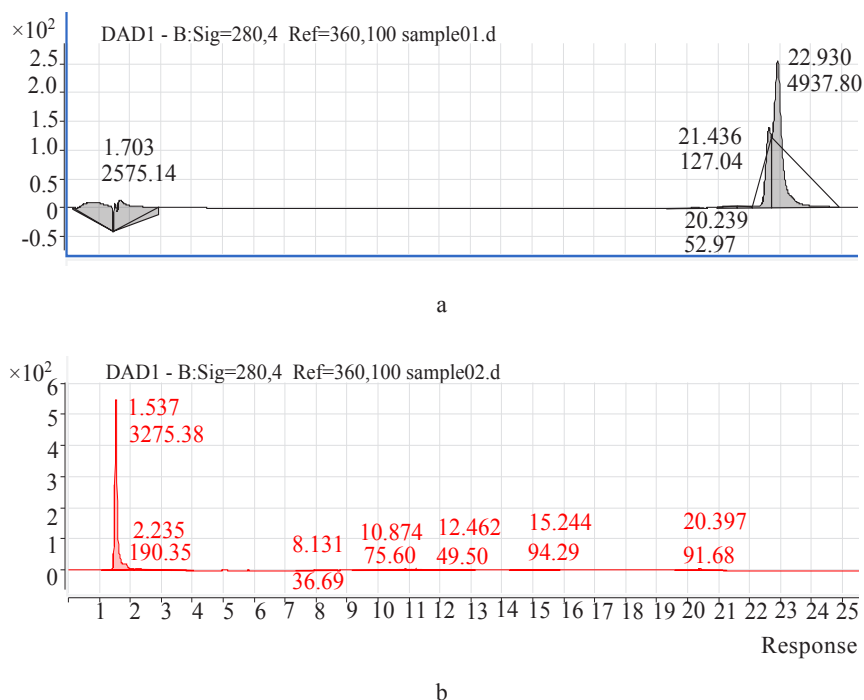


Рисунок 3. ВЭЖХ-МС профиль белков молочной сыворотки (a) и ультрафильтрата гидролизованной молочной сыворотки (b)

Figure 3. HPLC-MS profile of whey proteins (a) and hydrolyzed whey ultrafiltrate (b)

Таблица 1. Характеристика биологической активности фильтрата пептидов глубоких гидролизатов белков сыворотки молока (ФП-ГБС)

Table 1. Biological activity of peptide filtrate of deep whey protein hydrolysates

Показатель	ФП-ГБС
Преобладающая пептидная фракция	300–1000 Да
Антиоксидантная активность, IC_{50} , мкг(белка)/мл	$14,5 \pm 0,3$
Антимутагенная активность, <i>Salmonella typhimurium</i> TA 98/TA 100, %	19/14

Для получения комплексов пептидов с β -ЦД возможно использование различных методов: сорастирания, соиспарения, соосаждения и др. Метод соосаждения технологически более прост и позволяет получить комплексы β -ЦД с ФП-ГБС и препаратами витаминов D₃ и A в больших количествах. Встраивание гидрофобных пептидов в β -ЦД зависит от температуры. Это связано с плохой растворимостью β -ЦД. При 50 °C растворимость β -ЦД в воде составляет 50 мг/мл, а при 20 °C – 18,5 мг/мл. Проведение реакции при 50 °C позволяет в 2,7 раза увеличить растворимость комплексообразователя и получить насыщенный раствор. Внесение в систему комплексанта, инкубация и последующее

понижение температуры приводят к выпадению в осадок комплекса-включения. В связи с этим были получены клатраты ФП-ГБС с β -ЦД при 50 °C. С использованием гравиметрического метода определена степень включения пептидов ФП-ГБС в β -ЦД. Анализ результатов показал, что комплексы ФП-ГБС: β -ЦД содержат 78 % пептидов ФП-ГБС. Учитывая, что не все пептиды ФП-ГБС проявляют гидрофобные свойства и способны образовывать клатраты, для дальнейших исследований они не отделялись от комплексов ФП-ГБС: β -ЦД. Таким образом, для сохранения комплекса биологической активности пептидов, входящих в состав ФП-ГБС, по разработанной технологии получена смесь клатратов и пептидов, не вошедших в β -ЦД.

Горький вкус ФП-ГБС могут придавать дипептиды: *Phe-Ala*, *Pro-Pro*, *Pro-Leu*, *Leu-Val*, *Arg-Val* и трипептиды: *Arg-His-Gly*, *Ser-Leu-Ala*, *Leu-Leu-Pro* и *Try-Try-Gln*. В ди- или трипептидах объемные гидрофобные аминокислоты в любом положении обеспечивают проявление горечи. Горький вкус *Pro*-содержащих пептидов определяется их взаимодействием с рецептором горького вкуса [6, 7]. Пептиды, содержащие в своей структуре аминокислоты *Leu*, *Tyr* и *Phe*, также являются причиной горечи ФП-ГБС. Эти пептиды, входящие в ФП-ГБС, эффективно встраиваются в β -ЦД. В результате этого полученные клатраты не способны

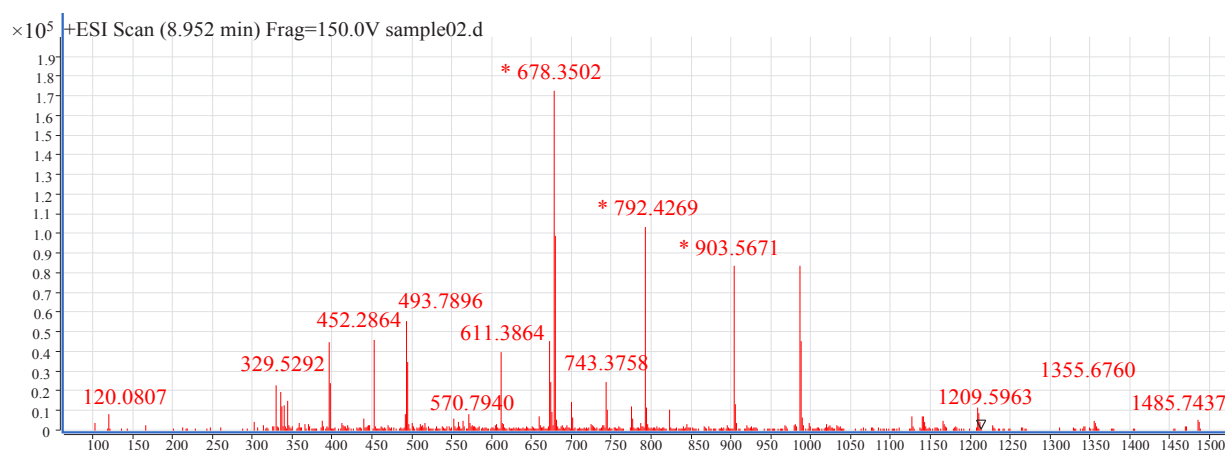


Рисунок 4. Масс-спектр фильтрата гидролизата белков молочной сыворотки (ФП-ГБС)

Figure 4. Mass spectrum of whey protein hydrolyzate filtrate

Таблица 2. Сравнительный анализ параметров термического разложения контрольных образцов: ФП-ГБС, механической смеси ФП-ГБС и β -ЦД и комплекса ФП-ГБС: β -ЦД согласно данным ДТГ/ТГ-профилей

Table 2. Thermal decomposition based on differential thermogravimetry: whey protein hydrolyzate of low molecular weight fraction peptides vs. their mechanical mix with β -cyclodextrins vs. their complex with β -cyclodextrins

Условия образования комплекса Наименование образца	Температура максимальной скорости деструкции ($T_{V_{max}}$), °C	Максимальная скорость деструкции (V_{max}), мг/°C	Количество образца в системе при $T_{V_{max}}$, % от исходного содержания	Энергия активации (E_a), кДж/моль
ФП-ГБС	268,3	0,029	80,9	76
Механическая смесь (ФП-ГБС и β -ЦД = 1:2)	297,5	0,29	68,8	118
Комплекс включения (ФП-ГБС: β -ЦД = 1:2)	305,1	0,15	55,6	105

взаимодействовать с рецепторами горького вкуса. Пептиды с более высокой молекулярной массой могут не образовывать клатраты и сохранять слабый горький вкус.

Образование комплекса включения ФП-ГБС: β -ЦД анализировалось методом термогравиметрии, а также по органолептическим показателям. Фильтрат пептидов гидролизата сывороточных белков растворяется в воде при температуре 25 °C. Когда его концентрация достигает 5 %, он проявляет максимальный горький вкус, оцененный в 10 баллов. Улучшение органолептических свойств проявил комплекс ФП-ГБС: β -ЦД. При его концентрации 5 % установлено снижение горечи до умеренно горького вкуса (5 баллов). Снижение горечи пептидов свидетельствует об их включении в β -ЦД. С целью подтверждения образования клатратов ФП-ГБС: β -ЦД использовали термогравиметрический анализ. Он основан на фиксации изменения массы исследуемого образца при его термическом разложении в диапазоне температур 20–600 °C. Установлены стадии термического разложения образцов в условиях

программируемого нагрева со скоростью 5 °C/мин. В таблице 2 представлена сравнительная характеристика параметров термического разложения ФП-ГБС, механической смеси ФП-ГБС: β -ЦД и комплекса ФП-ГБС: β -ЦД (60 °C) по данным ДТГ/ТГ-профилей.

Для образца β -ЦД характерен пик потери массы при 301,8 °C с максимумом скорости термодеструкции, достигающей 0,43 мг/°C. В случае ФП-ГБС выявлены пики разложения с максимумами скорости потери массы при 159,6, 203,9, 268,3 и 541,3 °C (0,006, 0,014, 0,29 и 0,40 мг/°C соответственно).

Как показано на рисунке 5, ДТГ-профили механической смеси ФП-ГБС с β -ЦД представляют собой наложение пиков потери массы индивидуальных соединений. Установлено смещение пика термодеструкции β -ЦД с 301,8 до 297,5 °C для механической смеси β -ЦД и ФП-ГБС и до 305,1 °C для комплекса ФП-ГБС: β -ЦД. В образце клатрата сохраняется доминирующий пик термодеструкции β -ЦД со смещением и изменением его конфигурации, тогда как практически не выявляются пики разложения, характерные для смеси пептидов. Это

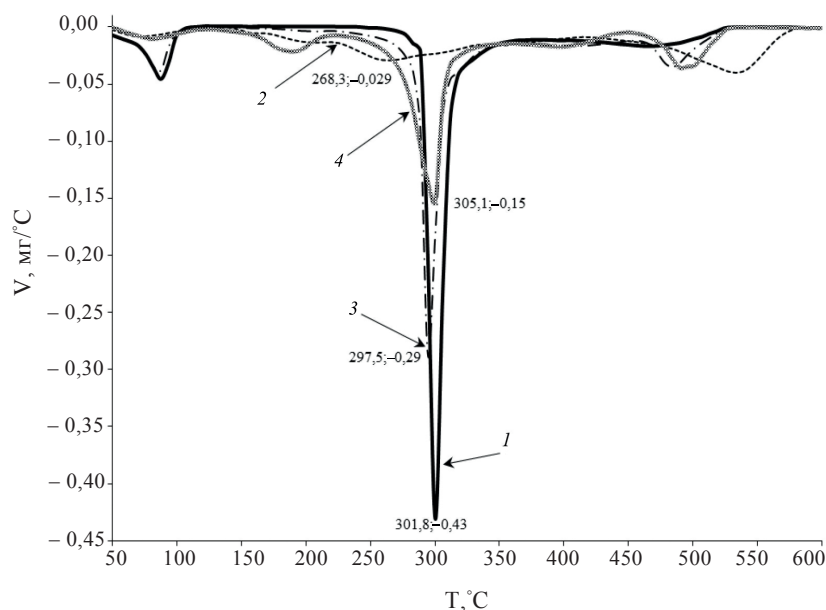


Рисунок 5. ДТГ-профили β -ЦД (1), гидролизата молочной сыворотки (2), их механической смеси (3) и комплекса включения (4)

Figure 5. DTG profiles: β -cyclodextrins (1), whey hydrolyzates (2), their mechanical mix (3), and inclusion complex (4)

подтверждает образование комплексов включения.

Получение клатратов жирорастворимых витаминов с β -ЦД имеет свои особенности. Используемые в работе препараты витаминов D_3 и А растворены в растительном масле, которые также включаются в клатраты. В связи с этим для предотвращения перекисного окисления ненасыщенных жирных кислот комплексообразование проводили при 25 °С. В массовом соотношении содержание β -ЦД было в 2 раза выше, чем препарата витамина. Такое соотношение необходимо для полного включения всех компонентов, входящих в препараты витаминов D_3 и А. После лиофильной сушки полученных клатратов D_3 : β -ЦД и А: β -ЦД готовился ряд их водных растворов с различной концентрацией. Максимальная растворимость клатратов D_3 : β -ЦД и А: β -ЦД при 25 °С не превышала 1,6 и 1,4 мг/мл соответственно. С использованием гравиметрического метода определено содержание жирных кислот и витаминов D_3 и А в клатратах D_3 : β -ЦД и А: β -ЦД. Показано, что D_3 : β -ЦД и А: β -ЦД содержат в 5 г комплекса 1,06 мг витамина D_3 и 17,2 мг витамина А.

С целью подтверждения образования клатратов β -ЦД с препаратами жирорастворимых витаминов использовали термогравиметрический анализ. Для лиофильно высушенных комплексов D_3 : β -ЦД и А: β -ЦД установлены стадии термического разложения в условиях программируемого нагрева от 20 до 600 °С со скоростью 5 °С/мин. Температура максимальной скорости окислительной деструкции клатратов

препаратов витаминов приходится на 308,26 °С и составляет 1,77 мг/мин. Образование комплексов включения D_3 : β -ЦД и А: β -ЦД приводит к изменению их физико-химических свойств, что влияет на изменение параметров их термического разложения. Эти результаты свидетельствуют об образовании комплексов включения с витаминами и жирными кислотами растительного масла.

Для создания функциональных продуктов питания на основе нанокомплексов β -ЦД с препаратами витаминов и пептидами гидролизата белков сыворотки молока были проведены исследования органолептических и антиоксидантных свойств, антимуtagenной активности, а также дана токсикогигиеническая оценка комплексов ФП-ГБС: β -ЦД, D_3 : β -ЦД и А: β -ЦД. Полученные результаты, представленные в таблице 2, позволили разработать сбалансированный по составу мультикомпонентный композит из порошкообразных форм ФП-ГБС: β -ЦД, D_3 : β -ЦД и А: β -ЦД. Оптимизация состава композита подразумевала возможность получения сбалансированной по составу смеси клатратов, пригодной для дальнейшего применения в качестве функционального питания в лечебных целях, особенно при аллергии у детей. Это требовало включения в состав мультикомпонентного композита клатратов жирорастворимых витаминов в дозах, превосходящих суточные рекомендованные, которые применяются для практически здоровых людей с имеющимся дефицитом витаминов D_3 и А. О безопасности таких добавок

с высоким содержанием витамина D₃ сообщалось ранее [33, 34].

Существуют доказательства, указывающие на ключевую роль изменения микробиома под влиянием современных факторов образа жизни в развитии пищевой аллергии [35]. Показано, что структура микробиома в раннем возрасте, особенно в первые 6 месяцев жизни, играет роль в развитии пищевой аллергии [36]. Современные данные указывают на то, что применение высоких доз витамина D₃ способствует улучшению состояния микробиоты кишечника и степени воспаления слизистой. Уменьшение такой воспалительной среды с помощью витамина D₃ позволяет уменьшить конкурентное преимущество оппортунистических патогенов, таких как *Escherichia/Shigella* spp. или *Pseudomonas* spp., которые лучше адаптированы к воспалению и могут вытеснять комменсальные бактерии, стимулирующие выработку иммуноглобулина А и активацию провоспалительных и регуляторных Т-клеток [37].

Препарат витамина А был выбран для композиции, т. к. имеет огромное значение на протяжении всей жизни. Вместе со своими производными он регулирует различные процессы, включая репродукцию, эмбриогенез, зрение, рост, клеточную дифференцировку и пролиферацию, поддержание целостности эпителиальных клеток и иммунную функцию [38]. Дефицит витаминов А и D₃ приводит к разнообразным дисбиотическим микробным сообществам и повышенной восприимчивости к инфекции или повреждению желудочно-кишечного тракта. Рецепторы витаминов А и D₃ являются ядерными рецепторами, экспрессируемыми хозяином. Витамины А и D₃ совместно регулируют экспрессию белков плотного соединения на эпителиальных клетках кишечника, которые имеют решающее значение для барьерной функции в кишечнике. Другие общие функции витаминов А и D₃ включают поддержку

врожденных лимфоидных клеток, продуцирующих ряд интерлейкинов [39].

Ферментативный гидролизат сывороточных белков молока с глубокой степенью гидролиза получен в оптимизированных условиях согласно проведенным ранее исследованиям [40, 41]. Наряду с этим охарактеризованы биологические активности пептидов сыворотки молока и молозива и их комплексов включения с β-ЦД. Экспериментальные образцы гидролизатов и клатратов обладали подтвержденными антиоксидантными, антибактериальными и антимутагенными действиями [11, 42]. По результатам токсиколого-гигиенической оценки на тест-объекте *T. pyriformis* комплекс включения β-ЦД и гидролизат сывороточных белков молока отнесены к малопасным соединениям. Согласно исследованию цитотоксических и цитогенетических повреждений лейкоцитов при энтеральном введении рандомбредным белым крысам *Rattus norvegicus* комплекс включения β-ЦД с гидролизатом сыворотки молока является нетоксичным [42].

Все вышеизложенное легло в основу выбора оптимизированного состава мультикомпонентного композита: ФП-ГБС:β-ЦД – 94 г, D₃:β-ЦД – 5 г и А:β-ЦД – 1 г. В полученной порошкообразной форме клатратного композита содержалось 47,0 г ФП-ГБС, 1,06 мг витамина D₃ (42500 МЕ), 3,44 мг витамина А (10000 МЕ) и 1,54 г оливкового масла. Анализ результатов, представленных в таблице 3, показывает, что включение в циклодекстрин ФП-ГБС привело к снижению горького вкуса пептидов до 5 баллов. Порошкообразный мультикомпонентный композит имел белый цвет, отсутствие запаха и слабый горький вкус до 3 баллов.

Определение антиоксидантной активности комплексов включения ФП-ГБС:β-ЦД, D₃:β-ЦД и А:β-ЦД и их мультикомпонентного композита проводилось методом ORAC. В проведенных экспериментах рассчитана концентрация исследуемых образцов, вызывающих 50 % ингибирование образования активных форм кислорода (IC₅₀). Из

Таблица 3. Биологическая активность наноконкомплексов: β-ЦД с препаратом витамина D₃ (D₃:β-ЦД), препаратом витамина А (А:β-ЦД), фильтратом гидролизата сывороточных белков молока (ФП-ГБС:β-ЦД) и мультикомпонентного композита при их соотношении 94:5:1

Table 3. Biological activity of nanocomplexes: β-hydrolyzates with vitamin D₃, with vitamin A, with whey protein hydrolyzate filtrate, and a multicomponent composite at their ratios of 94:5:1

Показатели	D ₃ :β-ЦД	А:β-ЦД	ФП-ГБС:β-ЦД	Мультикомпонентный композит
Органолептические свойства, горечь, баллы	0	0	5	3
Антиоксидантная активность, IC ₅₀ , мкг (сухого вещества)/мл	65,7 ± 1,5	16,1 ± 1,2	12,5 ± 0,6	15,1 ± 0,9
Антимутагенная активность, <i>Salmonella typhimurium</i> TA 98/TA 100), %	0/0	0/0	18/12	16/12
Токсичность, острая	5	5	5	5

результатов, представленных в таблице 3, видно, что полученные наноконплексы способны связывать свободные кислородосодержащие радикалы. Сравнительный анализ образцов комплексов включения показал, что антирадикальная активность убывает в ряду исследованных образцов: ФП-ГБС: β -ЦД, мультикомпонентный композит, А: β -ЦД, D₃: β -ЦД.

Для анализа антимутагенной активности ФП-ГБС: β -ЦД, D₃: β -ЦД, А: β -ЦД и мультикомпонентного композита в тесте Эймса использовались штаммы *S. typhimurium* TA 98 и TA 100. *S. typhimurium* TA 98 позволяет идентифицировать повреждения ДНК, вызывающие сдвиг рамки считывания, а с помощью *S. typhimurium* TA 100 идентифицируются мутации замены пары оснований. Для оценки антимутагенного действия исследуемых образцов у штаммов *S. typhimurium* TA 98 и TA 100 вызывали индуцированный мутагенез, приводящий к увеличению ревертантов. Выявленные различия в количестве ревертантов в контроле и опыте были статистически достоверны для концентрации ФП-ГБС: β -ЦД 0,5 мг/чашку. Проведенное исследование показало, что ФП-ГБС: β -ЦД и мультикомпонентная композиция проявляют антимутагенное действие, предотвращая мутации замены пар оснований у штамма *S. typhimurium* TA 100 и сдвиг рамки считывания у *S. typhimurium* TA 98.

На основе принципов и методов гигиенического регламентирования, принятых в общей токсикологии, и согласно нормативно-методической документации, утвержденной Министерством здравоохранения Республики Беларусь, токсиколого-гигиенические исследования комплексов включения ФП-ГБС: β -ЦД, D₃: β -ЦД, А: β -ЦД и их мультикомпонентного композита осуществлялись на *T. pyriformis* [16, 29, 30]. Принцип методов исследований на *T. pyriformis* заключается в анализе характера роста популяции в среде культивирования, содержащей исследуемые комплексы включения. Эффект токсического действия оценивался по альтернативному состоянию «жизнь – смерть». По результатам токсиколого-гигиенической оценки, представленной в таблице 2, в острых (4 ч) экспериментах на *T. pyriformis* ФП-ГБС: β -ЦД, D₃: β -ЦД, А: β -ЦД и их мультикомпонентный композит по средней смертельной дозе относятся к 5 классу опасности (неопасные вещества).

Выводы

Для создания функциональных пищевых продуктов на основе белков сыворотки молока получены их ферментативные гидролизаты. Продукты протеолиза представлены пептидами, которые обладают гипоаллергенными, антиоксидантными и антимутагенными свойствами и имеют горький вкус. Для снижения горького вкуса пептиды включены в циклодекстрины. Такие клатраты не

способны взаимодействовать с рецепторами, т. к. Pro-содержащие пептиды и другие пептиды, вызывающие горечь, входят в гидрофобную полость циклодекстрина. В результате они не взаимодействуют с рецепторами горького вкуса.

При создании мультикомпонентных композиций для функциональных пищевых продуктов получены наноконплексы препаратов жирорастворимых витаминов А и D₃. Образование жирорастворимыми витаминами комплексов включения D₃: β -ЦД и А: β -ЦД привело к изменению их физико-химических свойств. Они из жидкого состояния в оливковом масле переведены в порошкообразную форму. Эти клатраты обладали повышенной термостабильностью и растворимостью в воде.

Были изучены антиоксидантные свойства и антимутагенная активность, а также дана токсиколого-гигиеническая оценка комплексов ФП-ГБС: β -ЦД, D₃: β -ЦД, А: β -ЦД и их мультикомпонентного композита. Разработана оптимизированная по составу мультикомпонентная композиция, в которую входил ФП-ГБС: β -ЦД – 94 г, D₃: β -ЦД – 5 г и А: β -ЦД – 1 г. Сравнительный анализ антиоксидантной активности образцов комплексов включения ФП-ГБС: β -ЦД, D₃: β -ЦД, А: β -ЦД и их мультикомпонентного композита показал, что она убывает в ряду ФП-ГБС: β -ЦД, мультикомпонентный композит, А: β -ЦД и D₃: β -ЦД. С использованием модели индуцированного мутагенеза в тесте Эймса на штаммах *Salmonella typhimurium* TA 98 и TA 100 исследована антимутагенная активность ФП-ГБС: β -ЦД, D₃: β -ЦД, А: β -ЦД и их мультикомпонентного композита. Экспериментально доказано, что ФП-ГБС: β -ЦД и мультикомпонентная композиция проявляют антимутагенное действие, предотвращая мутации у штамма *S. typhimurium* TA 100 и TA 98. Проведенная токсиколого-гигиенической оценка в остром и подостром экспериментах на *Tetrahymena pyriformis* наноконплексов ФП-ГБС: β -ЦД, D₃: β -ЦД, А: β -ЦД и их мультикомпонентного композита показала, что по средней смертельной дозе и коэффициенту кумуляции они относятся к 5 классу опасности (неопасные вещества).

Таким образом, проведенные исследования позволили создать мультикомпонентную композицию, пригодную для использования в качестве функциональных пищевых продуктов. Полученные порошкообразные формы жирорастворимых витаминов и пептидов легко дозируются и могут быть использованы при разработке различных функциональных продуктов питания.

Критерии авторства

В. П. Курченко – сбор и обобщение материала, написание статьи. Т. Н. Головач – получение ферментативных гидролизатов белков сыворотки молока, проведение ВЭЖХ-МС анализа и получение комплексов циклодекстрина с пептидами.

Н. В. Сушинская – проведение экспериментальных работ по электрофоретическому исследованию белков, получение нанокомплексов с витаминами. Е. И. Тарун – изучение антиоксидантной активности объектов исследования. Н. В. Дудчик – изучение антимуtagenной активности объектов исследования. В. Г. Цыганков – изучение токсичности объектов исследования. И. А. Евдокимов – анализ результатов исследования и обсуждение результатов. А. Д. Лодыгин – анализ результатов физико-химических свойств и биологической активности объектов исследования

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Contribution

V.P. Kurchenko collected the data and wrote the article. T.N. Halavach obtained the enzymatic hydrolysates of whey proteins, conducted the HPLC-MS analysis, and obtained the cyclodextrin peptide complexes. N.V. Sushynskaya performed the electrophoretic experiments and obtained the nanocomplexes with vitamins. E.I. Tarun studied the antioxidant activity. N.V. Dudchik studied the antimutagenic activity. V.G. Tsygankow studied the toxicity. I.A. Evdokimov analyzed the results. A.D. Lodygin analyzed the physicochemical properties and biological activity.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Tutel'yan VA, Nechaev AP. Food ingredients in modern food products. Moscow: DeLi plus; 2013. 520 p. (In Russ.).
Тутельян В. А., Нечаев А. П. Пищевые ингредиенты в создании современных продуктов питания. М.: ДеЛи плюс, 2013. 520 с.
2. Asgary S, Rastqar A, Keshvari M. Functional food and cardiovascular disease prevention and treatment: A review. *Journal of the American College of Nutrition*. 2018;37(5):429–455. <https://doi.org/10.1080/07315724.2017.1410867>
3. Sharma SK, Bansal S, Mangal M, Dixit AK, Gupta RK, Mangal AK. Utilization of food processing by-products as dietary, functional, and novel fiber: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2016;56(10):1647–1661. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.794327>
4. Domínguez Díaz L, Fernández-Ruiz V, Cámara M. The frontier between nutrition and pharma: The international regulatory framework of functional foods, food supplements and nutraceuticals. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020;60(10):1738–1746. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1592107>
5. Tsygankov VG, Lovkis ZV, Stigaylo IN, Simonenko SV. Tasks and prospects of functional food industry. *Proceedings of the Belarusian State University*. 2009;4(1):60–67. (In Russ.).
Задачи и перспективы разработки продуктов функционального питания / В. Г. Цыганков [и др.] // Труды Белорусского государственного университета. 2009. Т. 4. № 1. С. 60–67.
6. Plasek B, Lakner Z, Kasza G, Temesi Á. Consumer evaluation of the role of functional food products in disease prevention and the characteristics of target groups. *Nutrients*. 2020;12(1). <https://doi.org/10.3390/nu12010069>
7. Halavach TM, Dudchik NV, Tarun EI, Zhygankov VG, Kurchenko VP, Romanovich RV, *et al.* Biologically active properties of hydrolysed and fermented milk proteins. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2020;9(4):714–720. <https://doi.org/10.15414/jmbfs.2020.9.4.714-720>
8. Halavach TM, Kurchenko VP. Allergenicity of milk proteins and ways of its decrease. *Proceedings of the Belarusian State University*. 2010;5(1):9–55. (In Russ.).
Головач Т. Н., Курченко В. П. Аллергенность белков молока и пути ее снижения // Труды Белорусского государственного университета. 2010. Т. 5. № 1. С. 9–55.
9. Borovik TE, Makarova SG, Darchiya SN, Gamaleyeva AV. The role of compounds based on hydrolyzed protein in prophylaxis and diet treatment of alimentary allergy in infants. *Current Pediatrics*. 2010;(1):150–156. (In Russ.).
Роль смесей гидролизатов белка в профилактике и диетотерапии пищевой аллергии у детей раннего возраста / Т. Э. Боровик [и др.] // Вопросы современной педиатрии. 2010. Т. 9. № 1. С. 150–156.
10. Görgüç A, Gençdağ E, Ylmaz FM. Bioactive peptides derived from plant origin by-products: biological activities and techno-functional utilizations in food developments – A review. *Food Research International*. 2020;136. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109504>
11. Halavach TM, Savchuk ES, Bobovich AS, Dudchik NV, Tsygankow VG, Tarun EI, *et al.* Antimutagenic and antibacterial activity of β -cyclodextrin clathrates with extensive hydrolysates of colostrum and whey. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2021;11(2):8626–8638. <https://doi.org/10.33263/BRIAC112.86268638>

12. Serafini M, Peluso I. Functional foods for health: The interrelated antioxidant and anti-inflammatory role of fruits, vegetables, herbs, spices and cocoa in humans. *Current Pharmaceutical Design*. 2017;22(44):6701–6715. <https://doi.org/10.2174/1381612823666161123094235>
13. Golovach TN, Tarun EI, Dudchik NV, Romanovich RV, Bubra IA, Kurchenko VP. Description of biologically active protein hydrolysates of whey and colostrum. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological Series*. 2018;63(4):409–418. (In Russ.). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2018-63-4-409-418>
14. Golovach TN, Romanovich RV, Kurchenko VP, Tarun EI. Antioxidant potential of bovine colostrum fermented with *acidophilus bacillus*. *Food Industry*. 2019;(4):30–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10014>
15. Golovach TN, Tarun EI, Dudchik NV, Romanovich RV, Bubra IA, Kurchenko VP. Antiradical activity, antimutagenic and antigenic properties of enzymatic bovine colostrum hydrolysates. *Journal of the Belarusian State University. Biology*. 2018;(1):50–59. (In Russ.).
- Антирадикальная активность, антимутагенные и антигенные свойства ферментативных гидролизатов коровьего молозива / Т. Н. Головач [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2018. № 1. С. 50–59.
16. Manzoor M, Singh J, Bandral JD, Gani A, Shams R. Food hydrocolloids: Functional, nutraceutical and novel applications for delivery of bioactive compounds. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;165:554–567. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.182>
17. Zhu J, Huang Q. Nanoencapsulation of functional food ingredients. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2019;88:129–165. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.03.005>
18. Kim SB, Ki KS, Khan MA, Lee WS, Lee HJ, Ahn BS. Peptic and tryptic hydrolysis of native and heated whey protein to reduce its antigenicity. *Journal of Dairy Science*. 2007;90(9):4043–4050. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0169>
19. Edwards PJB, Jameson GB, Palmano KP, Creamer LK. Heat-resistant structural features of bovine β -lactoglobulin A revealed by NMR H/D exchange observations. *International Dairy Journal*. 2002;12(4):331–344. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00029-8)
20. Shikhar G, Aviral K, Sanjay V. Solubility studies of the β -cyclodextrins inclusion complexes: A review. *International Research Journal of Pharmacy*. 2012;3(10):178–181.
21. Das SK, Rajabalaya R, David S, Gani N, Khanam J, Nanda A. Cyclodextrins – the molecular container. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2013;4(2):1694–1720.
22. Varan G, Varan C, Erdoğan N, Hıncal AA, Bilensoy E. Amphiphilic cyclodextrin nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*. 2017;531(2):457–469. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.06.010>
23. Menezes PDP, Andrade TA, Frank LA, de Souza EPBSS, Trindade GGG, Trindade IAS, *et al.* Advances of nanosystems containing cyclodextrins and their applications in pharmaceuticals. *International Journal of Pharmaceutics*. 2019;559:312–328. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2019.01.041>
24. Fernández MA, Silva OF, Vico RV, de Rossi RH. Complex systems that incorporate cyclodextrins to get materials for some specific applications. *Carbohydrate Research*. 2019;480:12–34. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.05.006>
25. Jansook P, Ogawa N, Loftsson T. Cyclodextrins: structure, physicochemical properties and pharmaceutical applications. *International Journal of Pharmaceutics*. 2018;535(1–2):272–284. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2017.11.018>
26. Kim SB, Seo IS, Khan MA, Ki KS, Lee WS, Lee HJ, *et al.* Enzymatic hydrolysis of heated whey: Iron-binding ability of peptides and antigenic protein fractions. *Journal of Dairy Science*. 2007;90(9):4033–4042. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0228>
27. Loftsson T, Brewster ME. Cyclodextrins as functional excipients: Methods to enhance complexation efficiency. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2012;101(9):3019–3032. <https://doi.org/10.1002/jps.23077>
28. Green MR, Sambrook J. Molecular cloning: A laboratory manual. 3 Volumes Set. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press; 2013. 1599 p.
29. Linde GA, Junior AL, Faria EV, Colauto NB, Moraes FF, Zanin GM. The use of 2D NMR to study β -cyclodextrin complexation and debittering of amino acids and peptides. *Food Research International*. 2010;43(1):187–192. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.025>
30. Tarun EI. A comparative analysis of antioxidant activities of gallic, caffeic, and chlorogenic acids. *Proceedings of the Belarusian State University*. 2014;9(1):186–191. (In Russ.).
- Тарун Е. И. Сравнение антиоксидантных активностей галловой, кофейной и хлорогеновой кислот // Труды Белорусского государственного университета. 2014. Т. 9. № 1. С. 186–291.

31. Dudchik NV. Quantitative evaluation of antimutagenic activity of plant composition in short-term tests. *Health and Environment*. 2014;1(24):218–221. (In Russ.).

Дудчик Н. В. Количественная оценка антимутагенной активности растительной композиции в краткосрочном тесте // *Здоровье и окружающая среда*. 2014. Т. 1. № 24. С. 218–221.

32. Bogdan AS, Kuznetsova ZP, Sokolov SM, Tsygankov VG, Bondaruk AM. Guidelines for preclinical testing of biologically active food additives and phytopreparations MR No. 119-0010. Minsk: Ministerstvo zdravookhraneniya Respubliki Belarus'; 2000. 35 p. (In Russ.).

Методические рекомендации по доклиническому испытанию биологически активных пищевых добавок и фитопрепаратов МР №119-0010 / А. С. Богдан [и др.]. Минск: Министерство здравоохранения Республики Беларусь, 2000. 35 с.

33. Prietl B, Treiber G, Mader JK, Hoeller E, Wolf M, Pilz S, *et al.* High-dose cholecalciferol supplementation significantly increases peripheral CD4⁺ Tregs in healthy adults without negatively affecting the frequency of other immune cells. *European Journal of Nutrition*. 2014;53(3):751–759. <https://doi.org/10.1007/s00394-013-0579-6>

34. Bashir M, Prietl B, Tauschmann M, Mautner SI, Kump PK, Treiber G, *et al.* Effects of high doses of vitamin D₃ on mucosa-associated gut microbiome vary between regions of the human gastrointestinal tract. *European Journal of Nutrition*. 2016;55(4):1479–1489. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0966-2>

35. Iweala OI, Nagler CR. The microbiome and food allergy. *Annual Review of Immunology*. 2019;37:377–403. <https://doi.org/10.1146/annurev-immunol-042718-041621>

36. Bunyavanich S, Shen N, Grishin A, Wood R, Burks W, Dawson P, *et al.* Early-life gut microbiome composition and milk allergy resolution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2016;138(4):1122–1130. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2016.03.041>

37. Stecher B, Robbiani R, Walker AW, Westendorf AM, Barthel M, Kremer M, *et al.* Salmonella enterica serovar typhimurium exploits inflammation to compete with the intestinal microbiota. *PLoS Biology*. 2007;5(10):2177–2189. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0050244>

38. Bar-El Dadon S, Reifen R. Vitamin A and the epigenome. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017;57(11):2404–2411. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1060940>

39. Cantorna MT, Snyder L, Arora J. Vitamin a and vitamin d regulate the microbial complexity, barrier function, and the mucosal immune responses to ensure intestinal homeostasis. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*. 2019;54(2):184–192. <https://doi.org/10.1080/10409238.2019.1611734>

40. Halavach TM, Tarun EI, Asafov VA. Enzymatic protein hydrolysates of whey and colostrum with extensive degree of hydrolysis. *AIP Conference Proceedings*. 2022;2390. <https://doi.org/10.1063/5.0069049>

41. Halavach T. Proteolysis of bovine whey, milk and colostrum with serine endopeptidases. In: Kurchenko V, Lodygin A, da Costa RMM, Samoylenko I, editors. *Intelligent biotechnologies of natural and synthetic biologically active substances*. Cham: Springer; 2022. pp. 35–45. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96641-6_5

42. Halavach TM, Kurchenko VP, Tsygankov VG, Bondaruk AM, Tarun EI, Asafov VA. β -Cyclodextrin nanocomplexes with biologically active peptides from hydrolysed bovine whey and colostrum. *Biointerface Research in Applied Chemistry*. 2022;12(6):8502–8514. <https://doi.org/10.33263/BRIAC126.85028514>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2372>
<https://elibrary.ru/VTCVRL>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Традиционные и инновационные способы применения ультрафиолетового излучения в молочной промышленности



К. А. Рязанцева*^{ORCID}, Н. Е. Шерстнева^{ORCID}

Всероссийский научно-исследовательский институт
молочной промышленности^{ORCID}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 14.01.2022

Принята после рецензирования: 02.03.2022

Принята в печать: 15.06.2022

*К. А. Рязанцева: k_riazantseva@vniimi.org,

<https://orcid.org/0000-0003-3207-2837>

Н. Е. Шерстнева: <https://orcid.org/0000-0002-2121-9293>

© К. А. Рязанцева, Н. Е. Шерстнева, 2022



Аннотация.

Традиционные методы термической обработки являются частью молочной промышленности при производстве молока и молочных продуктов. Однако в последнее время возрос интерес к нетермическим методам обработки сырья, обеспечивающим микробиологическую безопасность при сохранении питательной ценности и улучшающим технологические свойства продуктов. Целью работы является обзор научно-технической литературы о применении ультрафиолетовой (УФ) обработки, в том числе в комплексе с традиционной пастеризацией, как нетермического способа обработки молочного сырья и ее влиянии на структуру и свойства белков молока, а также технологические показатели молочных продуктов.

В обзор включены статьи, опубликованные на английском и русском языках за период 2004–2021 гг. Для поиска были использованы базы данных Scopus, Web of Science, Elsevier, ResearchGate и Elibrary.

Обзор литературы показал, что большая часть доступной информации по УФ-обработке сосредоточена на аспектах сохранения микробиологической безопасности молока и молочных продуктов. В исследованиях показано, что УФ-обработка может вызывать денатурацию и агрегацию молочных белков с последующим образованием новых поперечных связей в зависимости от дозы облучения. Конформационные изменения молочных белков под действием УФ-излучения способствуют улучшению их функциональных свойств. Это делает их ценными пищевыми ингредиентами при разработке пленочных покрытий и в технологии приготовления кисломолочных продуктов.

Способность сывороточных белков к полимеризации в результате электромагнитного воздействия применяют при изготовлении пленочных покрытий с высокими прочностными характеристиками и низкой паропроницаемостью. В технологии кисломолочных продуктов (йогурт) УФ-излучение способствует улучшению их технологических свойств, включая вязкость и влагоудерживающую способность. Воздействие электромагнитных волн на животные белки, а также на сенсорные и технологические свойства молочных продуктов изучено недостаточно. Поэтому данное направление представляет интерес для дальнейших исследований.

Ключевые слова. Молоко, сывороточные белки, ультрафиолетовая обработка, доза облучения, патогенные микроорганизмы, функциональные свойства белков

Для цитирования: Рязанцева К. А., Шерстнева Н. Е. Традиционные и инновационные способы применения ультрафиолетового излучения в молочной промышленности // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 390–406. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2372>

Traditional and Innovative Uses of Ultraviolet Treatment in the Dairy Industry

Ksenia A. Riazantseva*, Natalia E. Sherstneva

All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia

Received: 14.01.2022

Revised: 02.03.2022

Accepted: 15.06.2022

*Ksenia A. Riazantseva: k_riazantseva@vniimi.org,

<https://orcid.org/0000-0003-3207-2837>

Natalia E. Sherstneva: <https://orcid.org/0000-0002-2121-9293>

© K.A. Riazantseva, N.E. Sherstneva, 2022



Abstract.

Traditional heat treatment methods are an integral part of the dairy industry. However, non-thermal methods ensure microbiological safety while preserving nutritional value of the dairy product, as well as improving its technological properties. The article reviews scientific and technical publications on ultraviolet (UV) treatment and its effect on the structure and properties of milk proteins and technological indicators of dairy products.

The review includes English and Russian articles published in Scopus, Web of Science, Elsevier, ResearchGate, and Elibrary databases in 2004–2021.

Most publications focus on maintaining the microbiological safety of milk and dairy products. Depending on the radiation dose, UV treatment was reported to cause denaturation and aggregation of milk proteins, followed by new cross-links. Conformational changes improve the functional properties of milk proteins, which makes them valuable food ingredients of film coatings and fermented milk products.

Electromagnetic treatment polymerizes whey proteins. This property can be used to produce strong film coatings with low vapor permeability. In fermented milk production, UV radiation improves such technological properties of yogurt as viscosity and water-holding capacity. The effect of electromagnetic waves on animal proteins and dairy products remains an understudied area of advanced research.

Keywords. Whey proteins, ultraviolet treatment, radiation dose, pathogenic microorganisms, functional properties of proteins

For citation: 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>

Введение

Методы термической обработки являются частью молочной промышленности при производстве молока и молочных продуктов. Тепловая обработка молока применяется для инактивации патогенных микроорганизмов и ферментов, чтобы повысить стабильность продуктов во время хранения. В последнее время за рубежом вырос интерес к нетермическим процессам обработки молока, таким как импульсные электрические поля, высокое давление и ультрафиолетовое облучение. Это связано с их способностью оказывать высокое бактерицидное действие, сохраняя исходное качество сырья. Во многих отраслях пищевой промышленности повышается интерес к ультрафиолетовому излучению как к более щадящей нетермической технологии [1].

Ультрафиолетовое (УФ) излучение – это электромагнитная энергия, которая находится в спектре от 100 до 400 нм на длинах волн между

рентгеновскими лучами и видимым светом. УФ-спектр существует в трех диапазонах: УФ-А (от 315 до 400 нм), УФ-В (от 280 до 315 нм) и УФ-С (от 100 до 280 нм). Граница между УФ-В и УФ-С обусловлена тем, что свет с длиной волны менее 290 нм не достигает поверхности Земли, поскольку земная атмосфера, благодаря кислороду и озону, выполняет роль эффективного природного светофильтра. Граница между УФ-В и УФ-А основана на том, что излучение короче 320 нм вызывает более сильную эритему (покраснение кожи), чем свет в диапазоне 320–400 нм [2].

Наиболее эффективное бактерицидное действие, способствующее уничтожению множества патогенных микроорганизмов (например, бактерии, грибки, плесень, дрожжи и вирусы), находится в диапазоне УФ-С [3, 4]. Более выраженным бактерицидным действием обладают короткие ультрафиолетовые лучи (254–265 нм), которые поглощаются нуклеиновыми

кислотами, белками и ДНК. Наибольшее разрушающее влияние на ДНК ультрафиолет оказывает при длине волны 253,7 нм [5]. Причинами гибели возбудителей являются летальные мутации, утрата молекул ДНК способности к репликации и нарушение процесса транскрипции. Также УФ-излучение разрушает токсины. Например, дифтерийный, столбнячный, дизентерийный, брюшного тифа и золотистого стафилококка [6–8].

Помимо продления срока хранения или микробиологического контроля и безопасности пищевых продуктов, УФ-обработка оказывает влияние на структуру белков и их взаимодействие. Улучшение функциональных свойств молочных белков представляет большой коммерческий интерес, поскольку возможно их использование в качестве ценных пищевых ингредиентов при разработке продуктов питания с желаемыми характеристиками [9].

Целью работы является аналитический обзор применения ультрафиолетового излучения как инновационного метода нетермической обработки молочного сырья и его влияния на структуру, а также функциональные характеристики белков молока.

Объекты и методы исследования

В обзор были включены статьи, опубликованные на английском и русском языках. Поиск был ограничен периодом времени с 2004 г., когда стали появляться исследования по ультрафиолетовой обработке молока. Для поиска были использованы базы данных Scopus, Web of Science, Elsevier, ResearchGate и Elibrary.

Результаты и их обсуждение

Бактерицидный эффект ультрафиолетового излучения. УФ-излучение применяется для дезинфекции воды и пастеризации фруктовых напитков, таких как соки, являясь одной из перспективных, недорогих и энергоэффективных нетепловых технологий [6, 10, 11]. Широко распространено обеззараживание ультрафиолетовым облучением упаковочных материалов [12–14]. УФ-излучение также используется для обеззараживания воздуха и поверхностей, что является актуальным в сфере медицины, транспорта, промышленных предприятий и т. д., особенно в последние 1–2 года в связи с распространением коронавирусной инфекции. Согласно рекомендациям Министерства здравоохранения РФ от 07.05.2021 и Национальной ассоциации специалистов по контролю инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи, от 14.05.2020 требуемая УФ-доза для инактивации SARS-CoV-2 (COVID-19) при эффективности обеззараживания 99,9 % составляет 25 мДж/см².

Ограниченная способность УФ-С света проникать в мутные жидкости считалась одним из основных препятствий для его использования в качестве

нетепловой технологии для обработки молока [15]. В сравнении с водой молоко или молочная сыворотка имеют разные оптические и физические свойства, а также химический состав, влияющие на проникновение УФ-излучения в продукт из-за присутствия большого количества поглощающих УФ-С соединений и взвешенных частиц, тем самым ухудшая процесс дезинфекции. Однако правильный источник УФ-излучения, а также конструкция самого модуля могут повысить эффективность инактивации микроорганизмов как за счет увеличения его проникновения в жидкость, так и за счет использования более высокой интенсивности УФ-излучения [16].

Существует ряд источников ультрафиолетового излучения, в том числе ртутные тлеющие разряды низкого давления, ртутные разряды среднего давления, импульсный ксеноновый дуговой разряд, ксеноновый эксимер и дуга под флюсом. Электрический разряд ионизирует газ, который излучает фотоны. Примерно 95 % УФ-света, излучаемого ртутными дугами низкого давления, имеет длину волны 253,7 нм и считается эффективным источником для бактерицидных применений, поскольку фотоны больше всего поглощаются ДНК микроорганизмов на этой длине волны. Излучение с длиной волны ниже 230 нм эффективно для диссоциации химических соединений. На длинах волн ниже 200 нм (например, 185 нм) из кислорода образуется озон и органические соединения могут окисляться [17].

Согласно ГОСТ 31449-2013 в сыром молоке количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов не должно превышать $1,0 \times 10^5$ КОЕ/см³ или 5 log₁₀ КОЕ/мл. Доза УФ-излучения, необходимая для 10-кратного уменьшения (на один порядок) микробной популяции, может инактивировать 90 % (один log₁₀) микробной нагрузки в пищевой среде. Также она коррелирует с количеством энергии, поглощаемой фракционной популяцией жизнеспособных клеток. Эта величина обычно используется для характеристики УФ-чувствительности микробных групп [18]. УФ-С излучение снижает количество бактерий, но доза, необходимая для достижения нужного показателя (5-логарифмическое уменьшение), вызывает неприятный и индуцированный светом привкус молока. Проведено множество исследований, доказавших бактерицидную эффективность УФ-С излучения молока [16, 19–22]. Коротковолновое ультрафиолетовое облучение предполагает нетепловой метод обработки в непрерывном потоке, который может обеспечить безопасность против большинства микроорганизмов. Ультрафиолетовая обработка в качестве дополнения к термической пастеризации может обеспечить лучшее поддержание качества молока [22].

Таблица 1. Дозы ультрафиолетового излучения при длине волны 253,7 нм, необходимые для инактивации различных групп микроорганизмов

Table 1. Doses of ultraviolet radiation (253.7 nm) required to inactivate various groups of microorganisms

Группа микроорганизмов	Доза облучения мДж/см ²
Энтеробактерии	2–8
Кокки и микрококки	1,5–20,0
Спорообразующие	4–30
Кишечные вирусы	5–30
Дрожжи	2,3–8,0
Грибы	30–300
Простейшие	60–120
Водоросли	300–600

Бактерицидный эффект зависит от дозы УФ-излучения. В таблице 1 приведены примеры влияния доз, необходимых для экспоненциального разрушения различных микроорганизмов [23].

Доза облучения является произведением интенсивности света и продолжительности воздействия. Интенсивность света в каждой точке объема жидкости зависит как от мощности ламп, так и от эффекта проникновения УФ-света через жидкую среду. Эффект проникновения УФ-излучения зависит от типа жидкости и коэффициента поглощения УФ-С, от растворимых растворенных веществ, присутствующих в жидкости, и от взвешенных веществ. Молоко и сыворотка имеют высокий коэффициент поглощения УФ-С излучения, которое проникает в жидкость всего на несколько миллиметров, а не на несколько сантиметров, как в случае воды [1, 24].

Современное оборудование для УФ-обработки обычно включает трубку, проницаемую для УФ-излучения, через которую перекачивается жидкий продукт. Поток в трубке может быть турбулентным или ламинарным. В качестве критерия подобия течения жидкости выступает число Рейнольдса. Например, для прямых гладких труб критическое значение числа Рейнольдса $Re_{кр} = 2300$, а движение жидкости при $Re < Re_{кр}$ будет устойчивое ламинарное. Движение при условии $Re > Re_{кр}$ становится неустойчивым турбулентным. Устойчивый турбулентный характер поток жидкости приобретет при $Re > 10^4$ [25]. Турбулентный поток обусловлен хаотичным движением частиц жидкости, которые возникают в результате вихревых потоков течения. При ламинарном потоке частицы жидкости не перемешиваются и движутся слоями по параллельным траекториям [26].

Турбулентный поток постоянно обновляет поверхность и обеспечивает контакт всех частей

жидкости с ультрафиолетовым излучением [27]. Ламинарный поток проходит в очень тонком слое [16].

В различных исследованиях приводятся данные об использовании УФ-обработки с непрерывным турбулентным потоком в сочетании с пастеризацией в качестве способа увеличения срока хранения молока как минимум на 30 %. В лабораторных исследованиях, проведенных в Калифорнийском университете в Дэвисе, для обработки предварительно пастеризованного молока жирностью 3,5 и 2 % была использована УФ-система с непрерывным турбулентным потоком при 254 нм и дозах облучения 880 и 1760 Дж/л. Молоко обрабатывали при 6 °С в канале диаметром 0,9–1,6 мм над кварцевым рукавом со скоростью 4000 л/ч. Подобная обработка показала свою бактерицидную эффективность, увеличив срок хранения молока до 28–35 дней. Испытания показали, что дозы облучения ниже 880 Дж/л оказывают незначительное влияние на патогены и микроорганизмы. Органолептическая оценка (метод треугольника) не показала различий между необработанным контрольным образцом молока 3,5 % жирности и образцом молока 2 % жирности (880 Дж/л). В остальных УФ-обработанных образцах молока были обнаружены сенсорные дефекты, описываемые как «сгоревший», «выключенный», «сильный» и «несвежий». Сенсорный дефект, связанный с воздействием ультрафиолетового излучения, был связан с окислением липидов. Об этом свидетельствует увеличение количества веществ, реагирующих с тиобарбитурином [28].

В работе J. C. Sappozzo и др. исследованы химические изменения в составе сырого молока, подвергнутого УФ-воздействию в непрерывном турбулентном потоке в зазоре 7,75 мм со скоростью 4000 л/ч и дозами облучения 1045 и 2090 Дж/л. Их сравнивали с традиционной термической пастеризацией и комбинацией данных процессов (до или после УФ-излучения). Проведенное сравнительное исследование не выявило каких-либо статистически значимых химических изменений в отношении содержания жира, белка, золы, влажности, профиля жирных кислот и окисления липидов. Авторы пришли к выводу, что технологию У-излучения с турбулентным потоком можно рассматривать как альтернативу нетермической обработке молока для продления срока хранения [19].

Результаты исследования J. A. Ansari и др. показали, что предварительная ультрафиолетовая обработка молока (доза облучения $2,37 \pm 0,126$ Дж/мл) перед пастеризацией может стать альтернативой стерилизации обезжиренного молока (135 °С, 3 с) [29].

В таблице 2 показаны некоторые результаты научных исследований влияния УФ-излучения на бактерицидный эффект молока, молочной сыворотки и молочных продуктов.

Таблица 2. Бактерицидный эффект УФ-обработки молока и молочных продуктов

Table 2. Bactericidal effect of UV treatment on milk and dairy products

Объект исследования	Условия обработки	Целевой микроорганизм	Бактерицидный эффект	Ссылка
Сырое молоко	Доза облучения 1,07 Вт/м ² , температура 5 °С, время 60 с	<i>Staphylococcus aureus</i>	Снижение обсемененности на 7 log ₁₀ КОЕ/мл	[30]
Козье обезжиренное молоко	Доза облучения 15,8 ± 1,6 мДж/см ² , температура 4 °С, время 18 с	<i>Listeria monocytogenes</i>	Снижение обсемененности на 5 log ₁₀ КОЕ/мл	[31]
Обезжиренное молоко	Лампа 40 Вт, доза облучения 168,33 мДж/см ²	Суррогатные вирусы (MS2 и T1UV), бактерии (<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922, <i>Salmonella enterica</i> serovar <i>Typhimurium</i> ATCC 13311 и <i>Listeria monocytogenes</i> ATCC 19115)	Снижение обсемененности более чем на 5 log ₁₀ КОЕ/мл	[4]
Сырое молоко, обезжиренное молоко	Доза облучения 11,187 мДж/см ² , длина волны 253,7 нм	<i>E. coli</i> W1485, <i>Bacillus cereus</i>	Максимальное снижение <i>E. coli</i> составило 7,8 log ₁₀ КОЕ/мл в обезжиренном молоке, в сыром – 4,1 log ₁₀ КОЕ/мл. Для обезжиренного молока максимальное снижение <i>B. cereus</i> составило 2,72 log ₁₀ КОЕ/мл, для сырого – 2,65 log ₁₀ КОЕ/мл	[32]
Сырое молоко	Доза облучения 39 (98 мДж/см ²) и 48 Вт (109,9 мДж/см ²)	Общая бактериальная нагрузка	Снижение обсемененности на 4,70 (39 Вт) и 4,60 log ₁₀ КОЕ/мл (48 Вт) за 120 мин	[33]
Полутвердый сыр	Доза облучения 44 Дж/см ² , расстояние до объекта 13 см, время 45 с	<i>S. aureus</i> и <i>E. coli</i> O157:H7	Снижение обсемененности на 1,62 и 3,02 log ₁₀ КОЕ/см ³ соответственно	[34]
Итальянский сыр Fiordilatte	Длина волны 253,7 нм, излучение до продукта 2 см, доза облучения 20 Вт/м ² , время обработки от 5 до 750 с	<i>Pseudomonas</i> spp., <i>Enterobacteriaceae</i>	Снижение количества микроорганизмов на 1–2 log ₁₀ КОЕ/см ³	[35]
Сыр Рикотта	Расстояние от источника излучения до облучаемого объекта 6 см, время облучения – 400 с, доза 6,54 Дж/см	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Уровень <i>Pseudomonas</i> spp. в сыре, инокулированном 103, 104 и 105 КОЕ/мл после УФ-облучения, составил 2,1 ± 0,1, 2,1 ± 0,1, 4,6 ± 0,1 соответственно	[36]
Подсырная сыворотка	Доза облучения 450 Вт/м ² , температура 28 °С, время 100 с	Общая бактериальная нагрузка	Снижение обсемененности на 3,5 log ₁₀ КОЕ/мл	[37]

В исследовании К. Krishnamurthy и др. для снижения бактериальной обсемененности молока *Staphylococcus aureus* на 7 log₁₀ КОЕ/мл доза УФ-излучения составила 1,07 Вт/м² [30].

В работе К. Е. Matak и др. УФ-излучение (15,8 ± 1,6 мДж/см²) использовалось для снижения количества *Listeria monocytogenes* в обезжиренном козьем молоке. В результате обсемененность снизилась на 5 log₁₀ КОЕ/мл [31].

В работе D. M. Ward и др. была исследована эффективность УФ-облучения (лампа 40 Вт, доза

облучения 168,33 мДж/см²) обезжиренного молока, инокулированного двумя суррогатными вирусами (MS2 и T1UV) и тремя видами бактерий (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* ATCC 13311 и *L. monocytogenes* ATCC 19115). В результате микробная нагрузка суррогатными вирусами и бактериями была снижена более чем на 5 log₁₀ КОЕ/мл. Облученное обезжиренное молоко не проявило токсичности для клеток печени и кишечника мышей [4].

В университете Иллинойса (США) исследовали влияние числа Рейнольдса (Re) на инактивацию эндоспор *E. coli* W1485 и *Bacillus cereus* в сыром и обезжиренном молоке. Исследования проводились в двух УФ-реакторах со спиральными трубками, имеющих внутренний диаметр 1,6 и 3,2 мм. Время пребывания в них продукта составило 11,3 с при комнатной температуре. Эффективность инактивации *E. coli* (на $7,8 \log 10$ КОЕ/мл, что соответствовало Re 532) и *B. cereus* (на $2,65 \log 10$ КОЕ/мл при значении Re 713) была выше в обезжиренном молоке, чем в сыром, в УФ-реакторе с диаметром трубок 1,6 мм. Максимальное снижение *E. coli* и *B. cereus* в сыром молоке составило 4,1 (Re 713) и $2,72 \log 10$ КОЕ/мл (Re 1024) соответственно. На протяжении всего исследования инактивация эндоспор *B. cereus* была ниже, чем у клеток *E. coli* [32].

В работе D. Makarapong и др. исследовано влияние УФ-излучения на общую микробную нагрузку в сыром молоке непосредственно после доения. Эксперименты проводились при скорости потока 2,4 и 7 л/мин и мощности УФ-излучения 39 и 48 Вт (253,7 нм). Количество микроорганизмов уменьшилось на 4,70 (39 Вт) и $4,60 \log 10$ КОЕ/мл (48 Вт) за 120 мин. При времени пребывания 4,95 с и дозах УФ-излучения 98 и $109,9 \text{ мДж/см}^2$ наблюдалось уменьшение количества микроорганизмов без значительного влияния мощности УФ-С на окисление молочного жира [33].

В работе N. M. Keklik и др. изучалось влияние импульсного ультрафиолетового излучения на *S. aureus* и *E. coli* O157:H7 на поверхности свежего сыра. Импульсный ультрафиолетовый свет подавался на сыр в течение разного времени (5, 15, 30, 45, 60 с) на расстоянии 5, 8 и 13 см от кварцевого окна. Основываясь на уровне инактивации, времени и визуальной оценке, эффективными режимами обработки выбраны продолжительность 45 с и расстояние 13 см (доза облучения 44 Дж/см^2). Данная обработка снизила обсемененность на 1,62 и $3,02 \log 10$ КОЕ/см² для *S. aureus* и *E. coli* O157:H7 соответственно, не изменив ($P > 0,05$) pH, окисление липидов и содержание влаги в сыре. Когда сыр кашар толщиной 0,5 см обрабатывали импульсным ультрафиолетовым светом на расстоянии 5 см от кварцевого стекла, то был обнаружен высокий коэффициент пропускания энергии – 9,16 %. Результаты демонстрируют, что импульсный ультрафиолетовый свет имеет потенциал для последующей обработки поверхностей полутвердых сыров [34].

В работе V. Lacivita и др. исследовано положительное действие на инактивацию *Pseudomonas* spp. и *Enterobacteriaceae* в итальянском сыре Fiordilatte от 1 до $2 \log 10$ КОЕ/см³. Результат показал увеличение срока годности на 80 %, которое было достигнуто

путем выбора адекватных условий обработки сыра под воздействием дозы излучения $6,0 \text{ мДж/м}^2$ [35].

Аналогичное исследование проводили на сыре Рикотта. Задачей работы было изучение влияния УФ-излучения на дезактивацию искусственно инокулированной *Pseudomonas fluorescens* в различных концентрациях ($1,0 \times 10^3$, $1,0 \times 10^4$ и $1,0 \times 10^5$ КОЕ/мл). Для обработки образцов ультрафиолетовым облучением был сконструирован блок, состоящий из 4 ламп мощностью 95 Вт. Длина волны источников излучения – 254 нм, доза облучения образцов – $6,54 \text{ Дж/см}^2$, расстояние от источника излучения до образца – 3,5 см, время обработки – 30 с. Результат показал, что контрольные образцы сыра стали непригодными с точки зрения микробиологии менее чем через 5 дней. Обработанные УФ-излучением образцы сохранялись более 6 дней. Уровень *Pseudomonas* spp. в сыре, инокулированном в количестве $1,0 \times 10^3$, $1,0 \times 10^4$ и $1,0 \times 10^5$ КОЕ/мл без УФ-обработки, составил $3,6 \pm 0,1$, $4,4 \pm 0,1$ и $5,7 \pm 0,1$ КОЕ/мл, а после УФ-облучения – $2,1 \pm 0,1$, $2,1 \pm 0,1$ и $4,6 \pm 0,1$ КОЕ/мл соответственно [36].

В молочной промышленности УФ-излучение используется для стерилизации подсырной сыворотки как альтернатива пастеризации, поскольку сыворотку часто приходится хранить в течение некоторого времени перед переработкой в концентрат или изолят сывороточных белков и ее нельзя термически пастеризовать. Поэтому снижение бактериальной нагрузки в молочной сыворотке с помощью УФ-излучения для улучшения сохранности привлекательно. В работе M. J. N. Simmons и др. было зафиксировано снижение полной микробной нагрузки на $3,5 \log 10$ КОЕ/мл в подсырной сыворотке при дозе УФ-излучения 450 Вт/м^2 [37].

Большая часть доступной информации по УФ-обработке сосредоточена на аспектах сохранения микробиологической безопасности молока и молочных продуктов. Обеспечение населения качественными и безопасными продуктами питания является одной из основных задач пищевой промышленности [38–41]. Имеется ограниченное количество опубликованной информации о влиянии УФ-излучения на структурные изменения молочных белков и их взаимодействие [9]. Физико-химические и сенсорные характеристики молока и молочных продуктов важны для обеспечения их качества и безопасности. На них влияют параметры УФ-облучения, включая тип обработки и интенсивность. УФ-обработка должна эффективно обеспечивать микробиологическую чистоту, сохраняя питательные и сенсорные свойства продуктов [22].

Влияние УФ-излучения на физико-химические изменения молока. Существуют исследования, посвященные оценке возможных негативных последствий УФ-излучения на физико-химические и сенсорные характеристики молока и молочных продуктов. Большинство исследований сводится к

Таблица 3. Ароматически активные соединения (фактор разбавления аромата), идентифицированные в сыром, пастеризованном и УФ-молоке

Table 3. Aromatic compounds (aroma dilution factor) in raw, pasteurized, and UV-treated milk

Соединение	Фактор разбавления аромата			Аромат
	Сырое молоко	Пастеризованное молоко	УФ-молоко	
Диацетил	–	< 1	6	Масло
3-метилтиофен	11	13	11	Пластик
Гексанал	3	2	6	Трава
Этилгексаноат	3	–	5	Сложный эфир
2-Нонанон	3	< 1	5	Окисленный
(E, Z)-2,6-нонадиеналь	2	4	5	Огурец
(E)-2-ноненал	5	3	3	Сено
(E, E)-2,4-нонадиеналь	4	3	5	Окисленный

тому, что воздействие ультрафиолетового света не оказывает существенного влияния на химический состав молока [22, 42].

Среди макроэлементов молока углеводы менее чувствительны к УФ-излучению. Некоторые гликозидные связи, связывающие моносахариды, разрываются при воздействии излучения, что снижает степень полимеризации и увеличивает вязкость растворов полисахаридов [22]. Основным негативным последствием УФ-обработки молока является возможное окисление липидов или белков, что влечет за собой порчу продукта [43–45]. При окислении липидов могут образовываться такие нежелательные вещества, как пероксиды, альдегиды, кетоны, оксокислоты и низкомолекулярные жирные кислоты, снижающие пищевую и биологическую ценность продукта [46]. За окислительные изменения отвечают содержащиеся в сыром молоке прооксиданты. Достаточно сильным прооксидантом молока является трехвалентное железо. Также к прооксидантам относятся медь, кобальт, никель, марганец и др. Невысокое содержание аскорбиновой кислоты в молоке действует как прооксидант, регенерируя перферрильный радикал при инициации перекисного окисления липидов [47, 48]. При воздействии света окисление в молоке аскорбиновой кислоты в дегидроаскорбиновую (70–80 % остается в восстановленной форме) ускоряется. Скорость и степень окисления липидов молока обуславливаются их жирнокислотным составом. Свободные жирные кислоты окисляются быстрее, чем связанные, насыщенные жирные кислоты медленнее [47]. По мере увеличения дозы УФ-излучения степень окисления липидов и неприятного запаха в молочных продуктах увеличивается. Данный эффект является результатом окисления остатков ненасыщенных жирных кислот в липидах и фосфолипидах молока. Фотодеградация белков также приводит к появлению неприятного запаха и органолептическим изменениям в молоке [49]. За изменение запаха молока после его УФ-обработки отвечает повышение

концентрации таких летучих соединений, как альдегиды и кетоны. В работе В. Engin и др. после облучения молока в турбулентном потоке (доза УФ-излучения за один проход 13,87 Дж/мл) с помощью газовой хроматографии-ольфактометрии и газовой хроматографии-масс-спектрометрии были идентифицированы различные летучие соединения в сравнении с сырым и пастеризованным (65 °C, 30 мин) молоком [50]. Жирность всех исследуемых образцов молока составляла 3,32 %. Предподготовка включала экстрагирование молока диэтиловым эфиром с последующим центрифугированием и удалением эфирной фазы из верхнего слоя. На последнем этапе полученные экстракты, содержащие летучие нейтральные/основные и кислые вещества, постепенно разбавляли диэтиловым эфиром в соотношении 1:3 (об./об.) пока с помощью газовой хроматографии-ольфактометрии не переставали обнаруживать запахи. Наибольшее разбавление определяли как фактор разбавления аромата (РА). Сводные данные исследования приведены в таблице 3.

Среди летучих соединений был обнаружен диацетил с маслянистой ноткой. Фактор разбавления аромата диацетила в УФ-молоке составил 6. Также в УФ-молоке было зафиксировано высокое значение разбавления аромата гексанала (РА = 6). Для сырого и пастеризованного молока фактор разбавления аромата гексанала составил 3 и 2 соответственно. Обнаруженные альдегиды, включая гексанал, (E, Z)-2,6-нонадиеналь и (E, E)-2,4-нонадиеналь, имели более высокие коэффициенты фактора разбавления аромата в обработанном УФ-излучением молоке, чем в других образцах [50].

Маркером окисления липидов является образование первичных (содержание гидроперекисей и оксипинонов) и вторичных продуктов окисления (активных форм тиобарбитуровой кислоты). В исследовании К. Е. Matak и др. с увеличением дозы ультрафиолета до $15,8 \pm 1,6$ мДж/см² возросло содержание тиобарбитуровой кислоты и значения кислотности образцов козьего молока [31]. В

работе G. Hu и др. не было обнаружено изменений значений тиобарбитуровой кислоты сырого молока, обработанного УФ-С (доза 11,8 Вт/м²). Было установлено окисление белка по изменению количества его карбонильных групп. После УФ-обработки оно повысилось с 2,74 до 4,43 нмоль/мг белка [51].

Что касается белков молока, то двумя наиболее важными последствиями индуцированного УФ-излучением окисления являются разворачивание и агрегация. Степень денатурации после УФ-обработки менее интенсивна, чем при термическом воздействии [22]. Различные исследования показали, что казеины более восприимчивы к повреждению отдельных аминокислот, чем глобулярные белки (α -лактальбумин и β -лактоглобулин) [52]. Воздействие УФ-излучения на белки связано с поглощением света ароматическими аминокислотами, триптофаном, тирозином и фенилаланином с последующим образованием свободных радикалов и межмолекулярных ковалентных связей. При обычно используемой длине волны 254 нм эти соединения имеют коэффициенты поглощения 1, 0,11 и 0,05 соответственно. Это указывает на то, что триптофан претерпевает изменения во время облучения УФ-С [15]. Обработка сывороточных белков ультрафиолетовым светом (280–295 нм) приводит к опосредованному триптофаном фотолизу дисульфидных связей, который вызывает разворачивание, олигомеризацию и агрегацию с образованием отдельных свободных тиолов [53]. В таблице 4 приведены научные результаты влияния УФ-излучения на структурные изменения молочных белков.

В работе S. Buhler и др. исследовано влияние УФ-обработки в сравнении с традиционной термообработкой при $72,1 \pm 0,1$ °C в течение 15 с на белковый состав подсырной сыворотки. Для этого авторами был сконструирован УФ-реактор с 8 установленными амальгамными лампами с длиной волны 253,7 нм и мощностью 400 Вт [1]. Исследовали два образца обезжиренной (6 % сухих веществ) и концентрированной (22,8 % сухих веществ) подсырной сыворотки. Скорость потока при УФ-обработке составила 30 м³/ч для образцов обезжиренной сыворотки и 7,9 м³/ч для концентрированной. Доза облучения составила 40 мДж/см². Было проведено количественное определение растворимых сывороточных белков и их гликозилированных форм в образцах сыворотки до и после УФ и термообработки. Авторами установлено, что УФ-обработка не изменяла количество (содержание β -лактоглобулина (β -лг) и α -лактальбумина (α -лг) составило 5 и 2 мг/мл соответственно) и степень гликозилирования растворимых белков сыворотки (14 и 6 % для β -лг и α -лг соответственно) по сравнению с контрольными необработанными образцами.

Напротив, образцы, подвергнутые термообработке, показывали более низкие содержания растворимых сывороточных белков (4 и 1,6, мг/мл для β -лг и α -лг соответственно). Было обнаружено, что их процент гликозилирования выше (15,0 и 6,4 % для β -лг и α -лг соответственно). В результате оценки обработанных образцов сыворотки не было обнаружено потерь ароматических аминокислот, что подтверждает отсутствие окислительных процессов. УФ-обработка концентрированных образцов сыворотки вызвала незначительное уменьшение количества растворимых сывороточных белков (содержание β -лг и α -лг составило 16 и 7 мг/мл соответственно) по сравнению с контролем (17 и 7,5 мг/мл для β -лг и α -лг соответственно). Наименьшее содержание растворимых белков было установлено после термической обработки (14 и 5 мг/мл для β -лг и α -лг соответственно). По сравнению с неконцентрированной сывороткой степень гликозилирования существенно не изменилась под действием УФ-обработки. Это подчеркивает тот факт, что процесс концентрирования оказывает незначительное влияние на качество продукта [1].

В исследовании Y. H. Kuan и др. было установлено улучшение эмульгирующих и пенообразующих свойств казеината натрия после 6 ч УФ-обработки (253,7 нм, 30 Вт), возникшие в результате перекрестного сшивания белков после длительного облучения [54]. Предварительно образцы казеината натрия массой около 15 г были нанесены тонким слоем на стерильные чашки Петри (диаметром 15 см), высушены в шкафу, а затем подвергнуты продолжительному воздействию УФ-излучения на расстоянии 30 см в шкафу. В образцах было зафиксировано снижение содержания свободных аминокислот с $1,12 \pm 0,02$ до $0,91 \pm 0,02$ и $0,82 \pm 0,02$ ммоль/г на 4 и 6 ч УФ-излучения соответственно. Подобное изменение авторы связывают с нарушением вторичной и третичной структуры белков, приводящее к их сшиванию. Результаты оценки молекулярной массы белков методом электрофореза в полиакриламидном геле показали снижение интенсивности полос около молекулярной массы 75–150 кДа при длительном воздействии более 4 ч по сравнению с контрольным образцом. При воздействии в течение 6 ч все основные полосы исчезли, что указывало на индуцированное сшивание белков УФ-излучением (рис. 1). Пенообразующая способность в необработанном образце казеината натрия составляла 153 %, а после 4 и 6 ч УФ-воздействия возросла и составила 160 и 165 % соответственно [54].

В работе D. Scheidegger и др. исследован процесс окисления белков в обезжиренном и цельном молоке в результате УФ-обработки (15 Вт, интенсивность излучения 2,34 Вт) в течение 24 ч при 4 °C. Образцы объемом 5 мл разливали в чашки Петри диаметром 6 см

Таблица 4. Влияние УФ-излучения на структурные изменения молочных белков

Table 4. Effect of UV radiation on structural changes in milk proteins

Объект исследования	Условия обработки	Результаты исследования	Ссылка
Подсырная сыворотка (6 % сухих веществ)	Турбулентный поток, доза облучения 40 мДж/см ²	Содержание растворимых белков не изменилось. Окислительные процессы отсутствовали	[1]
Концентрат сывороточных белков (22,8 % сухих веществ)		Незначительное снижение растворимых белков. Окислительные процессы отсутствовали	
Казеинат натрия	Мощность лампы 30 Вт, время 6 ч, расстояние до объекта 30 см	Снижение содержания свободных аминокрупп. Индуцированное сшивание белков УФ-излучением. Улучшение эмульгирующих и пенообразующих свойств	[54]
Обезжиренное молоко	Импульсное УФ-излучение, интенсивность излучения 2,34 Вт, температура 4 °С, время 24 ч, расстояние до объекта 30 см	Более высокие уровни N'-формилкинуруенина, чем у цельного молока. Олигомеризация белков	[55]
Цельное молоко		Более высокие уровни образования дитиросиновой связи. Олигомеризация белков	
Изолят сывороточных белков (1 % раствор)	Импульсное УФ-излучение от 4 до 16 Дж/см ²	Увеличение содержания свободных SH-групп (разворачивание). Образование дисульфидных связей. Ассоциация промежуточных и более крупных белковых молекул. Образование растворимых агрегатов между β -лактоглобулином (β -лг) и α -лактальбумином (α -лг)	[56]
Изолят сывороточных белков (1 % раствор)	Доза УФ-излучения от 6,6 до 0,285 кДж/л	Изменения в третичной структуре белков. Денатурация и агрегация белков. Образование продуктов окисления (N-формилкинуруенин из триптофана и дитиросин из тирозина). Увеличение сульфгидрильных групп	[15]
Изолят сывороточных белков (5 % раствор)			
Раствор концентрата сывороточных белков (8 % белка)	Доза УФ-излучения 4 Дж/см ²	Увеличение свободных SH-групп с $16,88 \pm 1,62$ ммоль/г белка в необработанном растворе до $27,47 \pm 0,54$ ммоль/г белка	[57]
	Доза УФ-излучения 12 Дж/см ²	Увеличение свободных SH-групп с $16,88 \pm 1,62$ ммоль/г белка в необработанном растворе до $25,65 \pm 0,97$ ммоль/г белка	
Казеин Сывороточные белки	Доза УФ-излучения 6 Дж/см ²	Снижение интенсивности полос β -лг и α -лг. Полное удаление полос бычьего сывороточного альбумина и иммуноглобулинов. Снижение аллергенности на 25 % для α -казеина на 27,7 % для фракций сыворотки	[61]
Раствор α -казеина	Доза облучения 11,8 Вт/м ²	Снижение содержания во вторичной структуре белка β -листов и увеличение α -спиралей и β -витков. Снижение аллергенности	[62]

и подвергали воздействию УФ-света внутри камеры (30 см в высоту, 50 см в длину и 20 см в ширину). Контрольные образцы были завернуты в алюминиевую фольгу, чтобы избежать воздействия излучения. Окисление белков оценивали по образованию карбониллов белка и дитиросиновой связи (DiTur) и изменениям молекулярной массы (фрагментация и полимеризация белка). Через 1 ч УФ-излучения было

обнаружено присутствие карбонильных фрагментов из-за окисления триптофана, гистидина и метионина. Карбонилы белков увеличивались как функция времени облучения для цельного и обезжиренного молока. После 24 ч воздействия УФ-излучения у обезжиренного молока были более высокие уровни N'-формилкинуруенина, чем у цельного. Напротив, образцы цельного молока имели более высокие уровни

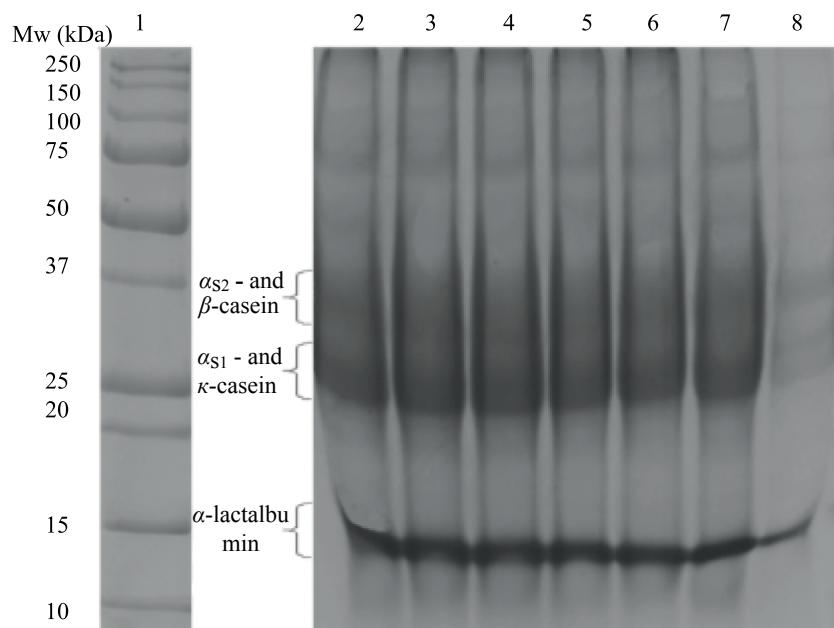


Рисунок 1. Образцы SDS-PAGE для контроля и казеината натрия, подвергнутые УФ-излучению: дорожка 1 – стандарт молекулярной массы; дорожка 2 – контроль; дорожки 3–8 – продолжительность воздействия УФ-излучения 30, 60, 90, 120 мин, 4 и 6 ч соответственно

Figure 1. SDS-PAGE samples for control and sodium caseinate exposed to UV light: lane 1 – molecular weight standard; lane 2 – control; lanes 3–8 – UV exposure time 30, 60, 90, 120 min, 4 and 6 h, respectively

DiTyr. Образование внутри- или межмолекулярных связей DiTyr может указывать на изменения в третичной структуре или олигомеризацию белков [55].

В работе М. А. В. Siddique и др. было исследовано влияние импульсного УФ-излучения на агрегацию растворов изолята сывороточного белка. При обработке 1 % раствора изолята сывороточного белка в натрий-фосфатном буфере (pH = 7,5) доза облучения составила от 4 до 16 Дж/см². Структурную модификацию и агрегацию сывороточного белка оценивали путем определения свободных SH-групп и спектров УФ-поглощения. Изолят сывороточного белка после УФ-обработки показал структурные изменения. Об этом свидетельствует увеличение содержания свободных SH-групп (разворачивание) и последующее образование небольшой фракции агрегации развернутых белков из-за гидрофобных взаимодействий и образования дисульфидных связей. Мутность, средний размер частиц и индекс агрегации увеличились во всех исследуемых образцах. При анализе гель-электрофореза авторы наблюдали ассоциацию промежуточных и более крупных белковых молекул и образование растворимых агрегатов между β-лактоглобулином и α-лактальбумином. Результаты исследования продемонстрировали потенциал УФ-обработки сывороточных белков к денатурации белка с минимальным образованием агрегатов раство-

римого белка. Авторы работы предположили, что частичная денатурация и образование небольшой фракции растворимых агрегатов могут улучшить функциональные и технологические свойства изолята сывороточного белка [56].

В работе Е. Kristo и др. изучены структурные изменения 1 и 5 % растворов сывороточных белков, вызванные УФ-обработкой на длине волны 254 нм в системе непрерывного действия УФ-реактора Тейлора-Куэтта, оснащенного трубопроводом для жидкости из тефлона FEP (фторированный этиленпропилен) и статическим смесительным элементом. Дозировку УФ-излучения варьировали, изменяя скорость потока растворов изолята сывороточного белка (от 30 до 800 мл/мин). В результате этого уровни дозы УФ-излучения составляли от 6,6 до 0,285 кДж/л. На основе флуоресцентной спектроскопии и определений гидрофобности было показано, что УФ-обработка вызывает изменения в третичной структуре белков. Авторы наблюдали денатурацию и агрегацию белков, образование продуктов окисления (N-формилкинурина из триптофана и дитиозина из тирозина), повышенную чувствительность белков к гидролизу пепсином и увеличение сульфгидрильных групп. Во всех аспектах влияние на белки в 1 % растворе было больше, чем в 5 %.

Это было связано с более высокой мутностью и меньшим проникновением УФ-излучения в 5 %-ный раствор [15].

В исследовании О. Díaz с соавторами установлено увеличение свободных SH-групп растворов сыворо-точных концентратов (8 % белка) с $16,88 \pm 1,62$ ммоль/г белка в необработанном растворе до $27,47 \pm 0,54$ и $25,65 \pm 0,97$ ммоль/г белка в обработанных растворах УФ-облучением в тонком слое при применении доз 4 и 12 Дж/см² [57]. Также при данных дозах облучения анализ профиля SE-HPLC (высокоэффективной жидкостной хроматографии) показал уменьшение β -лактоглобулина и α -лактальбумина и увеличение белковых агрегатов с высокой молекулярной массой. Эти различия могут быть вызваны УФ-опосредованным лизисом дисульфидных связей α -лактальбумина и индуцированной полимеризацией. Исходя из полученных данных, было установлено, что α -лактальбумин больше подвержен действию УФ-излучения, чем β -лактоглобулин, и денатурируется при более низких дозах облучения [57].

Одним из направлений существующих исследований применения УФ-излучения является снижение аллергенности молочных белков. Данная проблема освещена во многих работах российских и зарубежных исследователей [58–60]. В исследовании С. V. R. K. Tammineedi и др. было изучено влияние УФ-излучения (8,7 Вт, длина волны 253,7 нм) на стабильность и аллергенность казеина и сыворо-точных белков [61]. Оценка молекулярной массы методом гель-фильтрации показала, что обработка в течение 15 мин (расчетная доза излучения 6 Дж/см²) привела к снижению интенсивности полос β -лг и α -лг и полному удалению полос бычьего сыворо-точного альбумина и иммуноглобулинов. Это также вызвало снижение значений связывания IgE по сравнению с контрольными образцами, что указывает на снижение аллергенности белков (снижение на 25 % для α -казеина и снижение на 27,7 % для фракций сывотки) [61].

В работе Г. Ну и др. рассматривалось влияние обработки высокого гидростатического давления, УФ-С и дальним ИК-диапазоном на морфологию и ультраструктуру α -казеина. Обработку УФ-излучением проводили при 254 нм. Растворы α -казеина (образцы 10 мл) помещали в чашку Петри (диаметром 90 мм и высотой 15 мм) на глубину ~ 1 мм и подвергали воздействию УФ-С излучения (доза облучения 11,8 Вт/м²) в течение 5 и 15 мин. Обработка УФ-излучением снизила содержание во вторичной структуре белка β -листов и увеличила содержание α -спиралей и β -витков по сравнению с контролем. При 5 мин УФ-обработки наблюдалось уменьшение β -листов по сравнению с обработкой 15 мин. УФ-обработка вызывала разворачивание α -казеина со снижением содержания β -слоев. УФ-С (15 мин)

обработка была более эффективна в отношении снижения аллергенности α -казеина [62].

Таким образом, анализ различных научных исследований показал, что УФ обработка вызывает некоторые изменения сыворо-точных белков из-за поглощения света ароматическими аминокислотами, особенно триптофаном. Они включают изменения третичной структуры белков, низкие уровни денатурации и агрегации, образование продуктов окисления, повышенную восприимчивость к протеолизу, снижение аллергенности, разрыв дисульфидных связей и увеличение сульфгидрильных групп [63]. Что касается казеина, то УФ-обработка существенно не изменяет его молекулярную массу. Однако при продолжительной обработке происходит сшивание белков и снижение их аллергенности [61, 62].

Применение УФ-излучения для улучшения техно-функциональных свойств молочных продуктов. Одним из перспективных направлений применения УФ-обработки является разработка пленочных покрытий на основе концентратов сыворо-точных белков с адекватной проницаемостью и механическими свойствами [57, 64, 65]. Способность глобулярных сыворо-точных белков разворачиваться и связываться с новыми полимерными структурами при определенных условиях делает их отличным сырьем для изготовления пленок и покрытий [66–68]. УФ-облучение двойных связей и ароматических колец приводит к образованию свободных радикалов и аминокислотных остатков, которые образуют новые поперечные связи при формировании белковой пленки [69]. С увеличением дозы облучения пленки демонстрируют повышенную прочность, не меняя барьерных свойств. Это особенно важно для обеспечения длительного срока хранения и поддержания качества продукции, поскольку основной функцией упаковочных материалов является их защита от внешних воздействий, таких как проницаемость кислорода и паропро-ницаемость [70, 71].

В работе Z. Ustunol и B. Mert была исследована обработка УФ-С (0,324 кДж/см² в течение 180 мин) как процедура сшивания белков при получении пленок из сыворо-точных белков. Сшивание под действием УФ-излучения происходило из-за образования свободных радикалов ароматических аминокислот, таких как тирозин и фенилаланин, которые участвуют в образовании межмолекулярных ковалентных связей. УФ-обработку сравнивали с использованием химических сшивающих агентов (глутаральдегид, формальдегид, полимерный (крахмальный) диальдегид и карбонилдиимидазол). Использование УФ-излучения и химических сшивающих агентов привело к увеличению прочности пленки на разрыв, но, в

Таблица 5. Влияние УФ-излучения на техно-функциональные свойства молочных продуктов

Table 5. Effect of UV radiation on the techno-functional properties of dairy products

Наименование продукта	Условия обработки молока	Результат исследования	Ссылка
Сыр Чеддер	Температура 73,5 °С, доза облучения 1045 кДж/л, время 15 с	Снижение содержания холестерина на 18 %	[27]
Йогурт	Температура 85 °С, доза облучения 1060 мДж/см ² , 400 мм.рт.ст, время 20 мин	Снижение синерезиса при хранении на 60 %	[16]
Йогурт	Доза облучения 13,87 Дж/мл за 1 проход	Наибольшее значение вязкости ($24,75 \pm 0,75$ спс) и наименьшее значение синерезиса ($3,29 \pm 0,01$ мл) в йогурте по сравнению с образцами из сырого и пастеризованного молока	[75]

отличие от химической обработки, УФ-обработка не повлияла на растворимость, водо- и кислородную проницаемость пленки [72].

В работе М. Schmid и др. пленки изолята сывороточного белка обрабатывали УФ-С излучением в дозах до 0,0314 кДж/см² в течение 200 мин. Это увеличивало прочность пленок на разрыв, но не повлияло на их механические свойства (модуль Юнга, удлинение при разрыве) или барьерные свойства [73].

В исследовании О. Díaz и др. оценивалось влияние обработки УФ-излучением на пленкообразующие свойства концентратов сывороточных белков с активной кислотностью pH 9 и 11. УФ-излучение увеличивало агрегацию белков при указанных значениях pH. Свободные сульфгидрильные группы уменьшались при pH 9 и увеличивались при pH 11. Ультрафиолетовая обработка растворов с pH 9 увеличивала количество свободных сульфгидрильных групп и давала пленки с более высокой растворимостью, прочностью на разрыв, модулем упругости, свойствами прокола и меньшим удлинением при разрыве. УФ-излучение при pH 11 уменьшало количество свободных сульфгидрильных групп, а пленки демонстрировали более высокую растворимость и модуль упругости, а также меньшую деформацию прокола и удлинение при разрыве, чем необработанные пленки [74]. Таким образом, сочетание УФ-излучения и подщелачивания можно использовать для получения пленок с адаптируемыми свойствами для многократного применения в упаковке пищевых продуктов.

УФ-С излучение также применяют для улучшения питательных или сенсорных аспектов пищевых продуктов, в том числе совместно с традиционной тепловой обработкой пищевых сред. Поскольку в РФ производство продукции из сырого непастеризованного молока, согласно ТР ТС 033/2013, запрещено, то комбинация данных технологий для улучшения техно-функциональных свойств молочных продуктов является перспективной.

В таблице 5 представлены некоторые результаты научных исследований применения УФ-обработки отдельно или совместно с другими технологическими процессами в технологии молочных продуктов, показавшие улучшение технологических или физико-химических показателей.

В исследовании F. P. Cilliers и др. УФ-С излучение в сочетании с высокотемпературной кратковременной пастеризацией (73,5 °С, 15 с) применялось к сырому молоку для производства сыра Чеддер. Авторы провели обширное исследование микробиологических, химических и сенсорных аспектов молока, облученного в турбуляторе SurePure Turbulator без рециркуляции при дозировке 1045 кДж/л. Было установлено, что УФ-обработка не влияла на активность фермента сыворотки и лактопероксидазы. Также была зафиксирована аналогичная традиционной тепловой пастеризации антимикробная эффективность УФ-С излучения. Содержание холестерина после комбинированной обработки было снижено на 18 % [27].

В работе P. Vázquez-Mazo и др. было проведено исследование воздействия ультрафиолетового облучения при производстве йогурта. Ультра-фиолетовая обработка молока перед заквашиванием проводилась одновременно в процессе пастеризации при температуре 85 °С в течение 20 мин в условиях вакуума (400 мм.рт.ст) и без. Доза облучения составляла 1060 мДж/см². Для проведения эксперимента авторами был разработан УФ-реактор для обработки молока в тонком слое. Система состояла из двух последовательно соединенных УФ-ламп (30 Вт, длина волны 253,7 нм), расположенных внутри стеклянной трубки объемом 0,22 л. После окончания обработки молоко охлаждали и заквашивали при температуре 43 °С симбиотическими культурами *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus bulgaricus*. Исследуемые образцы йогурта хранились при 4 °С в течение 21 суток. Йогурт, полученный из обработанного в условиях вакуума УФ-молока,

показал на 60 % меньше синерезиса и высокий индекс белизны, демонстрируя аналогичные механические свойства, по сравнению йогуртом, полученном без вакуума [16].

В работе В. Engin и Y. Karagul Yuceer для обработки молока была разработана УФ-система, оснащенная девятью лампами, мощность которых составляла 87 Вт, выходная мощность каждой лампы 28 Вт. Каждая лампа в блоке была четырехконтактной, одноточечной и с длиной волны 254 нм. Скорость потока молока составляла 1090 мл/мин. Интенсивность УФ-излучения за один проход молока составляла 13,87 Дж/мл. На основе УФ-обработанного молока, по сравнению с сырым и пастеризованным (65 °C, 30 мин), были приготовлены образцы йогуртов. Наиболее высокие значения вязкости ($24,75 \pm 0,75$ спс) и наименьшее значение синерезиса ($3,29 \pm 0,01$ мл) были определены для йогурта, приготовленного из УФ-обработанного молока. Значения вязкости для образцов йогурта на основе сырого и пастеризованного молока были ниже и составляли $17,85 \pm 0,45$ и $12,00 \pm 0,01$ спс соответственно [75].

Анализируя представленные результаты работ, можно сделать вывод о том, что в технологии кисломолочных продуктов УФ-обработка молока оказывает положительное влияние как на структурно-технологические свойства, включая вязкость и влагоудерживающую способность, так и на физико-химические показатели. Однако исследований в данной области проведено недостаточно. Поэтому представляет интерес дальнейшее изучение влияния режимов УФ-обработки на полимеризацию белков при формировании сгустка кисломолочных напитков.

Выводы

На сегодняшний день проведено множество исследований, доказавших бактерицидную эффективность УФ-обработки молока и молочной сыворотки. Поскольку сыворотку часто приходится хранить в течение некоторого времени перед переработкой, то снижение ее бактериальной нагрузки с помощью УФ-излучения для улучшения сохраняемости привлекательно. В технологии молока для обеспечения безопасности и продления срока хранения применение УФ-обработки эффективно в сочетании с традиционной пастеризацией.

Помимо снижения бактериальной нагрузки, в различных исследованиях показано, что УФ-обработку можно применять для улучшения технологических свойств молока или растворов сывороточных белков.

Среди недавних исследований выявлено влияние УФ-обработки на структурные изменения молочных белков. Глобулярные белки подвержены изменениям под действием электромагнитных волн. Обработка молока или сывороточных концентратов при дозах облучения в диапазоне от 4 до 16 Дж/см² приводит к увеличению свободных сульфгидрильных групп, образованию дисульфидных связей и к ассоциации промежуточных и более крупных белковых молекул. Конформационные изменения сывороточных белков под действием УФ-облучения способствуют улучшению их функциональных свойств. Это делает их ценными пищевыми ингредиентами при разработке пленочных покрытий с высокими прочностными характеристиками и низкой паропроницаемостью. В технологии кисломолочных продуктов (йогурт) УФ-облучение молока способствует улучшению их технологических свойств, включая вязкость и влагоудерживающую способность. Однако применение более высоких доз облучения (свыше 6 кДж/см²) при обработке молока может привести к ухудшению качества продуктов и образованию нежелательных соединений.

Воздействие электромагнитных волн на животные белки, а также на сенсорные и технологические свойства молочных продуктов изучено недостаточно. Поэтому данное направление исследований представляет интерес. Таким образом, для улучшения питательных или сенсорных аспектов качества молочной продукции и расширения применения УФ-обработки перспективно провести дальнейшие исследования данной технологии в комбинации с традиционной пастеризацией и другими новыми подходами.

Критерии авторства

К. А. Рязанцева руководила проектом. Н. Е. Шерстнева проводила теоретические исследования, участвовала в написании и корректировке статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

K.A. Riazantseva supervised the project. N.E. Sherstneva conducted the theoretical research, processed the data, and prepared the manuscript.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Buhler S, Solari F, Gasparini A, Montanari R, Sforz S, Tedeschi T. UV irradiation as a comparable method to thermal treatment for producing high quality stabilized milk whey. *LWT*. 2019;105:127–134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.051>
2. Myalenko DM, Fedotova OB. Development and improvement of packaging disinfection technology by ultraviolet irradiation. In: Galstyan AG, editor. Ideas of academician Vladimir Dmitrievich Kharitonov in science-intensive technologies of milk processing. Moscow: VNIMI; 2021. pp. 207–226. (In Russ.). <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-6-3>
3. Gunter-Ward DM, Patras A, Bhullar MS, Kilonzo-Nthenge A, Pokharel B, Sasges M. Efficacy of ultraviolet (UV-C) light in reducing foodborne pathogens and model viruses in skim milk. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2018;42(2). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13485>
4. Ward DM, Patras A, Kilonzo-Nthenge A, Yannam SK, Pan C, Xiao H, *et al.* UV-C treatment on the safety of skim milk: Effect on microbial inactivation and cytotoxicity evaluation. *Journal of Food Process Engineering*. 2019;42(4). <https://doi.org/10.1111/jfpe.12944>
5. Ikhlov BL. Spectra of DNA. Review. *Journal of New Medical Technologies*. 2018;25(2):121–134. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/1609-2163-2018-16001>
6. Peng K, Koubaa M, Bals O, Vorobiev E. Recent insights in the impact of emerging technologies on lactic acid bacteria: A review. *Food Research International*. 2020;137. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109544>
7. Bhullar MS, Patras A, Kilonzo-Nthenge A, Pokharel B, Yannam SK, Rakariyatham K, *et al.* Microbial inactivation and cytotoxicity evaluation of UV irradiated coconut water in a novel continuous flow spiral reactor. *Food Research International*. 2018;103:59–67. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.004>
8. Unluturk S, Atilgan MR, Handan BA, Tari C. Use of UV-C radiation as a non-thermal process for liquid egg products (LEP). *Journal of Food Engineering*. 2008;85(4):561–568. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.017>
9. Singh PK, Huppertz T. Effect of nonthermal processing on milk protein interactions and functionality. In: Boland M, Singh H, editors. *Milk proteins*. Academic Press; 2020. pp. 293–324. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815251-5.00008-6>
10. Ochoa-Velasco CE, Díaz-Lima MC, Ávila-Sosa R, Ruiz-López II, Corona-Jiménez E, Hernández-Carranza P, *et al.* Effect of UV-C light on *Lactobacillus rhamnosus*, *Salmonella* Typhimurium, and *Saccharomyces cerevisiae* kinetics in inoculated coconut water: Survival and residual effect. *Journal of Food Engineering*. 2018;223:255–261. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.010>
11. Singh H, Bhardwaj SK, Khatri M, Kim K-H, Bhardwaj N. UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal*. 2021;417. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.128084>
12. Fedotova OB, Myalenko DM. Non-traditional approach to the decontamination of food package. *Dairy Industry*. 2016;(1):25–27. (In Russ.).
- Федотова О. Б., Мьяленко Д. М. Нетрадиционный подход к обеззараживанию пищевой упаковки // Молочная промышленность. 2016. № 1. С. 25–27.
13. Myalenko DM, Golowan NS. The influence of ultraviolet radiation on sanitary and hygiene indicators of polyethylene film for dairy products filled with inorganic components. *Bulletin of KSAU*. 2020;164(11):205–212. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-11-205-212>
14. Fedotova OB, Myalenko DM. The research of physical and mechanical indicators of filled food soot of polyethylene film for dairy and food products after exposing to its pulse UV radiation. *Bulletin of KSAU*. 2020;160(7):155–172. (In Russ.). <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-7-166-172>
15. Kristo E, Hazizaj A, Corredig M. Structural changes imposed on whey proteins by UV irradiation in a continuous UV light reactor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2012;60(24):6204–6209. <https://doi.org/10.1021/jf300278k>
16. Vásquez-Mazo P, Loredó AG, Ferrario M, Guerrero S. Development of a novel milk processing to produce yogurt with improved quality. *Food and Bioprocess Technology*. 2019;12(6):964–975. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02269-z>
17. Voronov A. New generation of low pressure mercury lamps for producing ozone. *Ozone: Science and Engineering*. 2008;30(6):395–397. <https://doi.org/10.1080/01919510802341012>
18. Sommers CH, Cooke PH. Inactivation of avirulent *Yersinia pestis* in Butterfield's phosphate buffer and frankfurters by UVC (254 nm) and gamma radiation. *Journal of Food Protection*. 2009;72(4):755–759. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-72.4.755>
19. Cappozzo JC, Koutchma T, Barnes G. Chemical characterization of milk after treatment with thermal (HTST and UHT) and nonthermal (turbulent flow ultraviolet) processing technologies. *Journal of Dairy Science*. 2015;98(8):5068–5079. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9190>
20. Fedotova OB, Pryanichnikova NS. Research of the polyethylene packaging layer structure change in contact with a food product at exposure to ultraviolet radiation. *Food Systems*. 2021;4(1):56–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-56-61>

21. Chughtai MFJ, Farooq MA, Ashfaq SA, Khan S, Khaliq A, Antipov S, et al. Role of pascalization in milk processing and preservation: A Potential alternative towards sustainable food processing. *Photonics*. 2021;8(11). <https://doi.org/10.3390/photonics8110498>
22. Delorme MM, Guimarães JT, Coutinho NM, Balthazar CF, Rocha RS, Silva R, et al. Ultraviolet radiation: An interesting technology to preserve quality and safety of milk and dairy foods. *Trends in Food Science and Technology*. 2020;102:146–154. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.001>
23. Koutchma T. Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology*. 2009;2(2):138–155. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0178-3>
24. Li Z, Liu D, Xu S, Zhang W, Hemar Y, Regenstien JM, et al. Effects of pasteurization, microfiltration, and ultraviolet-c treatments on microorganisms and bioactive proteins in bovine skim milk. *Food Bioscience*. 2021;43. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101339>
25. Khatuntseva ON. On finding the critical Reynolds number of laminar-turbulent transition in Hagen-Poiseuille problem. *Trudy MAI*. 2018;101. (In Russ.).
Хатунцева О. Н. О нахождении критического числа Рейнольдса ламинарно-турбулентного перехода в задаче Хагена-Пуазейля // Труды МАИ. 2018. № 101.
26. Kapitanskaya MA. Mathematical modeling of laminar and turbulent flow of viscous incompressible fluid in a pipe of elliptic cross section. *Sustainable Development of Science and Education*. 2019;(6):155–163. (In Russ.).
Капитанская М. А. Математическое моделирование ламинарного и турбулентного течения вязкой несжимаемой жидкости в трубах эллиптического поперечного сечения // Устойчивое развитие науки и образования. 2019. № 6. С. 155–163.
27. Cilliers FP, Gouws PA, Koutchma T, Engelbrecht Y, Adriaanse C, Swart P. A microbiological, biochemical and sensory characterisation of bovine milk treated by heat and ultraviolet (UV) light for manufacturing Cheddar cheese. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2014;23:94–106. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.03.005>
28. Rossitto PV, Cullor JS, Crook J, Parko J, Sechi P, Cenci-Goga BT. Effects of UV irradiation in a continuous turbulent flow UV reactor on microbiological and sensory characteristics of cow's milk. *Journal of Food Protection*. 2012;75(12):2197–2207. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-036>
29. Ansari JA, Ismail M, Farid M. Investigate the efficacy of UV pretreatment on thermal inactivation of *Bacillus subtilis* spores in different types of milk. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2019;52:387–393. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.02.002>
30. Krishnamurthy K, Demirci A, Irudayaraj JM. Inactivation of *Staphylococcus aureus* in milk using flow-through pulsed UV-light treatment system. *Journal of Food Science*. 2007;72(7):M233–M239. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00438.x>
31. Matak KE, Sumner SS, Duncan SE, Hovingh E, Worobo RW, Hackney CR, et al. Effects of ultraviolet irradiation on chemical and sensory properties of goat milk. *Journal of Dairy Science*. 2007;90(7):3178–3186. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-642>
32. Choudhary R, Bandla S, Watson DG, Haddock J, Abughazaleh A, Bhattacharya B. Performance of coiled tube ultraviolet reactors to inactivate *Escherichia coli* W1485 and *Bacillus cereus* endospores in raw cow milk and commercially processed skimmed cow milk. *Journal of Food Engineering*. 2011;107(1):14–20. <https://doi.org/10.1016/j.jlwt.2011.10.024>
33. Makarapong D, Tantayanon S, Gowanit C, Inchaisri C. Development of an innovative apparatus using UV-C for controlling the number of microorganisms in raw milk after milking. *International Journal of Dairy Technology*. 2020;73(1):301–305. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12654>
34. Keklik NM, Elik A, Salgin U, Demirci A, Koçer G. Inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* O157:H7 on fresh kashar cheese with pulsed ultraviolet light. *Food Science and Technology International*. 2019;25(8):680–691. <https://doi.org/10.1177/1082013219860925>
35. Lacivita V, Conte A, Manzocco L, Plazzotta S, Zambrini VA, Del Nobile MA, et al. Surface UV-C light treatments to prolong the shelf-life of Fiordilatte cheese. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2016;36:150–155. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.010>
36. Ricciardi EF, Pedros-Garrido S, Papoutsis K, Lyng JG, Conte A, Del Nobile MA. Novel technologies for preserving ricotta cheese: Effects of ultraviolet and near-ultraviolet-visible light. *Foods*. 2020;9(5). <https://doi.org/10.3390/foods9050580>
37. Simmons MJH, Alberini F, Tsiglikas AN, Gargiuli J, Parker DJ, Fryer PJ, et al. Development of a hydrodynamic model for the UV-C treatment of turbid food fluids in a novel “SurePure turbulator™” swirl-tube reactor. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2012;14:122–134. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.11.006>
38. Yurova EA. Methods for monitoring quality and safety indicators in the dairy industry. *Milk Processing*. 2017;210(4):12–14. (In Russ.).
Юрова Е. А. Методы контроля показателей качества и безопасности в молочной промышленности // Переработка молока. 2017. Т. 210. № 4. С. 12–14.

39. Yurova EA. Identification of raw milk. Confirmation of the compliance with the requirements of the TP TC 033/2013. Dairy Industry. 2017;(1):16–18. (In Russ.).

Юрова Е. А. Идентификация молока-сырья подтверждение соответствия требованиям ТР ТС 033/2013 // Молочная промышленность. 2017. № 1. С. 16–18.

40. Yurova EA, Kobzeva TV, Fil'chakova SA. Standardization of measurement methods for indicators of quality and safety of milk and dairy products. Milk Processing. 2019;241(11):6–11. (In Russ.).

Юрова Е. А., Кобзева Т. В., Фильчакова С. А. Стандартизация методик измерений показателей качества и безопасности молока и продуктов его переработки // Переработка молока. 2019. Т. 241. № 11. С. 6–11.

41. Yurova EA. Control of dairy products in terms of quality and safety. Milk Processing. 2019;234(4):6–9. (In Russ.).

Юрова Е. А. Особенность контроля молочной продукции по показателям качества и безопасности // Переработка молока. 2019. Т. 234. № 4. С. 6–9.

42. Koca N, Urgu M, Saatli TE. Ultraviolet light applications in dairy processing. In: Koca N, editor. Technological approaches for novel applications in dairy processing. IntechOpen; 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74291>

43. Yurova EA, Kobzeva TV, Filchakova SA. The peculiarity of the development of express methods for determining the shelf life of functional milk-based products for long-term storage. Food Industry. 2021;(3):36–39. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-3-0026>

44. Yurova EA, Kobzeva TV, Filchakova SA. Application of the accelerated storage method for functional dry milk mixtures. Food Industry. 2021;(8):18–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.8.8.004>

45. Yurova EA, Kobzeva TV. Application of the sensory evaluation method when using the accelerated storage technique. Food Industry. 2021;(8):15–17. (In Russ.). <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.8.8.003>

46. Shidlovskaya VP, Yurova EA. Antioxidant activity of enzymes. Dairy Industry. 2011;(12):48–49. (In Russ.).

Шидловская В. П., Юрова Е. А. Антиоксидантная активность ферментов // Молочная промышленность. 2011. № 12. С. 48–49.

47. Shidlovskaya VP, Yurova EA. Antioxidants in milk and their role in assessing milk quality. Dairy Industry. 2010;(2):24–26. (In Russ.).

Шидловская В. П., Юрова Е. А. Антиоксиданты молока их роль в оценке его качества // Молочная промышленность. 2010. № 2. С. 24–26.

48. Dobriyan EI. Dairy antioxidant system. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2020;82(2):101–106. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-101-106>

49. Koutchma T. Ultraviolet light in food technology: principles and applications. Boca Raton: CRC Press; 2019. 376 p. <https://doi.org/10.1201/9780429244414>

50. Engin B, Karagul Yuceer Y. Effects of ultraviolet light and ultrasound on microbial quality and aroma-active components of milk. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2012;92(6):1245–1252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4689>

51. Hu G, Zheng Y, Wang D, Zha B, Liu Z, Deng Y. Comparison of microbiological loads and physicochemical properties of raw milk treated with single-/multiple-cycle high hydrostatic pressure and ultraviolet-C light. High Pressure Research. 2015;35(3):330–338. <https://doi.org/10.1080/08957959.2015.1063626>

52. Pattison DI, Rahmanto AS, Davies MJ. Photo-oxidation of proteins. Photochemical and Photobiological Sciences. 2012;11(1):38–53. <https://doi.org/10.1039/C1PP05164D>

53. Schmid M, Prinz TK, Müller K, Haas A. UV radiation induced cross-linking of whey protein isolate-based films. International Journal of Polymer Science. 2017;2017. <https://doi.org/10.1155/2017/1846031>

54. Kuan Y-H, Bhat R, Karim AA. Emulsifying and foaming properties of ultraviolet-irradiated egg white protein and sodium caseinate. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2011;59(8):4111–4118. <https://doi.org/10.1021/jf104050k>

55. Scheidegger D, Pecora RP, Radici PM, Kivatinitz SC. Protein oxidative changes in whole and skim milk after ultraviolet or fluorescent light exposure. Journal of Dairy Science. 2010;93(11):5101–5109. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3513>

56. Siddique MAB, Maresca P, Pataro G, Ferrari G. Influence of pulsed light treatment on the aggregation of whey protein isolate. Food Research International. 2017;99:419–425. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.06.003>

57. Díaz O, Candia D, Cobos Á. Effects of ultraviolet radiation on properties of films from whey protein concentrate treated before or after film formation. Food Hydrocolloids. 2016;55:189–199. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.11.019>

58. Kharitonov VD, Agarkova EYu, Kruchinin AG, Ryazantseva KA, Korolyeva OV, Fedorova TV, *et al.* Impact of new fermented dairy product with whey protein hydrolysate on tolerance and dynamics of atopic dermatitis manifestation in children suffering from cow's milk protein allergy. Problems of Nutrition. 2015;84(5):56–63. (In Russ.).

Влияние нового кисломолочного продукта с гидролизатом сывороточных белков на переносимость и динамику проявлений атопического дерматита у детей с аллергией на белки коровьего молока / В. Д. Харитонов [и др.] // Вопросы питания. 2015. Т. 84. № 5. С. 56–63.

59. Simonenko ES, Begunova AV. Development of fermented milk product based on mare milk and lactic microorganisms association. Problems of Nutrition. 2021;90(5):115–125. (In Russ.). <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-5-115-125>

60. Shuvarikov AS, Pastukh ON, Yurova EA. Qualitative indicators of cow, goat, and camel milk, including allergenicity. *Farmer*. Chernozem Region. 2018;18(9):20–25. (In Russ.).
- Шувариков А. С., Пастух О. Н., Юрова Е. А. Качественные показатели коровьего, козьего и верблюжьего молока с учетом аллергенности // Фермер. Черноземье. 2018. Т. 18. № 9. С. 20–25.
61. Tammineedi CVRK, D Choudhary R, Perez-Alvarado GC, Watson DG. Determining the effect of UV-C, high intensity ultrasound and nonthermal atmospheric plasma treatments on reducing the allergenicity of α -casein and whey proteins. *LWT – Food Science and Technology*. 2013;54(1):35–41. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.05.020>
62. Hu G, Zheng Y, Liu Z, Deng Y, Zhao Y. Structure and IgE-binding properties of α -casein treated by high hydrostatic pressure, UV-C, and far-IR radiations. *Food Chemistry*. 2016;204:46–55. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.113>
63. Huppertz T, Vasiljevic T, Zisu B, Deeth H. Novel processing technologies: Effects on whey protein structure and functionality. In: Deeth HC, Bansal N, editors. *Whey proteins*. Academic Press; 2019. pp. 281–334. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00009-6>
64. Guo M, Shen X. Modifications of whey protein. In: Guo M, editor. *Whey protein production, chemistry, functionality, and applications*. John Wiley and Sons; 2019. pp. 205–225. <https://doi.org/10.1002/9781119256052.ch8>
65. de Castro RJS, Domingues MAF, Ohara A, Okuro PK, dos Santos JG, Brexó RP, et al. Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. *Food Structure*. 2017;14:17–29. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.004>
66. Silva KS, Mauro MA, Gonçalves MP, Rocha CMR. Synergistic interactions of locust bean gum with whey proteins: Effect on physicochemical and microstructural properties of whey protein-based films. *Food Hydrocolloids*. 2016;54:179–188. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.028>
67. Schmid M, Hinz L-V, Wild F, Noller K. Effects of hydrolysed whey proteins on the techno-functional characteristics of whey protein-based films. *Materials*. 2013;6(3):927–940. <https://doi.org/10.3390/ma6030927>
68. Zink J, Wyrobnik T, Prinz T, Schmid M. Physical, chemical and biochemical modifications of protein-based films and coatings: An extensive review. *International Journal of Molecular Sciences*. 2016;17(9). <https://doi.org/10.3390/ijms17091376>
69. Schmid M, Müller K. Whey protein-based packaging films and coatings. In: Deeth HC, Bansal N, editors. *Whey proteins*. Academic Press; 2019. pp. 407–437. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00012-6>
70. Fedotova OB, Myalenko DM. Safety of packaging formed during the production of dairy products. *Dairy Industry*. 2021;(2):11–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-02-11-13>
71. Fedotova OB. The role of packaging in determining the expiration date of dairy products with extended shelf life. *Dairy Industry*. 2021;(9):6–8. (In Russ.). <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-09-6-8>
72. Ustunol Z, Mert B. Water solubility, mechanical, barrier, and thermal properties of cross-linked whey protein isolate-based films. *Journal of Food Science*. 2004;69(3):FEP129–FEP133. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb13365.x>
73. Schmid M, Held J, Hammann F, Schlemmer D, Noller K. Effect of UV-radiation on the packaging-related properties of whey protein isolate based films and coatings. *Packaging Technology and Science*. 2015;28(10):883–899. <https://doi.org/10.1002/pts.2150>
74. Díaz O, Candia D, Cobos Á. Whey protein film properties as affected by ultraviolet treatment under alkaline conditions. *International Dairy Journal*. 2017;73:84–91. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.05.009>
75. Engin B, Karagul Yuceer Y. Effects of ultraviolet light and ultrasound on microbial quality and aroma-active components of milk. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012;92(6):1245–1252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4689>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2373>
<https://elibrary.ru/VTKDEZ>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Мука различных видов в технологии мучных кондитерских изделий



Т. В. Рензеева¹, А. С. Тубольцева^{2,*}, А. О. Рензеев³

¹ Кемеровский государственный университет , Кемерово, Россия

² Кемеровский государственный медицинский университет, Кемерово, Россия

³ Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 28.03.2022

Принята после рецензирования: 23.04.2022

Принята в печать: 15.06.2022

*А. С. Тубольцева: tub_anna7@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0001-8169-7214>

Т. В. Рензеева: <https://orcid.org/0000-0001-5451-1154>

А. О. Рензеев: <https://orcid.org/0000-0001-7032-7840>

© Т. В. Рензеева, А. С. Тубольцева, А. О. Рензеев, 2022



Аннотация.

Использование муки различных видов из злаковых, крупяных и масличных культур способствует повышению пищевой ценности мучных кондитерских изделий. От традиционной пшеничной сортовой муки другие виды отличаются не только разнообразным составом пищевых ингредиентов, но и технологическими свойствами. Цель работы – исследование функционально-технологических свойств различных видов муки для разработки рецептуры сухой многокомпонентной смеси и способа приготовления печенья.

В качестве объектов исследования использовались следующие виды муки: хлебопекарная пшеничная высшего сорта, пшеничная цельнозерновая, кукурузная, льняная полуобезжиренная и рисовая. Для муки разных видов и сухой многокомпонентной смеси на основе кукурузной муки определялись функционально-технологические свойства: водоудерживающая, жироудерживающая и жирозмульгирующая способности, а также стабильность эмульсии.

Установлено, что мука, в зависимости от белкового и углеводного состава, проявляет неодинаковую способность связывать и удерживать воду и масло, а также эмульгировать и стабилизировать системы. Водоудерживающая способность льняной муки в 6–8 раз больше, чем у других видов. Кукурузная мука имеет жироудерживающую способность на 30 % большую, чем остальные виды муки. Кукурузная и льняная мука обладают лучшей способностью эмульгировать и стабилизировать системы.

Полученные результаты позволили разработать рецептуру сухой многокомпонентной смеси на основе кукурузной муки и порошкообразного сырья и предложить технологические приемы приготовления из нее сдобного печенья хорошего качества с использованием жидкого растительного масла. Использование кукурузной муки и растительного масла позволит повысить пищевую ценность и расширить ассортимент безглютенового печенья.

Ключевые слова. Печенье, кукурузная мука, сухая многокомпонентная смесь, функционально-технологические свойства, рецептура, пищевая ценность

Для цитирования: Рензеева Т. В., Тубольцева А. С., Рензеев А. О. Мука различных видов в технологии мучных кондитерских изделий // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 407–416. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2373>

Various Flours in Pastry Production Technology

Tamara V. Renzyaeva¹, Anna S. Tuboltseva^{2,*}, Anton O. Renzyaev³

¹ Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

² Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russia

³ Kuzbass State Agrarian Academy, Kemerovo, Russia

Received: 28.03.2022

Revised: 23.04.2022

Accepted: 15.06.2022

*Anna S. Tuboltseva: tub_anna7@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0001-8169-7214>

Tamara V. Renzyaeva: <https://orcid.org/0000-0001-5451-1154>

Anton O. Renzyaev: <https://orcid.org/0000-0001-7032-7840>

© T.V. Renzyaeva, A.S. Tuboltseva, A.O. Renzyaev, 2022



Abstract.

Cereals and oilseed flours increase the nutritional value of pastry products. Their composition is different from traditional wheat flour, which means their technological properties are also different. The research objective was to study the functional and technological properties of various types of flour to develop a multicomponent powder mix formulation for functional cookies. The research included baking wheat flour of the highest grade, whole-wheat flour, corn flour, semi-skimmed flax flour, and rice flour. The flours and their multicomponent mix were tested for functional and technological properties, i.e., water-holding capacity, fat-retaining capacity, fat-emulsifying capacity, emulsion stability, etc.

These properties appeared to depend on the protein and carbohydrate composition of the flour. The water-holding capacity of the flax flour sample was 6–8 times greater than that of other types, while the fat-retaining capacity of the corn flour sample was 30% higher. Corn and flax flours demonstrated the best fat-emulsifying capacity and emulsion stability. The research resulted in a new multicomponent corn-flour-based powder mix for high-quality butter cookies.

The formulation included corn flour and vegetable oil, which increased the nutritional value of the final product and expanded the range of gluten-free cookies.

Keywords. Biscuits, corn flour, dry multicomponent mixture, functional and technological properties, formulation, nutritional value

For citation: Renzyaeva TV, Tuboltseva AS, Renzyaev AO. Various Flours in Pastry Production Technology. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):407–416. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2373>

Введение

Мучные изделия в России являются одними из наиболее востребованных продуктов, потребляемых повсеместно. Мука, являясь основным сырьем в рецептурах мучных изделий, определяет их пищевую ценность и потребительские свойства. Актуальным направлением научных исследований в области производства мучных изделий является расширение ассортимента продукции для здорового питания, в том числе за счет использования различных видов муки [1, 2]. Это связано с тем, что традиционный набор сырья для мучных изделий не соответствует требованиям сбалансированного питания и не позволяет обеспечить организм человека пищевыми ингредиентами, необходимыми для профилактики алиментарно-зависимых заболеваний. Кроме того, существует ряд заболеваний, при которых необходимо специализированное питание. Например, целиакия,

которая является хроническим заболеванием, при котором пища, содержащая белковый компонент пшеницы, ржи и ячменя (глютен), повреждает слизистую оболочку тонкого кишечника и нарушает всасывание питательных веществ. При этом заболевании необходимо ограничить либо полностью исключить потребление глютенсодержащих продуктов. Однако на российском рынке большинство безглютеновых продуктов импортные. Это ограничивает доступ к ним широкого слоя населения, особенно малообеспеченных, которые нуждаются в улучшении структуры питания. В связи с этим возникает потребность в использовании для производства мучных изделий различных видов муки и изучении их свойств для прогнозирования поведения в технологических процессах (Приказ Министерства здравоохранения РФ от 15.01.2020 № 8) [3].

При приготовлении мучных кондитерских изделий, в том числе печенья, широкое распространение получили сухие многокомпонентные смеси сырьевых компонентов. Их применение позволяет упростить технологический процесс, сократить его продолжительность и обеспечить стабильное качество продукции. В составе сухих многокомпонентных смесей присутствует большое число рецептурных компонентов в виде порошков с небольшой влажностью. Поэтому они не требуют специальных условий хранения и имеют длительные сроки годности в сравнении с традиционными рецептурными компонентами с высокой влажностью, такими как куриное яйцо, меланж, молоко коровье и др. [4].

Основным и традиционным компонентом рецептур мучных кондитерских изделий является пшеничная мука, которая играет главную роль в процессах формирования реологических свойств теста и текстуры готовых изделий. В результате различных технологических воздействий на крахмал и белки пшеничной муки получают большое разнообразие видов теста и мучных изделий. Белки хлебопекарной пшеничной муки образуют клейковину при набухании в процессе замеса теста. Однако сортовая пшеничная мука является рафинированным и плохо сбалансированным по пищевым веществам продуктом. Она характеризуется высоким содержанием крахмала (до 70 %), небольшим содержанием белка (10–13 %) и малым количеством витаминов, микро- и макроэлементов, пищевых волокон.

В состав мучных кондитерских изделий входит от 5 до 40 % жира, который содержит большое количество таких критически значимых для здоровья веществ, как насыщенные жирные кислоты и трансизомеры жирных кислот. В этой связи мучные кондитерские изделия не рекомендуются диетологами при составлении рационов для здорового питания [5, 6].

В последние годы промышленностью вырабатывается широкий ассортимент муки различных видов, в том числе цельнозерновая пшеничная, кукурузная, гречневая, нутовая, амарантовая, льняная и др. Они имеют более разнообразный набор пищевых ингредиентов и при внесении в рецептуры мучных кондитерских изделий способствуют повышению пищевой ценности. Однако использование муки, белки которой не способны образовывать клейковину, не обеспечивает формирование необходимых свойств теста и требует применение специальных технологических приемов и добавок. Поэтому в рецептурах мучных изделий используется частичная замена пшеничной муки другими видами.

В связи с возросшей популярностью продуктов для здорового питания и специализированных продуктов увеличилось число научных работ, посвященных разработке рецептур и технологий мучных изделий с направленным изменением состава с целью его корректировки в сторону повышения пищевой

ценности. Основным направлением модификации рецептур печенья является использование различных видов муки и рецептурных компонентов, позволяющих обогатить его физиологически функциональными ингредиентами. При разработке рецептур и технологий печенья с использованием разных видов муки, наряду с повышением пищевой ценности, необходимо учитывать свойства основных сырьевых компонентов и использовать технологические приемы, позволяющие формировать тесто с нужными реологическими свойствами, которое обеспечивает нужную текстуру и качество готовых изделий [7–13].

Предложены способы производства печенья на основе многокомпонентных безглютеновых смесей с использованием рисовой, кукурузной и амарантовой муки, яблочного, тыквенного, свекольного, морковного и клюквенного порошков, поливитаминной добавки «Веторон-Е», агара, альгината натрия, натрий-карбоксиметилцеллюлозы, сухой молочной сыворотки и др. Недостатками этих способов приготовления печенья являются использование твердых жиров с высоким содержанием насыщенных жирных кислот и холестерина, а также куриных яиц, для которых требуются специальные условия хранения и подготовки перед пуском в производство [14–16].

Разработан способ производства сдобного печенья с поэтапным замесом теста. На начальном этапе готовят функциональную добавку, представляющую смесь пищевых волокон и кедрового жмыха в расплавленном маргарине с сахаром, патокой и ароматизатором. На следующем этапе осуществляют «заваривание» овсяной муки горячей водой с температурой 60–65 °С, после чего замешивают тесто. Недостатком этого способа является использование в рецептуре маргарина, имеющего ограничения применения в составе продуктов для здорового питания, вызванные присутствием трансизомеров жирных кислот. Способ требует дозирования и внесения большого числа рецептурных компонентов поэтапно, что усложняет технологический процесс [17].

Известен способ производства овсяного печенья, который включает приготовление белок-полисахаридной смеси из агара, альгината натрия, натрий-карбоксиметилцеллюлозы и сухой молочной сыворотки. Затем смесь «заваривают» горячей водой температурой 60–90 °С с последующим перемешиванием и набуханием в течение 40–60 мин. Набухшая смесь подвергается интенсивному перемешиванию при введении жидкого растительного масла для получения эмульсии, в которую вносят вкусо-ароматические добавки: изюм, повидло, патока, корица, сахарозаменители изомальтит, сорбит и ксилит. В полученную смесь вносят овсяную и рисовую муку, смесь из кукурузного и картофельного крахмала, соль, разрыхлитель и замешивают тесто, которое формуют, выпекают,

охлаждают и упаковывают. Недостатком данного способа является его сложность и длительность [18].

Предложен способ приготовления заварного полуфабриката из безглютенового сырья, приготовление которого предусматривает «заваривание» кипящей водой смеси рисовой и кукурузной муки, кукурузного крахмала, внесение сливочного масла и соли при перемешивании, последующее охлаждение заваренной смеси и внесение меланжа, перемешивание, формование, выпечку, охлаждение и упаковывание [19].

Рассмотренные способы приготовления печенья предлагают не только использование разнообразных видов муки и другого сырья, но и технологических приемов, позволяющих получать тесто с реологическими свойствами, обеспечивающими получение готовых изделий хорошего качества. Состав сырья и технология, используемые для приготовления теста, определяют не только пищевую ценность, но и текстуру и органолептические характеристики готовых изделий. В процессах формирования такой сложной пищевой системы, как тесто, различные виды сырья выполняют разнообразные технологические функции. В связи с этим возникает потребность установления функционально-технологических свойств сырьевых компонентов, позволяющих прогнозировать их поведение в технологических процессах и влияние на формирование потребительских характеристик готовых изделий.

Целью работы является разработка рецептуры сухой многокомпонентной смеси для печенья на основе изучения состава и функционально-технологических свойств муки различных видов.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись следующие сырьевые компоненты: хлебопекарная пшеничная мука высшего сорта ГОСТ 26574-2017, кукурузная мука ТУ 9293-002-43175543-03, цельнозерновая (пшеничная хлебопекарная обойная) мука ГОСТ 26574-2017, льняная полуобезжиренная мука СТО 10.41.42-004-05930330-2018, рисовая мука ТУ 9293-002-43175543-03.

У разных видов муки и сухой многокомпонентной смеси изучались показатели, характеризующие функционально-технологические свойства, проявляемые в технологиях мучных изделий, %: водоудерживающая способность определялась количеством связанной и удержанной воды мукой после ее настаивания и центрифугирования водной суспензий; жируудерживающая способность – количеством жидкого растительного масла, адсорбированного и удержанного мукой после настаивания ее смеси с маслом и последующего центрифугирования; жироземлюющая способность – суспензированием муки с водой и последующим эмульгированием с жидким рас-

тительным маслом, оценивалась как отношение объема эмульсии после центрифугирования к объему общей системы; стабильность эмульсии – отношением объема эмульсии после нагревания до температуры 80 °С в течение 30 мин к ее начальному объему [20, 21].

Результаты и их обсуждение

Основными ингредиентами сырья, формирующими структуру мучных изделий, являются такие группы пищевых веществ, как белки, крахмал, некрахмальные полисахариды и другие гидроколлоиды. Они образуют тесто с необходимыми структурно-механическими свойствами, характеризующимися вязкостью, прочностью, пластичностью и упругостью [5, 21]. В качестве традиционного структурообразующего сырья в рецептурах мучных изделий используется хлебопекарная пшеничная мука, которая содержит уникальные клейковинные белки. К преимуществам нетрадиционных видов муки относится более ценный и разнообразный набор составных ингредиентов, в том числе белки с высоким уровнем незаменимых аминокислот, жиры с высоким содержанием эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот, биологически активные вещества, макро- и микроэлементы, пищевые волокна и др. В рецептурах мучных кондитерских изделий пшеничную муку частично заменяют такими видами, как кукурузная, льняная, рисовая, амарантовая и др. Это позволяет повысить пищевую ценность изделий. Однако каждый вид муки содержит свой уникальный набор белков и углеводов, влияющих на формирование свойств теста и качество готовых изделий.

Состав белков и углеводов различных видов муки отличается, что обуславливает разные технологические свойства. В технологическом плане решение задачи получения устойчивой структуры пищевой системы мучных изделий сводится к поиску оптимального соотношения структурообразующих компонентов и условий ее формирования. Фракционный состав белков и углеводов исследуемых видов муки по данным разных источников представлен в таблице 1 [10, 20–22].

При разработке рецептуры мучных изделий должна учитываться возможность получения сбалансированной системы не только по пищевой ценности, но и структурно-механическим свойствам. Функционально-технологические свойства используемой муки оказывают влияние на формирование реологических свойств теста и текстуру готовых изделий. Для создания нужной структуры теста важно иметь возможность прогнозировать поведение рецептурных компонентов при их взаимодействии с водой и жировыми продуктами на стадии замеса, а также в процессе выпечки изделий. Технологические свойства нетрадиционных видов

Таблица 1. Фракционный состав белков и углеводов муки различных видов (в расчете 100 г продукта)

Table 1. Fractional composition of proteins and carbohydrates of various flours, per 100 g

Наименование пищевых веществ	Вид муки				
	Пшеничная высшего и первого сортов	Пшеничная обойная (цельнозерновая)	Кукурузная	Льняная полужирная	Рисовая
Массовая доля белков, г в т. ч. фракции, % от массы белков	10,3–10,8	11,1	7,2–12,0	32,7–36,0	7,4
Альбумины	19,5–22,5		Следы	19,4–45,3	5,8
Глобулины	3,5–7,0		5,0–6,0	15,2–28,9	9,2
Глютелины	28,2–35,6		35,0–40,0	11,6–28,9	70,0
Проламины	35,6		50,0–55,0	6,3–16,7	14,0
Массовая доля углеводов, г в т. ч.	69,9–70,6	67,8–69,0	72,1	9,0–10,0	80,2
Моно- и дисахариды	1,0	1,2	1,3	2,1–13,2	0,7
Крахмал	67,9	66,1	70,6	9,1–10,7	79,1
Пищевые волокна	3,4–3,5	4,4–4,9	4,4	29,03–32,2	2,3

муки обусловлены составом и свойствами составных ингредиентов. Это необходимо учитывать при включении их в рецептуры мучных изделий.

Функционально-технологические свойства характеризуют способность сырьевых компонентов связывать и удерживать воду и масло, а также эмульгировать и стабилизировать пищевые системы на разных стадиях технологического процесса. Результаты определения водоудерживающей, жирудерживающей и жироземульгирующей способностей и стабильности эмульсии представлены на рисунке 1.

Как следует из диаграммы на рисунке 1а, рисовая, кукурузная и пшеничная цельнозерновая мука имеют незначительно отличающуюся от пшеничной муки высшего сорта водоудерживающую способность. Ее значения у этих видов муки коррелирует с близкими значениями содержания белка и пищевых волокон (табл. 1). Водоудерживающая способность обусловлена взаимодействием молекул воды с гидрофильными группами белков и углеводов в составе муки. Наибольшие значения водоудерживающей способности, превышающие аналогичный показатель других видов в 6–8 раз, наблюдаются у льняной муки, которая содержит значительные количества гидроколлоидов. Высокая водоудерживающая способность муки влияет на формирование структуры теста, способствует увеличению выхода и продлению сроков хранения изделий [20, 21].

Жирудерживающая способность обеспечивается как связыванием жира гидрофобными группами в составе муки, так и адсорбцией поверхности твердых частиц. Высокая жирудерживающая способность сырья влияет на текстуру изделий, предотвращает миграцию жира и уменьшает потери при термообработке. Ее значения (рис. 1б) у исследуемых видов муки зависят не только от содержания в них

белка и пищевых волокон, но и от адсорбции жира твердыми частицами, которые имеют различный размер и твердость. Большая жирудерживающая способность (на 30 %) наблюдалась у кукурузной муки, частицы которой обладают большей твердостью [23, 24].

Эмульгирующие свойства и агрегативную устойчивость пищевых систем обеспечивает одновременное присутствие гидрофильных и гидрофобных групп. Это характерно для белков и полисахаридов, присутствующих в молекулах сырья. Высокие значения жироземульгирующей способности льняной и кукурузной муки могут быть обусловлены как адсорбцией жира твердыми частицами муки, так и количеством и составом белков и пищевых волокон, которые способны эмульгировать жиры и стабилизировать систему в процессе термообработки (рис. 1с и d). Высокие значения показателей водоудерживающей и жироземульгирующей способностей, а также стабильности эмульсии у льняной муки могут объясняться повышенным содержанием белков и пищевых волокон, в том числе растворимой фракции, состоящей из гемицеллюлозы и сложных смесей гетерополисахаридов (слизей). Кукурузная мука содержит плохо растворимые в воде белки (табл. 1), не образующие клейковины, но способные образовывать устойчивые гели. Это объясняет высокие значения жирудерживающей и жироземульгирующей способностей [7, 10, 20, 21].

Таким образом, разные виды муки могут выполнять важные функции в технологии, где могут использоваться для связывания и удержания воды и масла, эмульгирования и стабилизации пищевых систем. При разработке рецептуры печенья с использованием жидкого растительного масла целесообразно использовать сырьевые компоненты, обладающие высокими показателями

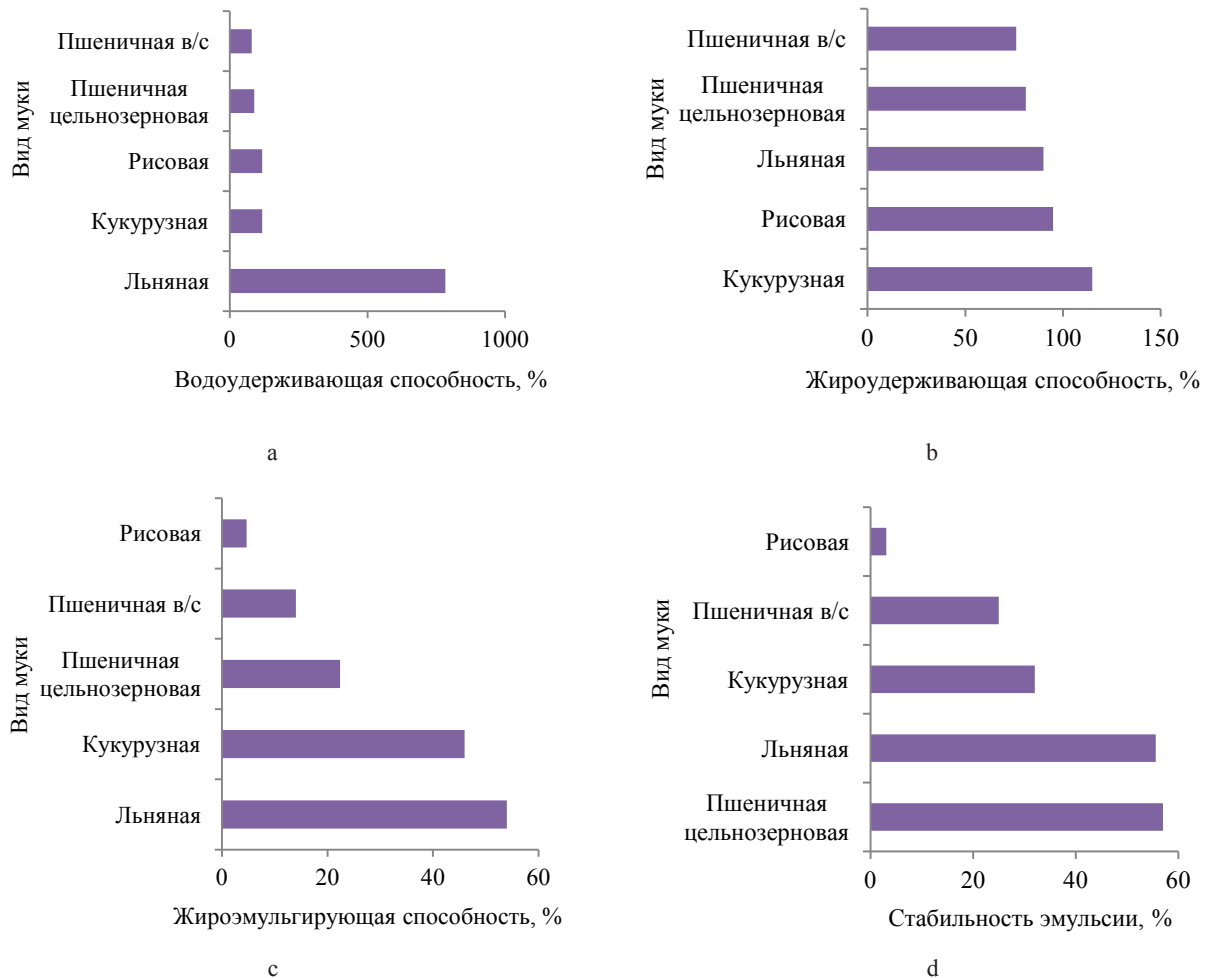


Рисунок 1. Функционально-технологические свойства различных видов муки: а – водоудерживающая способность; б – жироудерживающая способность; с – жироэмульгирующая способность; д – стабильность эмульсии

Figure 1. Functional and technological properties of various types of flour: a – water-holding capacity; b – fat-retaining capacity; c – fat-emulsifying ability; d – emulsion stability

жироудерживающей и жироэмульгирующей способностей, а также стабильности эмульсии [25]. Этим требованиям отвечают кукурузная и льняная мука. Исходя из таких органолептических показателей, как цвет, вкус и запах, в дальнейших исследованиях использовалась кукурузная мука.

На основе проведенных исследований разработана рецептура сухой многокомпонентной смеси для сдобного печенья, которая имеет следующий состав: кукурузная мука, сахарная пудра, сухое обезжиренное молоко, яичный порошок, глюкоза, ванилин, химические разрыхлители и цитрусовые пищевые волокна. Введение в состав сухой многокомпонентной смеси таких видов сырья, как сухое обезжиренное молоко, яичный порошок и пищевые волокна, имеющих высокие значения показателей жироудерживающей и жироэмульгирующей способностей, а также ста-

бильности эмульсии, обосновано их способностью адсорбировать, связывать, эмульгировать и удерживать жидкое растительное масло тестом и печением [25]. Глюкоза вводилась в состав сухой многокомпонентной смеси для интенсификации реакции меланоидинообразования на стадии выпечки с целью придания изделиям лучших органолептических характеристик. Функционально-технологические свойства данной сухой многокомпонентной смеси в сравнении с мукой пшеничной высшего сорта, а также со смесью муки пшеничной высшего сорта с сахарной пудрой представлены на рисунке 2.

Результаты, представленные на рисунке 2, свидетельствуют о больших значениях жироудерживающей и жироэмульгирующей способностей для сухой многокомпонентной смеси на основе кукурузной муки в сравнении со смесью пшеничной муки высшего сорта и сахарной пудры. Это

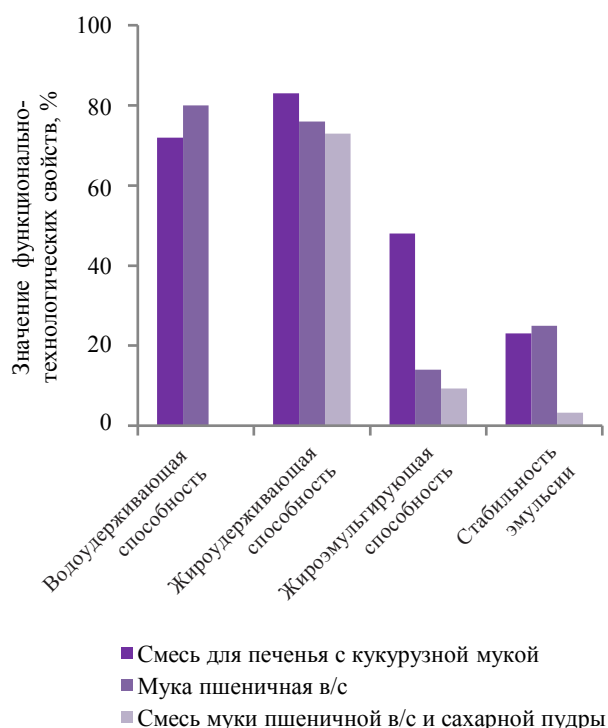


Рисунок 2. Функционально-технологические свойства сухой многокомпонентной смеси для сдобного печенья

Figure 2. Functional and technological properties of a multicomponent powder mix for butter cookies

объясняется наличием в составе разработанной сухой многокомпонентной смеси для печенья компонентов, способных связывать жидкое растительное масло и образовывать эмульсию. Смесь пшеничной муки высшего сорта и сахарной пудры использовалась для оценки влияния сахара на функционально-технологические свойства пшеничной муки. Как следует из диаграммы на рисунке 2, присутствие сахара в смеси мало влияет на жироудерживающую способность пшеничной муки, но снижает показатели жироэмульгирующей способности и стабильности эмульсии за счет влияния на процессы набухания белка и формирования клейковины, формирующей и стабилизирующей структуру теста. Сухая многокомпонентная смесь с кукурузной мукой обладала лучшими функционально-технологическими свойствами по сумме показателей жироудерживающей и жироэмульгирующей способностей, а также стабильности эмульсии. Это позволяет использовать в качестве жирового компонента жидкое растительное масло при замесе теста на основе кукурузной муки.

Основная массовая доля в составе сухой многокомпонентной смеси для приготовления сдобного печенья приходится на кукурузную муку, которая отличается от пшеничной более сбалансированным составом жиров, белков и углеводов, содержит больше клетчатки, β -каротина,

витаминов B_1 , B_2 , C, PP, E, калия, кальция, магния, фосфора, железа и кобальта [22]. Поскольку кукурузная мука имеет твердые частицы и ее белки не образуют клейковину, то для обеспечения требуемого качества теста и печенья из сухой многокомпонентной смеси с кукурузной мукой предложен способ приготовления теста «завариванием» горячей водой. Такой технологический прием способствует получению теста с нужными реологическими свойствами, при которых тестовые заготовки после формования сохраняют форму и удерживают ее при выпечке за счет клейстеризации крахмала и денатурации белковых веществ сырья.

В рецептуре печенья на основе сухой многокомпонентной смеси с кукурузной мукой в качестве жирового компонента использовалось жидкое растительное масло. Это способствует повышению пищевой ценности и безопасности. Жидкие растительные масла имеют высокую пищевую ценность, которая обусловлена содержанием эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот, токоферолов, фосфолипидов и каротиноидов. Безопасность печенья с жидким растительным маслом, в отличие от печенья с использованием твердых жиров, возрастает за счет небольшого содержания насыщенных жирных кислот и отсутствия трансизомеров. К преимуществам жидких растительных масел также можно отнести длительные сроки годности, невысокую стоимость, технологичность при хранении, транспортировании и дозировании. В рецептуре печенья на основе разработанной сухой многокомпонентной смеси с кукурузной мукой использовалось рапсовое рафинированное дезодорированное масло отечественного производства. Оно доступно, имеет сравнительно невысокую стоимость, содержит высокое количество полиненасыщенных жирных кислот, в том числе незаменимой α -линоленовой жирной кислоты семейства омега-3.

По результатам проведенных исследований получен патент на способ производства печенья и многокомпонентную смесь для его изготовления [26]. Для связывания и удержания жидкого растительного масла на начальной стадии замеса теста смешиваются разработанная сухая многокомпонентная смесь и масло. Это позволяет обеспечить лучшую доступность гидрофобных групп сырьевых компонентов сухой многокомпонентной смеси для взаимодействия с маслом. Для получения теста с необходимыми для формования реологическими характеристиками применяется технологический прием «заваривания» рецептурной смеси горячей водой, при котором структура теста формируется за счет процессов клейстеризации крахмала и денатурации белков. Приготовление печенья из сухой многокомпонентной смеси на основе кукурузной муки с использованием жидкого растительного масла осуществляется по

следующей технологии: разработанную сухую многокомпонентную смесь на основе кукурузной муки смешивают с рапсовым рафинированным дезодорированным маслом, «заваривают» горячей водой с температурой 90–100 °С при перемешивании, затем тесто охлаждают до температуры 35 ± 5 °С, вносят химические разрыхлители, ванилин и замешивают тесто, из которого формуют отсадкой тестовые заготовки, выпекают в течение 6–10 мин при температуре 210–220 °С, охлаждают и упаковывают. Полученное предложенным способом тесто из сухой многокомпонентной смеси и рапсового масла имело мягкую пластичную консистенцию и легко формовалось отсадкой. Сформованные тестовые заготовки хорошо сохраняли форму, не расплывались, а готовые изделия имели рельефный рисунок с четкими гранями. Печенье, приготовленное предложенным способом, отвечало нормируемым требованиям, имело высокий показатель намокаемости, хорошо развитую пористость и невысокую плотность.

Выводы

На основе исследования функционально-технологических свойств различных видов муки разработана рецептура сухой многокомпонентной смеси с кукурузной мукой и предложена технология приготовления сдобного печенья на ее основе с использованием жидкого растительного масла. По результатам проведенной работы получен патент на способ производства печенья и многокомпонентной смеси для его изготовления. Использование сухой многокомпонентной смеси позволит упростить технологический процесс приготовления печенья и стабилизировать его качество. Предложенные технологические решения позволяют получить

печенье, отвечающее нормируемым требованиям, а также повысить его пищевую ценность за счет использования рапсового масла, кукурузной муки, сухого обезжиренного молока и препарата пищевых волокон. Кроме того, использование кукурузной муки и рапсового масла позволяет получать печенье без глютена с пониженным содержанием насыщенных жирных кислот и трансизомеров. Полученные результаты позволят расширить ассортимент печенья для специализированного и здорового питания.

Критерии авторства

Т. В. Рензяева – руководство исследованием, написание рукописи. А. С. Тубольцева – проведение эксперимента, обработка и анализ полученных данных, литературный обзор и редактирование рукописи. А. О. Рензяев – участие в обработке данных и написании текста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

T.V. Renzyaeva supervised the research and wrote the manuscript. A.S. Tuboltseva conducted the experiment, processed and analyzed the data, reviewed scientific publications, and edited the manuscript. A.O. Renzyaev processed the data and wrote the text.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Momin MA, Jubayer MF, Begum AA, Nupur AH, Ranganathan TV, Mazumder MAR. Substituting wheat flour with okara flour in biscuit production. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):422–428. doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-422-428
2. Kandrov RH, Pankratov GN, Meleshkina EP, Vitol IS, Tulyakov DG. Effective technological scheme for processing triticale (*Triticosecale* L.) grain into graded flour. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(1):107–117. doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-107-117
3. Romanova NN, Kochetov VK, Ageeva NV. Expansion of the raw material range of functional confectionery products. *Confectionery and Baking Industry*. 2019;184(11–12):30–33. (In Russ.).
4. Романова Н. Н., Кочетов В. К., Агеева Н. В. Расширение сырьевой базы для производства функциональных кондитерских изделий // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2019. Т. 184. № 11–12. С. 30–33.
5. Nevskaya EV, Tyurina IA, Tyurina OE, Shulbaeva MT, Potapova MN, Golovacheva YaS. Healthy bakery composite mixes. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(4):531–544. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-531-544>
6. Savenkova TV, Soldatova EA, Misteneva SYu, Taleisnik MA. Technological properties of flour and their effect on quality indicators of sugar cookies. *Food Systems*. 2019;2(2):13–19. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-13-19>

6. Dolganyuk V, Andreeva A, Budenkova E, Sukhikh S, Babich O, Ivanova S, *et al.* Study of morphological features and determination of the fatty acid composition of the microalgae lipid complex. *Biomolecules*. 2020;10(11). <https://doi.org/10.3390/biom10111571>

7. Feofilaktova OV, Ponomarev AS. Technological property research of the alternative flour types while food producing in catering in catering. *Food Industry*. 2019;4(2):28–34. (In Russ.). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2019-4-2-4>

8. Aobosova LA, Nesterova IYu. Buckwheat flour in cake production. *Confectionery and Baking Industry*. 2019;183(9–10):36–38. (In Russ.).

Аобосова Л. А., Нестерова И. Ю. Гречневая мука при производстве кексов // Кондитерское и хлебопекарное производство. 2019. Т. 183. № 9–10. С. 36–38.

9. Yildiz E, Şumnu SG, Şahin S. Effects of buckwheat flour, gums and proteins on rheological properties of gluten-free batters and structure of cakes. *Quality Assurance and Safety of Crops and Foods*. 2018;10(3):245–254. <https://doi.org/10.3920/QAS2017.1221>

10. Koneva SI, Egorova EYu, Kozubaeva LA, Reznichenko IYu. The effect of flaxseed flour on the rheological properties of dough made of flaxseed and wheat flour and bread quality. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2019;49(1):85–96. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-85-96>

11. Alekhina NN, Ponomareva EI, Zharkova IM, Grebenshchikov AV. Assessment of functional properties and safety indicators of amaranth flour grain bread. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(2):323–332. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>

12. Hopkin L, Broadbent H, Ahlborn GJ. Influence of almond and coconut flours on Ketogenic, Gluten-Free cupcakes. *Food Chemistry: X*. 2022;13. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100182>

13. Aleman RS, Paz G, Morris A, Prinyawiwatkul W, Moncada M, King JM. High protein brown rice flour, tapioca starch & potato starch in the development of gluten-free cupcakes. *LWT*. 2021;152. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112326>

14. Urubkov SA, Khovanskaya SS, Smirnov SO, Pyreva EA, Georgieva OV, Dremina NV. Gluten-free dry mixture using rice and amaranth flour and vegetable and berry powders and a cookie production method. *Russia patent RU 2731578C1*. 2020.

Безглютеновая сухая смесь с использованием рисовой и амарантовой муки и плодовоовощных и ягодных порошков и способ производства печенья: пат. 2731578C1 Рос. Федерация. № 2019141243 / Урубков С. А. [и др.]; заявл. 13.12.2019; опубл. 04.09.2020, Бюл. № 25. 11 с.

15. Chugunova OV, Lejberova NV. Method for production of “Veselye zvezdochki” gluten-free sugar cookie. *Russia patent RU 2466541C1*. 2012.

Способ производства безглютенового сахарного печенья «Веселые звездочки»: пат. 2466541C1 Рос. Федерация. № 2011125436/13 / Чугунова О. В., Лейберова Н. В.; заявл. 20.06.2011; опубл. 20.11.2012, Бюл. № 32. 6 с.

16. Nikitin IA, Kulakov VG, Korovina ES, Zajchik BTs, Chubarova EG, Orlik GI, *et al.* Gluten-free biscuit production method. *Russia patent RU 2641528C1*. 2018.

Способ производства безглютенового печенья: пат. 2641528C1 Рос. Федерация. № 2017100990 / Никитин И. А. [и др.]; заявл. 12.01.2017; опубл. 18.01.2018, Бюл. № 2. 7 с.

17. Tarasenko NA, Nikonovich YuN, Minasueva AA. Shortbread production method. *Russia patent RU 2632953C1*. 2017.

Способ производства песочного печенья: пат. 2632953C1 Рос. Федерация. № 2016147290 / Тарасенко Н. А., Никонович Ю. Н., Минасуева А. А.; заявл. 01.12.2016; опубл. 11.10.2017, Бюл. № 29. 9 с.

18. Vaskina VA, Babaeva DS, Dvoeglazova AA, Sokolova ND, Dubtsova GN, Mukhamediev SA, *et al.* Butter oatmeal biscuit on vegetable oils and milk whey. *Russia patent RU 2723961C1*. 2020.

Сдобное овсяное печенье на растительных маслах и молочной сыворотке: пат. 2723961C1 Рос. Федерация. № 2019145029 / Васькина В. А. [и др.]; заявл. 30.12.2019; опубл. 18.06.2020, Бюл. № 17. 9 с.

19. Sadygova MK, Fzrtidinova LT, Gasimova GA. Method for preparation of gluten-free choux pastry semi-product. *Russia patent RU 2731283C1*. 202.

Способ приготовления безглютенового заварного полуфабриката: пат. 2731283C1 Рос. Федерация. № 2019136941 / Садьгова М. К., Фзрtdинова Л. Т., Гасимова Г. А.; заявл. 18.11.2019; опубл. 01.09.2020, Бюл. № 25. 6 с.

20. Kolpakova VV, Lukin DN, Chumikina LV, Shevyakova LV. Chemical composition and functional properties of rice protein concentrates. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2015;66(4):120–124. (In Russ.).

Химический состав и функциональные свойства рисовых белковых концентратов / В. В. Колпакова [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2015. Т. 66. № 4. С. 120–124.

21. Kolpakova VV, Kovalenok VA. Relationship of the functional properties of dry wheat gluten with amino acid composition and its quality indicators. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2019;81(1):173–180. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-173-180>

22. Tutel'yan VA. Chemical composition and calorie profile of Russian food products. Moscow: DeLi print; 2012. 283 p. (In Russ.).

Тутельян В. А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания. М.: ДеЛи принт, 2012. 283 с.

23. 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>

24. Misteneva SYu, Savenkova TV, Demchenko EA, Shcherbakova NA, Gerasimov TV. Effect of functional and technological properties of vegetable shortenings on qualitative characteristics of biscuit. Vestnik of MSTU. 2020;23(3):268–279. (In Russ.). <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2020-23-3-268-279>

25. Renzyaeva TV, Tuboltseva AS, Ponkratova EK, Lugovaya AV, Kazantseva AV. Functional and technological properties of powdered raw materials and food additives for confectionary. Food Processing: Techniques and Technology. 2014;35(4):43–49. (In Russ.).

Функционально-технологические свойства порошкообразного сырья и пищевых добавок в производстве кондитерских изделий / Т. В. Рензяева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2014. Т. 35. № 4. С. 43–48.

26. Tuboltseva AS, Renzyaeva TV, Poznyakovskij VM. Method for the production of biscuits and multicomponent dry mix for its production. Russia patent RU 2760739C1. 2021.

Способ производства печенья и многокомпонентная сухая смесь для его изготовления: пат. 2760739C1 Рос. Федерация. № 2021109137 / Тубольцева А. С., Рензяева Т. В., Позняковский В. М.; заявл. 04.04.2021; опубл. 30.11.2021, Бюл. № 34. 7 с.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2374>
<https://elibrary.ru/WCQACN>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Биологическая ценность белка папоротника (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn)



Д. А. Черемных^{1,*}, Г. А. Губаненко¹,
Е. А. Речкина², Л. А. Маюрникова³, Н. Ю. Теплюк¹

¹ Сибирский федеральный университет^{ROR}, Красноярск, Россия

² Красноярский государственный аграрный университет^{ROR}, Красноярск, Россия

³ Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 21.03.2022

Принята после рецензирования: 28.04.2022

Принята в печать: 15.06.2022

*Д. А. Черемных: darya.cheremnykh.94@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0001-5421-8791>

Г. А. Губаненко: <https://orcid.org/0000-0002-3049-0835>

Е. А. Речкина: <https://orcid.org/0000-0002-8045-9529>

Л. А. Маюрникова: <https://orcid.org/0000-0003-4592-8382>

Н. Ю. Теплюк: <https://orcid.org/0000-0002-2242-5590>

© Д. А. Черемных, Г. А. Губаненко, Е. А. Речкина,
Л. А. Маюрникова, Н. Ю. Теплюк, 2022



Аннотация.

Поиск новых источников полноценного белка решает актуальную проблему дефицита белковой составляющей в рационе питания человека. Одним из нетрадиционных источников может стать папоротник, богатый белком. Целью работы является изучение биологической ценности белка папоротника орляка обыкновенного (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), произрастающего на территории Красноярского края.

Объектом исследования являлся папоротник орляка обыкновенный (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), собранный в мае 2021 г. в Козульском, Курагинском и Шушенском районах Красноярского края. Содержание белка определяли спектрофотометрическим методом, аминокислотный состав – хроматографическим методом.

Содержание белка в папоротнике составило от 24 до 27 % на абсолютно сухое сырье. Во всех образцах идентифицировано 15 аминокислот, из них 7 незаменимых, среди которых доминирует фенилаланин+тирозин – до 2,17 г/100 г белка. Скор всех незаменимых аминокислот составил больше 100 %. Метионин+цистин в белках папоротника является лимитирующей аминокислотой. Среди заменимых аминокислот по содержанию доминирует глутамин – 4,98 г/100 г белка. Среди 15 идентифицированных аминокислот 12 представители различных классов алифатических, 1 – ароматическая и 2 – гетероциклических. По биологической ценности белок папоротника, собранный в Курагинском районе, превосходит образцы Козульского и Шушенского районов, т. к. имеет меньшее значение коэффициента различия аминокислотного состава (78) и наибольшее значение коэффициента утилитарности аминокислотного состава (0,55). Индекс незаменимых аминокислот для всех образцов свежего папоротника составил от 1,04 до 1,1. Это свидетельствует о большем значении суммы незаменимых аминокислот, чем в эталонном белке.

Изученный качественный и количественный состав аминокислот папоротника орляка обыкновенного, произрастающего на территории Красноярского края, позволяет говорить о возможности его дальнейшего применения в производстве отечественной пищевой продукции в качестве дополнительного источника белка в рационе человека.

Ключевые слова. Растительное сырье, папоротник, растительный белок, аминокислотный состав, биологическая ценность

Финансирование. Работа выполнена на кафедре технологии и организации общественного питания института торговли и сферы услуг Сибирского федерального университета (СФУ)^{ROR}, а также на базе аналитической лаборатории Института биофизики СО РАН.

Для цитирования: Биологическая ценность белка папоротника (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) / Д. А. Черемных [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 2. С. 417–425. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2374>

Biological Protein Value of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn

Daria A. Cheremnykh^{1,*}, Galina A. Gubanenko¹, Ekaterina A. Rechkina²,
Larisa A. Mayurnikova³, Nadezhda Yu. Teplyuk¹

¹ Siberian Federal University^{ROR}, Krasnoyarsk, Russia

² Krasnoyarsk State Agrarian University^{ROR}, Krasnoyarsk, Russia

³ Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: 21.03.2022
Revised: 28.04.2022
Accepted: 15.06.2022

* Daria A. Cheremnykh: darya.cheremnykh.94@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5421-8791>
Galina A. Gubanenko: <https://orcid.org/0000-0002-3049-0835>
Ekaterina A. Rechkina: <https://orcid.org/0000-0002-8045-9529>
Larisa A. Mayurnikova: <https://orcid.org/0000-0003-4592-8382>
Nadezhda Yu. Teplyuk: <https://orcid.org/0000-0002-2242-5590>

© D.A. Cheremnykh, G.A. Gubanenko, E.A. Rechkina,
L.A. Mayurnikova, N.Yu. Teplyuk, 2022



Abstract.

Contemporary human diet is poor in proteins. Therefore, the modern food science should find new sources of high-grade protein. The bracken fern is rich in proteins can be an unconventional solution to this problem. The research objective was to study the protein contents of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, which grows on the territory of the Krasnoyarsk Region. The study featured *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn harvested in several districts of the Kozulka, Kuragino and Shushenskoye districts Krasnoyarsk Region in May 2021. Spectrophotometry and chromatography were used to assess the proteins and amino acids, respectively.

The protein content in the dried fern samples ranged from 24 to 27%. All the samples contained fifteen amino acids, including seven essential ones, mostly represented by phenylalanine+tyrosine (2.17 g/100 g of protein). Glutamine was the dominating essential amino acid (4.98 g/100 g of protein). The score of all the essential amino acids was more than 100%. The limiting amino acid was represented by methionine+cystine. From the total of fifteen amino acids, twelve belonged to various classes of aliphatic amino acids, one – to aromatic amino acids, and two – to heterocyclic amino acids. In terms of biological value, the samples collected in the Kuragino district surpassed those from the Kozulka and Shushenskoye districts because they had a lower value of amino acid score difference coefficient (78) and the highest value of coefficient of amino acid utility (0.55). The index of essential amino acids for all the fresh fern samples ranged from 1.04 to 1.1, which indicates a greater value of the total of essential amino acids than in the reference protein.

The qualitative and quantitative composition of amino acids of the bracken fern in the Krasnoyarsk Region showed that it can be used in food industry as an additional source of protein.

Keywords. Plant raw materials, bracken, vegetable protein, amino acid composition, vegetable raw materials, biological value

Funding. The work was carried out on the basis of the Department of Technology and Catering Organization of the Trade and Economic Institute of the Siberian Federal University (SibFU)^{ROR}, as well as on the basis of the analytical laboratory of the Institute of Biophysics SB RAS.

For citation: Cheremnykh DA, Gubanenko GA, Rechkina EA, Mayurnikova LA, Teplyuk NYu. Biological Protein Value of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(2):417–425. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2374>

Введение

Актуальной современной проблемой в питании является белковая недостаточность, свидетельствующая о целесообразности расширения возможности использования в рационе человека

растительного белка наряду с белками животного происхождения [1, 2].

В последнее десятилетие наблюдается тенденция проведения исследований, направленных на сравнительный анализ ценности животных и

растительных белков. В результате этого сформировался новый мировой тренд – снижение уровня употребления мяса. В работах ряда авторов представлены результаты исследований, подтверждающие, что рацион, богатый животным белком с низким содержанием клетчатки, увеличивает риск сердечно-сосудистых заболеваний из-за их неблагоприятного воздействия на липиды крови и артериальное давление [1–5]. Авторы утверждают, что увеличение потребления белков, особенно белков растительного происхождения, положительно влияет на здоровье человека [4].

Наблюдается смещение приоритетов в сторону использования растительных и альтернативных источников белка, способных изменить структуру питания человека и производство отдельных видов пищевой продукции. Поэтому пищевые растения рассматриваются как источники не только витаминов и углеводов, но и белка с высокой биологической ценностью, которая определяется количественным и качественным составом аминокислот.

В растениях за счет их ферментных систем накапливаются практически все аминокислоты, тогда как способность к синтезу незаменимых аминокислот утратили и животные, и человек [6]. Природные аминокислоты имеют более высокую физиологическую активность, по сравнению с синтетическими аналогами, т. к. в растительном сырье они находятся в легко усваиваемых человеческим организмом комплексах и в биологически доступных концентрациях [6–8].

Аминокислоты обладают широким спектром биологической активности. Лизин, треонин, фенилаланин, тирозин, аспарагин, глутамин, глицин, серин и аргинин служат исходными аминокислотами для синтеза антител, гормонов, ферментов и других веществ. Они участвуют в метаболизме сахаров и органических кислот (аланин), способствуют снижению уровня холестерина в крови (метионин, триптофан, лизин, аргинин), выведению тяжелых металлов из организма (метионин, цистеин), росту и восстановлению тканей (гистидин, изолейцин, лейцин, глицин, серин, пролин) [9]. При недостатке аминокислот замедляются многие жизненно важные процессы в организме. Кроме того, аминокислоты являются биогенетическими предшественниками большинства биологически активных веществ – флавоноидов и алкалоидов – и придают им легкоусвояемую форму с одновременным синергизмом их фармакологического действия [10].

В перечне растительного сырья интерес представляет папоротник рода Орляк (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn) – пищевое, многолетнее и зимостойкое растение, которое предпочитает бедные почвы и не страдает от засухи. Произрастает в разных типах леса. Однако для обильного распространения характерны светлые леса с соснами, березами, лиственными

деревьями и т. п. За счет своего двойного варианта размножения (вегетативного и спорового) папоротник легко разрастается на местах вырубki, а также населяет заросли на месте лесных пожаров.

В России папоротник растет в европейской части, на Урале, в Сибири (за исключением арктических территорий) и на Дальнем Востоке. Оценить биологические и эксплуатационные запасы невозможно, т. к. в национальном атласе России представлены данные по биологическим запасам только ягод, грибов и орехов. В литературе и в официальных статистических отчетах Росстата и Красстата отсутствует информация о сборе недревесных лесных ресурсах, в том числе папоротника.

В пищевых целях используют молодые надземные органы (вайи) папоротника на определенной стадии развития до начала разворачивания листовой пластинки. Установлено, что оптимальными для промышленной заготовки является 3 (устранение изгиба) и 4 (шильце) этапы, допускается сбор на 5 этапе (тойничок), но до раскрытия листа. Сезон сбора папоротника орляка – с конца апреля до середины июня – зависит от погодных условий и территориальной расположенности. Согласно правилам заготовки пищевых лесных ресурсов и сбора лекарственных растений промышленный сбор на одном участке допускается 1 раз в течение 3–4 лет.

Потребительские характеристики папоротника обуславливают его широкое кулинарное использование при приготовлении салатов, закусок, приправ и т. д. [11]. В пищу традиционно используют вайи, но известны примеры применения корневища растения в печеном виде или для приготовления муки [12]. В странах Азии папоротник является изысканным деликатесом и население употребляет его в пищу в жареном, тушеном, запеченном и вареном виде. В каждой стране есть свои рецепты и способы использования этого растения. В Японии папоротник орляк имеет название «Вараби» и популярен среди буддистов и вегетарианцев. Из рахисов (побегов) готовят холодное блюдо цукудани, варабимоти и салат гома-аз. В Китае орляк принято называть «Цзю» и использовать корневище в качестве источника крахмала при приготовлении лапши черного цвета. В корейской кухне папоротник называется «Госари». Из него готовят острый суп с говядиной юккедян, блюдо из риса с добавлением различных овощей пибимпап и чон – оладьи с добавлением папоротника в тесто [13, 14].

В России на внутреннем рынке папоротник орляк не так востребован, поэтому большая его часть (более 70 %) заготавливается и перерабатывается для экспорта в Японию, Корею, Китай и т. д. Используют традиционный способ консервирования папоротника – соление. Пандемия и кризисы 2020–2022 гг. изменяли структуру потребления соленого папоротника на

внутреннем и внешнем рынках. За последние два года резко снизился объем экспорта. Это определило новые задачи для заготовителей и переработчиков папоротника по поиску других каналов сбыта продукции и разработки новых продуктов с целью обеспечения устойчивого развития.

Химический состав свежих побегов *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn представлен углеводами: сахарами (глюкозой, фруктозой, сахарозой и рибозой), клетчаткой, пектином, крахмалом и лигнином. Отмечены следы органических кислот, таких как яблочная, лимонная, аконитовая, кофейная, протокахетовая и шикимовая. Высокая пищевая ценность обусловлена составом витаминов А, С, Е, РР, и β -каротином. Минеральные вещества представлены калием, кальцием, натрием, фосфором, серой, магнием, медью и марганцем. В своем составе орляк содержит жирные кислоты: арахидоновую, α -линоленовую, олеиновую, γ -линоленовую, гексадекатриеновую, дигомо- γ -линоленовую, стеариновую, тимдоновую, бегоновую, арахидиновую; преобладают линолевая и пальмитиновая.

Изучение литературных источников по пищевой ценности папоротника позволило установить, что молодые побеги растения синтезируют большое количество белков – 25–31 % на абсолютно сухое сырье. По их содержанию орляк практически не отличается от опят, белокачанной капусты, бобовых и картофеля. По данным зарубежных авторов в папоротнике идентифицировано 16 аминокислот, 7 из которых незаменимые, а 9 заменимые. Среди незаменимых аминокислот высокое содержание у лейцина, наименьше – у метионина. Из заменимых содержание глутаминовой кислоты было самым высоким, а содержание цистеина самым низким, что согласуется с отечественными исследователями [15–17]. Аминокислотный состав белка папоротника по составу и количественному содержанию близок к физиологически необходимой норме (эталонному белку) по данным ФАО/ВОЗ [16, 17]. Авторы отмечают, что аминокислотный скор всех незаменимых аминокислот превышает 100 % (за исключением метионина+цистина). В связи с этим изучение аминокислотного состава папоротника орляка представляет научный и практический интерес.

Цель исследования – изучить качественный и количественный состав аминокислот папоротника орляка (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), произрастающего на территории Красноярского края как сырьевой базы для дальнейшего применения в производстве отечественной пищевой продукции.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования использован свежий папоротник *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, произрастающий в разных районах Красноярского края. Заготовку образцов для исследования проводили

в мае 2021 г. Стебель с нераспустившейся листовой пластинкой (вайя) размером до 30 см собирали в соответствии с требованиями ГОСТ 59425-2021 и Приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 28 июня 2020 г. № 494. Специфика образцов папоротника зависит от территориальной принадлежности, влияющей на биологическую ценность исследуемого растительного сырья. Папоротник *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn собран в Козульском районе (п. Бадаложный), в южной части восточных Саян (п. Курагино), в южной части западных Саян (п. Шушенское) и в таежных зонах, для которых характерен смешанный тип леса с растительным биоразнообразием. Выбор мест для сбора обусловлен расположением действующих на территории края площадок для промышленной заготовки папоротника.

Влажность растительного сырья определяли высушиванием при 105 °С до постоянной массы в соответствии с ОФС.1.5.3.0007.15.

Содержание белка определяли спектрофотометрическим методом. Оптическую плотность измеряли на ФЭКе (КФК-2, «ЗОМЗ») при длине волны 350 нм в соответствии с ОФС.1.2.3.0012.15.

Определение аминокислотного состава образцов проведено в аналитической лаборатории Института биофизики СО РАН (ФИЦ КНЦ СО РАН, г. Красноярск). Метод заключается в расщеплении белков на аминокислоты (связанные аминокислоты) с помощью гидролиза, последующем разделении смеси аминокислот на хроматографической колонке, смешивании элюата с нингидрином для проведения реакции с получением окрашенных продуктов и детектировании компонентов фотометрическим детектором. Для определения аминокислот в пробах проводили гидролиз в 6N растворе соляной кислоты. Сухую навеску пробы массой 16–18 мг взвешивали в стеклянной вials и приливали 6–7 мл раствора 6N соляной кислоты. Вials продували аргоном и помещали в песочную баню на 22 ч при 110 °С, затем охлаждали до комнатной температуры, взбалтывали содержимое и переносили на беззольный фильтр. Стенки вials дважды промывали дистиллированной водой. Смывы также переносили на фильтры. Фильтрат выпаривали в выпарительной чашке на кипящей водяной бане до образования влажного осадка. Затем к осадку добавляли 2 мл дистиллированной воды и снова выпаривали для удаления следов соляной кислоты. Выпаренные гидролизаты хранили в эксикаторе над гранулированной щелочью (NaOH или KOH) до анализа. Перед анализом сухой гидролизат, содержащий смесь аминокислот, растворяли в буфере с pH 2,2 из расчета 1 мг исходного белка на 1 мл буфера. Для удаления гидрофобных веществ, мешающих разделению, использовали картриджи, заполненные силикагелем. Через картридж (Диапак С-1) пропускали раствор гидролизата в 5 %

растворе диметилсульфоксида в буфере, используемом для разведения проб. Перед анализом пробу фильтровали через фильтр с размером пор 0,45 мкм. Анализ выполняли на автоматическом анализаторе LA8080 (Hitachi, Япония) методом ВЭЖХ с постколоночной модификацией нингидрином. Для количественной оценки перед анализом серии проб в тех же условиях проводили анализ стандартной смеси аминокислот с известной концентрацией (Pickering Calibration Standard, США). В итоге получили хроматограммы с пиками семнадцати аминокислот: лизин, гистидин, аргинин, треонин, валин, метионин, изолейцин, лейцин, фенилаланин, аспарагиновая кислота, пролин, серин, глутаминовая кислота, глицин, аланин, цистин и тирозин. В процессе кислотного гидролиза триптофан практически полностью разрушается, цистеин окисляется в цистин, аспарагин и глутамин превращаются в аспарагиновую и глутаминовую кислоты соответственно.

Биологическую ценность белков рассчитывали двумя методами, представленными в работах [18–20]. Рассчитывали аминокислотный скор, коэффициент разбалансированности аминокислотного сора, коэффициент утилитарности аминокислотного состава и индекс незаменимой кислоты.

Экспериментальные исследования проводили в 3–5-кратной повторности. Результаты обрабатывали статистическими методами с доверительной вероятностью 0,95. Различия между средними показателями были проанализированы с использованием t-критерия Стьюдента. Результаты считались значимыми, если $P \leq 0,05$. Все результаты выражены в виде средних значений со стандартным отклонением.

Результаты и их обсуждение

Полученные экспериментальные данные показывают содержание общего белка от 24 до 27 % на абсолютно сухое сырье в свежем папоротнике орляка в зависимости от места заготовки. Результаты исследования по количеству белка в свежем папоротнике, заготовленном в Красноярском крае, согласуются с литературными данными по содержанию белка в папоротнике, произрастающем в других регионах России [16, 17]. Например, молодые побеги, собранные на Сахалине, содержат 30 % белка; орляк обыкновенный, заготовленный в Кемеровской области и предгорьях Алтая, накапливает до 27 % белков на абсолютно сухое сырье. Е. В. Мельникова опубликовала данные по содержанию белка в папоротнике в количестве 26,4 %.

Итоги исследования качественного и количественного аминокислотного состава белка свежего папоротника орляка, произрастающего в разных районах Красноярского края, приведены в таблице 1.

Идентифицировано 15 аминокислот, 12 из которых представляют различные классы алифатических аминокислот, 1 – ароматическая и 2 –

гетероциклических. Установлено, что папоротник, произрастающий в южной части западных Саян, накапливает на 3,5 г больше суммы заменимых и незаменимых аминокислот, чем другие образцы. Выявленную закономерность для данного района можно объяснить тем, что основная масса древостоев, под пологом которых развиваются заросли папоротника, имеют относительную полноту от 0,3 до 0,6. Это положительно сказывается на возможности накопления растением биологически активных веществ. Массовая доля незаменимых аминокислот в образцах, собранных в Козульском районе и в южной части западных Саян, составляет более 70 % от общего количества аминокислот. Папоротник южной части восточных Саян имеет меньший показатель по количеству незаменимых аминокислот – 64,3 %. Это подтверждает биологическую ценность растения.

В исследуемых растениях обнаружено 7 незаменимых аминокислот: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин+цистеин, фенилаланин+тирозин и треонин. В изучаемых объектах преобладает заменимая аминокислота – глутамин (содержание в пределах от 4,67 до 4,98 г/100 г белка). Глутамин играет важную роль в работе различных органов, а также служит источником энергии клеток и тканей, помогает организму быстро восстановиться во время сна, обеспечивая нервные клетки головного мозга энергией и улучшая умственную работу [20–22].

Из незаменимых аминокислот превалирует фенилаланин+тирозин (от 1,79 до 2,17 г/100 г белка). Он способен восстанавливать силы при хронической усталости, снижать тревожность и благотворно влиять на тонус организма в целом [21].

Для оценки биологической ценности белка *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn проведен анализ содержания незаменимых аминокислот свежего папоротника орляка в сравнении с идеальным белком ФАО/ВОЗ. Результаты представлены в таблице 2.

Из приведенных данных следует, что масса незаменимых аминокислот в белке свежего папоротника орляка составляет от 37 до 39 г/100 г белка. Выявлено, что скоры почти всех незаменимых аминокислот выше 100 %, что согласуется с выводами исследований [16, 17]. В работах Л. И. Гориславской, И. Э. Цапаловой и Т. В. Плотниковой, М. В. Центроева и др. представлены данные скоры незаменимых аминокислот – валина, изолейцина, лейцина, лизина, фенилаланина+тирозина, треонина и триптофана – в пределах от 108 до 150 %. Авторами определена единственная лимитирующая аминокислота – метионин+цистин. Данные М. В. Центроева и Л. И. Гориславской согласуются с данными в отношении аминокислотного сора, который составил 60 и 57 %. По данным И. Э. Цапаловой он составляет 74 %.

Таблица 1. Состав и количество аминокислот в свежем папоротнике рода Орляк, г/100 г на абсолютно сухое сырье

Table 1. Qualitative and quantitative composition of amino acids in dried *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, g/100 g

№	Наименование аминокислот	Образец № 1 (п. Бадаложный)	Образец № 2 (п. Курагино)	Образец № 3 (п. Шушенское)
<i>Алифатические</i> Моноаминомонокарбоновые				
1	Глицин, <i>Gly</i>	0,94 ± 0,03	0,95 ± 0,02	1,16 ± 0,03
2	Аланин, <i>Ala</i>	1,16 ± 0,03	1,26 ± 0,02	1,46 ± 0,02
3	Валин, <i>Val</i>	1,09 ± 0,05	1,01 ± 0,03	1,36 ± 0,02
4	Изолейцин, <i>Ile</i>	0,76 ± 0,02	0,72 ± 0,02	0,96 ± 0,03
5	Лейцин, <i>Leu</i>	1,52 ± 0,03	1,49 ± 0,04	1,91 ± 0,07
Оксимоноаминокарбоновые				
6	Серин, <i>Ser</i>	1,05 ± 0,04	1,05 ± 0,05	1,26 ± 0,04
7	Треонин, <i>Thr</i>	0,92 ± 0,04	0,89 ± 0,02	1,10 ± 0,04
Амиды моноаминодикарбоновых				
8	Аспарагин, <i>Asp</i>	1,79 ± 0,05	1,76 ± 0,06	2,26 ± 0,08
9	Глутамин, <i>Glu</i>	4,67 ± 0,14	4,98 ± 0,17	4,81 ± 0,11
Амиды моноаминодикарбоновых				
10	Лизин, <i>Lys</i>	1,07 ± 0,03	1,00 ± 0,03	1,19 ± 0,03
11	Аргинин, <i>Arg</i>	1,04 ± 0,03	0,99 ± 0,02	1,28 ± 0,03
Серосодержащие				
12	Метионин, <i>Met</i>	0,29 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,29 ± 0,01
<i>Ароматические</i>				
13	Фенилаланин+тирозин, <i>Phe+Tyr</i>	1,96 ± 0,02	1,79 ± 0,04	2,17 ± 0,07
<i>Гетероциклические</i>				
14	Гистидин, <i>His</i>	0,41 ± 0,02	0,39 ± 0,01	0,51 ± 0,02
15	Пролин, <i>Pro</i>	0,77 ± 0,02	0,79 ± 0,03	1,18 ± 0,05
	Сумма заменимых аминокислот	11,42	11,78	13,41
	Сумма незаменимых аминокислот	8,02	7,59	9,49
	Общая сумма аминокислот	19,44	19,37	22,90

В результате исследования выявлено, что в белке доминируют фенилаланин+тирозин и треонин, аминокислотный скор которых находится в пределах 224–246 и 184–192 % соответственно. Метионин+цистин в белках папоротника орляка является лимитирующей аминокислотой (скор не превышает 65 %).

Анализ биологической ценности белка папоротника, рассчитанной с учетом коэффициента различия аминокислотного сора (табл. 2), показывает, что белок папоротника, собранный в южной части западных Саян (п. Шушенское), уступает белку образцов, заготовленных в южной части восточных Саян и Козульском районе, т. к. коэффициент разбалансированности аминокислотного сора у него выше, а коэффициент утилитарности аминокислотного состава ниже.

Качественной оценкой белка служит и коэффициент утилитарности: чем выше его значения ($U = 1$), тем лучше сбалансированы незаменимые аминокислоты и тем рациональнее они могут быть использованы организмом [22]. Согласно литературным данным если $U = 1$ и КРАС = 0, то аминокислоты в белке лучше сбалансированы [22].

Произведенные расчеты показали, что по биологической ценности белок папоротника Образца № 2 (из южной части восточных Саян п. Курагино) превосходит Образцы № 1 и 3, т. к. имеет меньшее значение коэффициента разбалансированности аминокислотного сора (78) и наибольшее значение коэффициента утилитарности аминокислотного состава (0,55). Это позволяет говорить об удовлетворительной степени сбалансированности.

В литературе известен другой способ определения биологической ценности белка [18–20]. Если индекс незаменимых аминокислот превышает 1, то содержание незаменимых аминокислот больше в исследуемом белке, чем в эталонном. Индекс незаменимой кислоты для образцов свежего папоротника (табл. 2) составил более 1. Это характеризует хорошую биологическую ценность исследуемых образцов.

Выводы

На основе сравнительного анализа количества белка в трех образцах свежего папоротника орляка *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, произрастающего

Таблица 2. Биологическая ценность белка папоротника *Pteridium aquilinum* (L.) KuhnTable 2. Biological value of protein in *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn

Аминокислоты	Идеальный белок		Образец № 1		Образец № 2		Образец № 3	
	г/100 г белка	Скор, %	г/100 г белка	Скор, %	г/100г белка	Скор, %	г/100г белка	Скор, %
Валин	4,0	100	5,6	140	5,2	130	5,9	148
Изолейцин	3,0	100	3,9	130	3,7	123	4,2	140
Лейцин	6,1	100	7,8	128	7,7	126	8,4	138
Лизин	4,8	100	5,5	115	5,2	108	5,2	108
Метионин+цистин	2,3	100	1,5	65	1,5	65	1,3	57
Фенилаланин+тирозин	4,1	100	10,1	246	9,2	224	9,5	232
Треонин	2,5	100	4,7	188	4,6	184	4,8	192
Триптофан	0,66	100	–	–	–	–	–	–
Сумма	27,5	–	39,1	–	37,1	–	39,3	–
Коэффициент различия аминокислотного скор (КРАС), %			80		72		88	
Биологическая ценность (БЦ), %			20		28		12	
Коэффициент утилитарности аминокислотного состава (U), дол. ед.			0,52		0,55		0,46	
Индекс незаменимой аминокислоты (ИНАК)			1,1		1,04		1,04	

на территории Красноярского края, установлено незначительное различие по его содержанию, которое составило от 24 до 27 % на а.с.с. Наибольшее значение аминокислот (22,9 г) в составе белка имеет папоротник, произрастающий в южной части западных Саян, что на 3,5 г больше, чем в образцах из других районов.

В папоротнике с разных территорий региона содержится 15 аминокислот, из них 7 незаменимых. Доминирует среди заменимых глутамин, содержание которого составляет до 4,98 г/100 г белка. Из незаменимых аминокислот превалирует фенилаланин+тирозин (от 1,79 до 2,17 г/100 г белка).

Для оценки биологической ценности белка свежего папоротника орляка рассчитан скор всех незаменимых аминокислот, значение которого составило больше 100 %. Установлено, что метионин+цистин в белках изучаемых объектов является лимитирующей аминокислотой (скор 65 %).

Выявлено, что по биологической ценности белок папоротника, собранного в южной части восточных Саян (п. Курагино), превосходит белок папоротника образцов из Козульского района (п. Бадаложный) и южной части западных Саян (п. Шушенское), т. к. имеет меньшее значение коэффициента различия аминокислотного скор (78) и наибольшее значение коэффициента утилитарности аминокислотного состава (0,55). Индекс незаменимых аминокислот для всех образцов свежего папоротника составил от 1,04 до 1,1. Это свидетельствует о большем значении суммы незаменимых аминокислот, чем в эталонном белке.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о качественном составе белка папоротника орляка, который может быть использован в производстве пищевой продукции. Разработана технология получения новых продуктов путем применения сублимационной сушки с целью сохранения биологической ценности и дальнейшего использования как дополнительного источника белка для человека.

Критерии авторства

Авторы статьи несут полную ответственность за концепцию и идеи, отраженные в статье. Д. А. Черемных и Г. А. Губаненко являлись руководителями проекта. Е. А. Речкина, Л. А. Маюрникова и Н. Ю. Теплюк участвовали в экспертизе данных и обсуждении содержания статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Коллектив авторов выражает благодарность ведущему научному сотруднику ИБФ СО РАН (г. Красноярск), доктору биологических наук Н. Н. Сушику за помощь в выполнении исследований химического состава *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.

Contribution

The authors of the article are solely responsible for the concept and ideas reflected in the article. D.A. Cheremnykh and G.A. Gubanenko supervised

the project. E.A. Rechkina, L.A. Mayurnikova, and N.Yu. Teplyuk analyzed the data.

Conflict of interest

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

Acknowledgements

The authors express their gratitude to Dr.Sci.(Bio.) N.N. Suschik, the leading researcher of The Institute of Biophysics, the Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences.

References/Список литературы

1. Tarrega A, Rizo A, Murciano A, Laguna L, Fiszman S. Are mixed meat and vegetable protein products good alternatives for reducing meat consumption? A case study with burgers. *Current Research in Food Science*. 2020;3:30–40. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.02.003>
2. Milford AB, Le Mouél C, Bodirsky BL, Rolinski S. Drivers of meat consumption. *Appetite*. 2019;141. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.06.005>
3. Horgan GW, Scalco A, Craig T, Whybrow S, Macdiarmid JI. Social, temporal and situational influences on meat consumption in the UK population. *Appetite*. 2019;138:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2019.03.007>
4. Hruby A, Jacques PF. Dietary protein and changes in markers of cardiometabolic health across 20 years of follow-up in middle-aged Americans. *Public Health Nutrition*. 2018;21(16):2998–3010.
5. Oosterwijk MM, Soedamah-Muthu SS, Geleijnse JM, Bakker SJL, Navis G, Binnenmars SH, et al. High dietary intake of vegetable protein is associated with lower prevalence of renal function impairment: Results of the dutch DIALECT-1 cohort. *Kidney International Reports*. 2019;4(5):710–719. <https://doi.org/10.1016/j.ekir.2019.02.009>
6. Nedil'ko OV, Yanitskaya AV. The study of amino acid content of *Glycyrrhiza glabra* over-ground and underground parts. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2020;(1):251–256. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020014678>
7. Serba EM, Rimareva LV, Overchenko MB, Ignatova NI, Tadzhibova PY, Zorin SN. Production of peptides and amino acids from microbial biomass in food and feed industries: biotechnological aspects. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):268–276. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-268-276>
8. Osipova GA, Koryachkina SYa, Koryachkin VP, Seregina TV, Zhugina A.E. Effects of protein-containing additives on pasta quality and biological value. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(1):60–66. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-60-66>
9. Tabalenkova GN, Rosentsvet OA. Amino acid composition of leaves of three species of *Artemisia* L. growing in the Elton region. *Chemistry of Plant Raw Materials*. 2021;(3):219–225. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2021038736>
10. Reut AA, Denisova SG, Pupykina KA, Shigapov ZCh. Accumulation of biologically active substances in raw material of some representatives of the genus *Paeonia* L. under the introduction in the South Urals. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*. 2019;(2):80–87. (In Russ.). <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2019-0-2-80-87>
11. Ryazanova OA, Nikolaeva MA, Kleshchevsky YuN. Botanical and commodity characteristics of the common bracken fern. *Food Products Commodity Expert*. 2021;(1):26–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.33920/igt-2101-04>
12. Prokopenko ST, Shalisko IV. Contemporary aspects of wild-growing plant raw material use as food with example of bracken fern. *Technico-tehnologicheskie problemy servisa*. 2013;25(3):69–74. (In Russ.).
13. Прокопенко С. Т., Шалиско И. В. Современные аспекты использования дикорастущего сырья в качестве продуктов питания на примере папоротника-орляка // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2013. Т. 25. № 3. С. 69–74.
14. Turkenich DR, Vershinina AR. Japanese cuisine as a world cultural heritage site. *Scientists notes PNU*. 2021;12(4):100–103.
15. Туркенич Д. Р., Вершинина А. Р. Японская кухня как объект всемирного культурного наследия // Ученые заметки ТОГУ. 2021. Т. 12. № 4. С. 100–103. (На англ.).
16. Denisova YaV, Popova YaP. Wild food plants from Sakhalin Island in Korean and Japanese cuisine. *Innovation. Science. Education*. 2021;(31):1807–1813. (In Russ.).
17. Денисова Я. В., Попова Я. П. Дикорастущие пищевые растения острова Сахалин, используемые в корейской и японской кухне // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 31. С. 1807–1813.
18. Wang Y, Gao S, He X, Li Y, Zhang Y, Chen W. Response of total phenols, flavonoids, minerals, and amino acids of four edible fern species to four shading treatments. *PeerJ*. 2020;2020(1). <https://doi.org/10.7717/peerj.8354>
19. Prokopenko ST, Shalisko IV. Effects of freezing on some properties of consumer bracken agro-food as kind of raw materials. *Technico-tehnologicheskie problemy servisa*. 2015;32(2):23–20. (In Russ.).
20. Прокопенко С. Т., Шалиско И. В. Влияние замораживания на некоторые потребительские свойства папоротника-орляка как вида пищевого сырья // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. Т. 32. № 2. С. 23–30.

17. Tipsina NN, Melnikova EV. The fern powder use in the production of shortbread and sponge cakesemi-finished product. Bulletin of KSAU. 2014;99(12):219–224. (In Russ.).

Типсина Н. Н., Мельникова Е. В. Использование порошка папоротника в производстве песочного печенья и бисквитного полуфабриката // Вестник КрасГАУ. 2014. Т. 99. № 12. С. 219–224.

18. Kravchenko NV. Assessment of the quality and biological value of baked dishes using gluten-free raw materials. Research Result. Business and Service Technologies. 2019;5(1):36–51. (In Russ.). <https://doi.org/10.18413/2408-9346-2019-5-1-0-4>

19. Agafonova SV, Rykov AI, Mezenova OYa. Biological value of lupine proteins and their prospects in the food industry. Journal of International Academy of Refrigeration. 2019;(2):79–85. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2019-18-2-79-85>

20. Ramazanov ASh, Balaeva SA. Amino acid composition of fruits silybum marianum, growing in the territory of the Republic of Dagestan. Chemistry of Plant Raw Materials. 2020;(3):215–223. (In Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020036434>

21. Gao H. Amino acids in reproductive nutrition and health. In: Wu G, editor. Amino acids in nutrition and health. Cham: Springer; 2020. pp. 111–131. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45328-2_7

22. Erpuleva YuV. Glutamine solution in the parenteral nutrition for children with critical conditions. The Russian Bulletin of Childrens Surgery, Anesthesiology and Resuscitation. 2021;11(4):555–560. (In Russ.). <https://doi.org/10.17816/psaic1012>

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, требованиям 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 СТАТЫ

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 MicrosoftOffice 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).

Подать 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>.