

ISSN 2712-7648

HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY

VOLUME 7 • ISSUE 3 • SEPTEMBER 2025



HFB
HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY

№ 3 – 2025

Периодичность издания – 4 номера в год

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет» (РОСБИОТЕХ)

Редакция

Заведующий редакцией	— Тихонова Елена Викторовна
Выпускающий редактор	— Косычева Марина Александровна
Редактор по этике	— Косычева Марина Александровна
Ответственный секретарь	— Лаптева Елена Александровна
Медийный редактор	— Щербакова Екатерина Олеговна

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ №ФС77-72959 от 25 мая 2018 г.

Адрес:

125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11
Тел. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: hfb@mgupp.ru
Официальный сайт учредителя: mgupp.ru
Официальный сайт редакции: hfb-mgupp.com

© ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет» (РОСБИОТЕХ), 2025.

№ 3 – 2025

Periodicity of publication – 4 issues per year

Founder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Biotechnological University» (BIOTECH University)

Editorial Team

Head of Editorial Team	— Elena V. Tikhonova
Editor of Issue	— Marina A. Kosycheva
Ethics Editor	— Marina A. Kosycheva
Executive Secretary	— Elena A. Lapteva
Social Media and Product Editor	— Ekaterina O. Shcherbakova

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Media. The Mass Media Registration Certificate EL No FS77-72959 dated May 25, 2018.

Address::

11, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 125080
Tel. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: hfb@mgupp.ru
Official web site of Founder: mgupp.ru
Official web site of the Editorial Office: hfb-mgupp.com

© FSBEI HE «Russian Biotechnological University» (BIOTECH University) , 2025.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

■ ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Данильчук Татьяна Николаевна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

■ ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Абдуллаева Асият Мухтаровна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Андреева Татьяна Ивановна

Институт пластмасс им. Г.С. Петрова, Россия

Бычков Алексей Леонидович

Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, Россия

Данильчук Татьяна Николаевна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Джавахян Марина Аркадьевна

Московский государственный медико-стоматологический университет им А.И. Евдокимова, Россия

Жилякова Елена Теодоровна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия

Игнар Штефан

Варшавский университет естественных наук, Польша

Игнатенко Григорий Анатольевич

Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, ДНР

Кирш Ирина Анатольевна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Коврига Владислав Витальевич

ООО «Группа «Полимертепло», Россия

Корокин Михаил Викторович

Белгородский национальный исследовательский университет, Россия

Куркин Денис Владимирович

Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова, Россия

Маль Галина Сергеевна

Курский государственный медицинский университет, Россия

Налетов Андрей Васильевич

Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, ДНР

Новиков Олег Олегович

Научно-образовательный ресурсный центр РУДН, Россия

Оковитый Сергей Владимирович

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Россия

Присный Андрей Андреевич

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия

Сагян Ашот Серобович

Национальная Академия наук РА, Республика Армения

Самбандам Ананадан

Национальный институт технологий, Индия

Северинов Константин Викторович

Институт молекулярной генетики НИЦ «Курчатовский институт», Россия

Серба Елена Михайловна

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи (ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»), Россия

Симонов-Емельянов Игорь Дмитриевич

Российский технологический университет МИРЭА, Россия

Фриас Йезус

Дублинский технологический институт, Ирландия

Цыганова Татьяна Борисовна

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

Чалых Татьяна Ивановна

Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Россия

Щетинин Михаил Павлович

Международная промышленная академия, Россия

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF**Tatyana N. Danilchuk**

Russian Biotechnological University (BIOTECH University)

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD**Asiyat M. Abdullaeva**

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Tatyana I. Andreeva

G.S. Petrov Scientific Research Institute of Plastics, Russia

Aleksey L. Bychkov

Institute of Solid-State Chemistry and Mechanochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Russia

Tatyana N. Danilchuk

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Marina A. Dzhevakhyan

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Russia

Elena T. Zhilyakova

Belgorod State University, Russia

Jesus Frias

Dublin Institute of Technology, Ireland

Stefan Ignar

Warsaw University of Life and Sciences, Poland

Grigory A. Ignatenko

Donetsk National Medical University, DPR

Irina A. Kirsh

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Mikhail V. Korokin

Belgorod State University, Russia

Vladislav V. Kovriga

Polymerteplo Group, Russia

Denis V. Kurkin

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Russia

Galina S. Mal

Kursk State Medical University, Russia

Andrey V. Nalyotov

Donetsk National Medical University, DPR

Oleg O. Novikov

RUDN University Shared Research and Educational Centre, Russia

Sergey V. Okovityi

Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Russia

Andrey A. Prisnyi

Belgorod State University, Russia

Ashot S. Saghyan

National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Armenia

Anandan Sambandam

National Institute of Technology of Tiruchirappalli, India

Elena M. SerbaAll-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Federal Research **Center for Nutrition**, Biotechnology and Food Safety, Russia**Konstantin V. Severinov**

Institute of Gene Biology Russian Academy of Sciences, Russia

Igor D. Simonov-Emelyanov

MIREA-Russian Technological University, Russia

Mikhail P. Schetinin

International Industrial Academy, Russia

Tatyana I. Tchalykh

Russian University of Economics named after G. V. Plekhanov, Russia

Tatyana B. Tsyganova

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

СОДЕРЖАНИЕ

РЕДАКТОРСКАЯ СТАТЬЯ

Е. В. Тихонова, М. А. Косычева
За гранью шаблона: искусство создания первого абзаца введения в эмпирическом исследовании..... 6

Т. Н. Данильчук
К вопросу о научных и технологических принципах создания поликомпонентных продуктов питания
на мясной основе. Научная школа академика РАН Е. И. Титова 23

ПИТАНИЕ

Т. В. Спицина, И. А. Никитин
Роль продуктов питания в повышении индивидуального детоксикационного потенциала..... 34

А. В. Новикова
Причины несанкционированной разгерметизации полиэтиленовых рукавов при полевом хранении
растениеводческой продукции..... 50

БИОТЕХНОЛОГИИ

М. С. Каночкина, Л. А. Иванова, И.Р. Соколов, А. Д. Коновалова, О. Н. Левин
Возможности использования бактериоцинов лактобактерий в клинической практике (систематический обзор пред-
метного поля)..... 63

Т.Н. Данильчук, Д.Е. Ипатов
Использование биоактивных компонентов проростков амаранта для улучшения потребительских
свойств мясных изделий 87

CONTENTS

EDITORIAL

Elena V. Tikhonova, Marina A. Kosycheva
Beyond the Template: The Art of Writing the Introductory Paragraph in Empirical Research..... 7

Tatiana N. Danilchuk
About Scientific and Technological Foundations of Creating Multi-Component Meat-Based Food Products.
RAS Academician E.I. Titov's School of Thought..... 24

FOOD

Tatiana V. Spitsina, Igor A. Nikitin
The Role of Food in Enhancing Individual Detoxification Potential..... 35

Alla V. Novikova
Causes of Unauthorized Depressurization of Polyethylene Sleeves During Field Storage of Plant Products 51

BIOTECHNOLOGY

Marya S. Kanochkina, Ludmila A. Ivanova, Ilya R. Sokolov, Anastasiya D. Konovalova, Oleg N. Levin
Potential for the Use of Lactobacilli Bacteriocins in Clinical Practice (A Systematic Scoping Review) 64

Tatiana N. Danilchuk, Dmitry E. Ipatov
The Use of Bioactive Components of Amaranth Seedlings to Improve the Consumer Properties
of Meat Products..... 88

<https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i1.s294>

За гранью шаблона: искусство создания первого абзаца введения в эмпирическом исследовании

Е. В. Тихонова, М. А. Косычева

Российский государственный
геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ),
Москва, Россия

Корреспонденция:

Тихонова Елена Викторовна,
Российский государственный
геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ),
117485, Россия, г. Москва,
ул. Миклухо-Маклая, 23
E-mail: tikhonovaev@mgri.ru

Конфликт интересов:

авторы заявляют об отсутствии
конфликта интересов.

Поступила: 15.09.2025

Поступила после
рецензирования: 27.09.2025

Принята: 30.09.2025

Copyright: © 2025 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Раздел *Введение* в эмпирической статье выполняет функцию обоснования исследовательской мотивации и постановки проблемы в ее актуальном научном контексте. Первый абзац этого раздела задает тон всей работе, фиксирует актуальность и предполагаемый вклад новизны, а также формирует первичное внимание и ожидания академического сообщества. При наличии развернутых рекомендаций по построению *Введения* для рукописей в жанре оригинального эмпирического исследования микроархитектура его начального абзаца остается недостаточно описанной и концептуально проработанной в методической литературе.

Цель. Разработка риторической структуры, обеспечивающей построение убедительного, оригинального и контекстуально насыщенного первого абзаца *Введения* в рукописи оригинального эмпирического исследования.

Риторическая структура первого абзаца *Введения*. Риторическая структура начального абзаца *Введения* представлена как последовательность риторических шагов, для каждого из которых дано теоретическое обоснование и функциональная интерпретация в рамках жанра оригинального эмпирического исследования. Такой подход уточняет назначение каждого шага, проясняет его вклад в когерентность и аргументативную силу абзаца, а также задает критерии его корректной реализации в тексте. Полученная структура состоит из следующих шагов: (1) Тематическое предложение с когнитивным «хуком»; (2) Дисциплинарный контекст и фокус поля; (3) Операционализированный дефицит/контраст; (4) Ставки/значимость; (5) Предварительная операционализация механизмов; (6) Мостик ко второму абзацу *Введения*.

Анализ первого абзаца *Введения* сквозь призму восприятия редактором: Представлены точечные комментарии к сильным и проблемным зонам абзаца, уточняющие соответствие заявленных ходов жанровым ожиданиям и логике аргументации. На основе выявленных дефицитов и удачных решений сформулированы практические рекомендации по результативному структурированию начального абзаца оригинального эмпирического исследования, направленные на повышение когерентности, доказательности и читабельности текста.

Выводы: Представленная риторическая модель абзаца и рекомендации по ее интеграции в рукопись оригинального эмпирического исследования нацелены на повышение функциональной эффективности текста и воспроизводимости аргументации. Их систематическое применение позволяет авторам и редакторам конструировать абзацы, которые обеспечивают корректную индексруемость в наукометрических базах данных, улучшение видимости публикации и, как следствие, потенциальный рост показателей цитируемости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Введение; эмпирическое исследование; вступительный абзац; академическое письмо; продвижение научной статьи



Для цитирования: Тихонова, Е. В., & Косычева, М. А. (2025). За гранью шаблона: искусство создания первого абзаца введения в эмпирическом исследовании. *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 6-22. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i1.s294>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i1.s294>

Beyond the Template: The Art of Writing the Introductory Paragraph in Empirical Research

Elena V. Tikhonova, Marina A. Kosycheva

Sergo Ordzhonikidze Russian State
University for Geological Prospecting
(MGRI), Moscow, Russia

Correspondence:

Elena V. Tikhonova,
Sergo Ordzhonikidze Russian State
University for Geological Prospecting
(MGRI), 23, Miklouho-Maclay
St., Moscow, 117997, Russia
E-mail: tikhonovaev@mgri.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 15.09.2025

Received in revised form: 27.09.2025

Accepted: 30.09.2025

Copyright: © 2025 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The *Introduction* section of an empirical article serves the function of justifying the research motivation and setting the problem in its current scholarly context. The first paragraph of this section sets the tone for the entire work, establishes the relevance and intended contribution of its novelty, and shapes the initial attention and expectations of the academic community. Despite the existence of extensive recommendations for constructing research article *Introductions*, the microarchitecture of its opening paragraph remains insufficiently described and conceptually developed in the methodological literature.

Purpose. To develop a rhetorical structure that ensures the construction of a compelling, original, and contextually rich first paragraph of the *Introduction* in a manuscript of research articles.

Rhetorical Structure of the First Paragraph of the *Introduction*. The rhetorical structure of the opening paragraph of the *Introduction* is presented as a sequence of rhetorical steps, each of which is given a theoretical justification and a functional interpretation within the framework of the original empirical research. This approach clarifies the purpose of each step, elucidates its contribution to the coherence and argumentative force of the paragraph, and sets criteria for its correct implementation in the text. The resulting structure consists of the following steps: (1) Topic sentence with a cognitive hook; (2) Disciplinary context and field focus; (3) Operationalized drawback/contrast; (4) Stakes/relevance; (5) Preliminary operationalization of mechanisms; (6) Bridge to the second paragraph of the *Introduction*.

Analysis of the First Paragraph of the *Introduction* through the Prism of the Editor's Perception: Specific comments are provided on the strong and problematic areas of the paragraph, clarifying the conformity of the stated moves with genre expectations and the logic of argumentation. Based on the identified drawbacks and successful solutions, practical recommendations are provided for effectively structuring the opening paragraph of an original empirical study, aimed at increasing the coherence, evidence-basedness, and readability of the text.

Conclusions: The presented rhetorical paragraph model and recommendations for its integration into an original empirical research are aimed at improving the functional effectiveness of the text and the reproducibility of argumentation. Their systematic application allows authors and editors to construct paragraphs that ensure correct indexing in scientometric databases, increasing visibility, and, consequently, potential growth in citation rates.

KEYWORDS

Introduction; empirical research; introductory paragraph; academic writing; research article promotion



To cite: Tikhonova, E.V., & Kosycheva, M. A. (2025). Beyond the template: The art of writing the introductory paragraph in empirical research. *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 6-22. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i1.s294>

ВВЕДЕНИЕ

В риторической организации Введения к эмпирической статье начальный абзац выступает в качестве риторического хода¹, который вводит читателя в предмет исследования и выполняет функцию «визитной карточки» рукописи. Соответственно, он должен опираться на четко сформулированный и прозрачно мотивированный аргумент, согласованный с жанровыми ожиданиями и коммуникативными целями раздела Введение (Hyland, 1990; Swales, 1990; Kosycheva & Tikhonova, 2022). Эффективная организация текста, направленная на убеждение читателя в актуальности и своевременности проводимого исследования, создается за счет использования соответствующей лексики и логично выстроенного синтаксиса (Rochma et al., 2020).

Функция первого абзаца Введения к оригинальному эмпирическому исследованию состоит не в том, чтобы заявить формальные пункты, описывающие шаги исследования («исследуется проблема...», «актуальность обусловлена...»), а в представлении убедительной, захватывающей истории, которая заставит рецензентов и читателей поверить в важность заявления авторов и дочитать статью до конца (Tavakol & O'Brien, 2023; Tikhonova et al., 2025). Большинство первых абзацев научных статей чаще всего больше похожи на конспекты протокольных утверждений, в том числе из-за их насыщенности клише: «В современном мире остро стоит проблема...», «Возрастающий интерес к... обуславливает актуальность данного исследования». Подобные фразы не несут смысловой нагрузки, параллельно посылая сигнал о концептуальной лени авторов статьи, фиксируя, что автор/авторский коллектив не потрудился найти уникальный угол зрения для своего же исследования (Tikhonova & Mezentseva, 2025).

Эффективный первый абзац призван задавать свежий, контекстно-специфичный и интеллектуально провокационный нарратив, сочетая фактическую базу с обоснованием необходимости и актуальности исследования, побуждающими к дальнейшему чтению статьи (Alanazi & Alqarni, 2022; Tavakol & O'Brien, 2023). Отсюда следует,

что первый абзац введения выступает не просто иницирующей точкой рукописи, но входной точкой доверия, мостом коммуникации между автором и читателями. Так, эмпирические данные корпусного исследования первого предложения введения (Alanazi & Alqarni, 2022) показывают, что уже первая фраза рукописи коррелирует с качеством всего текста: сильные рукописи чаще открываются содержательно плотным предложением, подкрепленным отсылками к предыдущим источникам, слабые — общими клише, разговорными элементами и даже неточными данными. Это различие системно обнаруживается при сравнении высоко- и низкоимпактных журналов, что может свидетельствовать о целенаправленной политике редакционных команд высокоимпактных журналов по повышению функциональности и риторичности текста.

Предшествующие исследования подробно описывают жанровую организацию раздела *Введение* и типовые риторические ходы на уровне раздела, однако микроархитектура первого абзаца изучена недостаточно. В частности, отсутствует согласованная модель шагов начального абзаца с их функциональным прочтением, с явными критериями реализации и с операционализируемыми языковыми маркерами. Недостаточно прояснена и редакторская перспектива оценки эффективности риторических ходов в первом абзаце, что затрудняет выработку единых практических рекомендаций для авторов и редакторов. В результате сохраняется лакуна между общими принципами построения *Введения* и конкретными, проверяемыми требованиями к первому абзацу как входной точке доверия и аргументации.

Цель данной редакторской статьи состоит в том, чтобы диагностировать признаки неэффективного первого абзаца и предложить проверенные стратегии его конструирования для жанра оригинального эмпирического исследования.

¹ Под риторической структурой «Введения» понимается организованный порядок смысловых функций, через которые автор последовательно подводит читателя от общего контекста к постановке пробела в знании и к цели исследования. В этой модели используются два базовых уровня описания. Риторический ход означает крупную коммуникативную функцию абзаца или его части, например установление тематического контекста, проблематизация, занятие исследовательской ниши. Риторический шаг означает конкретный способ реализации хода, то есть локальное действие, например указание на ограничение прежних работ, уточнение терминов, формулировку цели, обозначение вклада. Классическая модель CARS Джона Свейлза (*Create A Research Space*) описывает Введение как последовательность ходов и шагов. В типовой конфигурации это: Ход 1 — установление исследовательской территории через тематические обобщения и релевантность, Ход 2 — обозначение ниши через формулировку пробела в знании, Ход 3 — занятие ниши через представление цели исследования, подходов к ее реализации и описание ожидаемого вклада (Swales, 1990). В пересмотре 2004 года Свейлз уточнил микроорганизацию начала Введения. В первом ходе он оставил один ключевой шаг «тематические обобщения возрастающей специфичности», тем самым санкционировав раннее и плавное подведение читателя к проблематизации уже в начальных фразах, а также подчеркнул адаптируемость шагов под дисциплинарные нормы (Swales, 2004).

Признаки неэффективного первого абзаца

(1) Хрестоматийное, клишированное начало, обнаруживающее себя через предсказуемые риторические паттерны, сигнализирует читателю об отсутствии оригинальности мышления у авторов статьи.

Типичные маркеры клишированного письма:

1. Чрезмерно широкие обобщения без указания на специфику. Фразы типа «С незапамятных времен человечество интересовалось...», «В современном обществе широко признано...» или «На протяжении многих лет исследователи изучали...» представляют собой пустые конструкции, не несущие содержательной нагрузки.
2. Безличные конструкции и пассивный залог без необходимости. Фразы «Хорошо известно, что...» или «Давно признано, что...» демонстрируют неуверенность автора и размывают ответственность за утверждения. Подобные конструкции создают впечатление, что автор прячется за анонимностью общепринятых истин вместо того, чтобы занять четкую исследовательскую позицию.
3. Абстрактность без конкретизации. Использование терминов типа «рамка», «парадигма», «концепт» без немедленной конкретизации создает когнитивный «туман». Абстрактные концепты требуют больших когнитивных усилий для понимания и медленнее обрабатываются читателем по сравнению с конкретными, образными утверждениями.

(2) Отсутствие контекстуальной привязки к текущему состоянию области или актуальным событиям.

Неэффективный первый абзац игнорирует современный контекст, упуская возможность связать исследование с текущими дебатами, событиями или трендами в дисциплине. Как результат, отсутствуют ссылки на свежие эмпирические данные, значимые публикации или реальные проблемы, понятные потенциальному читателю.

Пример: «Искусственный интеллект играет важную роль в пищевой промышленности в современном мире»².

Почему неэффективно: подобное предложение не указывает на конкретные достижения или вызовы 2025 г., такие как новые производственные алгоритмы или этические дебаты, что снижает актуальность исследования. Без контекстуальной привязки абзац не отвечает на вопрос «Почему сейчас?», а это снижает его способность заинтересовать экспертов, ожидающих новизны и релевантности исследования. Читатель может вос-

принять такой текст как устаревший или не связанный с текущими вызовами.

(3) Чрезмерная зависимость от цитирования вместо представления авторской позиции.

Некоторые авторы начинают первый абзац статьи с перечисления предыдущих работ по теме или обобщенных ссылок на литературу («Многие исследования показали, что...»), вместо того чтобы предложить собственное видение проблемы. Такой подход создает впечатление, что исследование вторично и не вносит оригинального вклада в предметную область.

Пример: «Ряд авторов (Автор 1, 2010; Автор 2, 2015; Автор 3 2020) указали на важность устойчивого развития».

Почему неэффективно: не демонстрирует, каким образом исследование авторов добавляет новую перспективу. Откладывая демонстрацию уникальности исследования, автор снижает доверие к собственному уровню экспертности. Рецензенты и читатели ожидают, что уже первый абзац начнет позиционировать исследование как уникальное.

(4) Недостаток эмоциональной или интеллектуальной вовлеченности.

Неэффективный абзац может быть технически корректным, но лишенным эмоционального или интеллектуального «заряда», который побуждает читателя продолжить чтение. Этот недостаток проявляется в сухом, механистичном изложении, лишенном риторических приемов, таких как парадокс, интрига или вызов устоявшимся взглядам.

Пример: «Данная статья исследует влияние технологий на пищевую промышленность».

Почему неэффективно: не создает интриги и не вызывает желания читать дальше, так как не предлагает ничего неожиданного или провокационного. Эмоциональная или интеллектуальная вовлеченность — ключ к удержанию внимания читателя. Без когнитивного «магнита», который вызывает любопытство или удивление, абзац теряет шанс выделить конкретную статью среди множества других публикаций.

(5) Избыточное использование технического жаргона без пояснений.

Хотя академический текст требует точности, перегрузка первого абзаца специфическими терминами или жар-

² Здесь и далее. Все примеры в данной редакционной статье сформулированы авторами с учетом специфики предметной области журнала и опыта авторов в качестве редакторов научных журналов.

гоном без их немедленного пояснения может отпугнуть читателей, особенно междисциплинарную аудиторию. Такой подход создает барьер для понимания и сигнализирует о недостаточной заботе об адаптации текста.

Пример: *«Парадигматический анализ транскриптомики в контексте эпигенетических модификаций выявляет мультимодальные фенотипические корреляции...»*.

Почему неэффективно: предложение может быть непонятным без контекста для читателей вне узкой предметной области. Первый абзац должен быть доступным, чтобы привлечь широкую аудиторию, включая рецензентов из смежных дисциплин. Жаргон без пояснений снижает читабельность текста и воспринимается как попытка замаскировать отсутствие ясной идеи.

(6) Отсутствие подводки к исследовательскому пробелу или новизне подхода.

Неэффективный первый абзац часто завершается без указания на проблему или пробел, который исследование стремится устранить. В такой ситуации читатель остается без ощущения понимания цели статьи и ее уникального вклада, а потому может утратить интерес к статье и не дочитать до раздела, где описывается выполняемый пробел в знаниях.

Пример: *«Многие исследования изучали влияние климата на сельское хозяйство»*.

Почему неэффективно: не переходит к указанию на то, что именно упущено в этих исследованиях, не подсказывает, как текущая работа восполняет этот пробел. Первый абзац должен не только установить контекст, но и предварительно очертить исследовательский пробел. Без этого читатель теряет мотивацию продолжать чтение.

(7) Слишком длинный или перегруженный абзац.

Некоторые авторы пытаются включить в первый абзац слишком много информации, включая обширный обзор литературы, методологические детали или избыточные контекстные факты. Текст становится громоздким, что затрудняет восприятие ключевой идеи.

Пример: Абзац начинается с описания истории исследований, далее переходит к статистике, а затем к методам, но без четкого когнитивного «магнита» или представления актуальности проблемы.

Почему неэффективно: краткость и целенаправленность — ключевые качества первого абзаца. Длинный текст рассеивает внимание и снижает воздействие на читателя, а также может сигнализировать и о недо-

статочной дисциплине редакционной команды, не указавшей автору на недостатки в изложении.

(8) Игнорирование целевой аудитории журнала.

Неэффективный абзац может быть написан без учета специфики аудитории целевого журнала, будь она узкоспециализированная или междисциплинарная. Например, использование слишком общих формулировок для высокоспециализированного журнала или, наоборот, избыточной технической детализации для широкого издания. Так, Введение, написанное для журнала по молекулярной биологии, но начинающееся с общих фраз о «важности науки для общества», может показаться неуместным.

Почему неэффективно: несоответствие ожиданиям аудитории снижает вероятность принятия рукописи к печати, так как рецензенты и редакторы ожидают, что первый абзац будет адаптирован к их интересам и уровню экспертизы.

Архитектура эффективного открывающего абзаца: контекст и фокус исследования

В модели «Создание исследовательского пространства» (Swales, 1990) первый абзац Введения относится к Ходу 1. Установление исследовательской территории (*Establishing a Territory*) и призван акцентировать два критических аспекта: заявить об актуальности и значимости проблематики и представить ее обобщенное восприятие. При этом архитектура и содержание первого абзаца статьи должны позволить читателю понять сразу: (1) как глубоко автор знаком с предметным полем; (2) ведет ли он речь профессиональным языком дисциплины или просто пересказывает известное ранее; и, наконец, (3) предлагает ли он неочевидный интеллектуальный взгляд на актуальную проблему.

Риторическая задача первого абзаца выходит за пределы «сообщения важности» и состоит в аналитической демонстрации актуальности: почему именно сейчас, с какими масштабами/порогами и в каком профессиональном контексте эта проблема требует внимания. Внутри абзацной нормы («тема → развитие → доказательная/контрастная часть → вывод-мостик») первый абзац Введения структурируется как строго направленная последовательность предложений с первого по седьмое, каждое из которых имеет функцию и языковые маркеры:

Предложение 1: Тематическое предложение с когнитивным «хуком». Обозначает предмет и сразу вводит напряжение (парадокс, скачок, порог, тренд), опираясь на проверяемые величины (год, %, n, диапазон). Хук должен быть представлен до первого упоминания источника.

Предложения 2–3: Дисциплинарный контекст и фокус поля. Призваны локализовать (подполе/популяция/технология) с опорой на 1–2 селективные и максимально релевантные ссылки высокой доказательности для фиксации значимости исследуемого явления. Реализуют терминологическую маркировку профессионального голоса.

Предложение 4: Операционализированный дефицит/контраст. Измеримо формулирует разрыв в знании (вариабельность до X %, охват $\leq Y$ %, несогласованность метрик, методологический «зазор»).

Предложение 5: Ставки/значимость. Предлагает краткую интерпретацию: что указанный разрыв меняет в теории, методе или практике³.

Предложение 6: Предварительная операционализация механизмов. Автор указывает 2–3 параметра/механизма, через которые будет объяснять «дефицит» в знании, вводя, тем самым, язык дальнейшей операционализации исследуемой проблематики.

Предложение 7: Мостик ко второму абзацу Введения. Формула продолжения: необходимость систематизировать X и проверить Y, направляя читателя к обзору статус-кво/ниши.

Первый абзац статьи должен не столько «рассказать», что тема важна, сколько «показать», почему именно в текущий момент она стоит особенно остро и в каком контексте текущее исследование встраивается в эту «напряженность». Подобное функциональное прочтение первого абзаца оригинального эмпирического исследования оптимально вписывается в классическую модель построения исследовательского пространства: через раннее очерчивание исследовательской ниши автор уже в самом начале формирует у читателя ожидание ее заполнения.

Заявление об актуальности и «центральности» темы не должно быть банальным. Вместо общих утверждений о важности области необходимо использовать конкретные, поддающиеся верификации данные.

Неэффективно: *«Изменение климата является серьезным вызовом, который влияет на многие аспекты современной окружающей среды».*

Эффективно: *«Период с 2015 по 2016 год ознаменовался рекордно высокими температурами океана, которые спровоцировали третье с момента первого документального подтверждения в 1980-х годах массовое обесцвечивание кораллов в глобальных масштабах (Источник, 1975). Это явление затронуло экосистемы коралловых рифов в 70 странах и территориях (Автор, 2023)».*

Эффективный вариант характеризуется специфичностью: указаны конкретные годы, порядковый номер события, количественные данные. Подобная специфичность сигнализирует о том, что авторы работают с первичными данными и обладают детальным знанием предметной области.

Обобщенное представление темы, необходимое для ее контекстуализации, должно быть информационно насыщенным, а не пустым заполнителем пространства.

Неэффективно: *«Непереносимость глютена является распространенным заболеванием, и многим людям приходится придерживаться безглютеновой диеты».*

Эффективно: *«Несмотря на то, что безглютеновая диета служит единственным эффективным методом управления целиакией, распространенность которой достигает 1 % в популяции, до 30 % пациентов продолжают испытывать персистирующие симптомы повреждения слизистой тонкой кишки (Автор, 2025). Это состояние, известное как рефрактерная целиакия, связывают с продолжающимся воздействием „скрытого“ глютена и существенно повышает риск развития Т-клеточной лимфомы».*

Неэффективный вариант вступления представляет собой общее заявление, не несущее конкретной информации о масштабах проблемы, ее последствиях или нерешенных вопросах. Эффективный же (1) количественно определяет масштаб: «распространенность 1 %», «до 30 % пациентов», (2) указывает на парадокс/проблему: диета — единственный метод, но она не работает для значительной части пациентов, (3) создает обоснование для исследования, что прямо указывает

³ Интерпретирует последствия установленного феноменального разрыва (что это меняет в теории/методе/практике), не говоря о том, чего не хватает в литературе. Например, пятое предложение первого абзаца Введения (Ход 1) может звучать так: «Такое расхождение между сенсорной приемлемостью и постпрандиальной динамикой снижает переносимость результатов между продуктами и ослабляет прогностическую ценность стандартных макрометрических описаний для клинических исходов». То есть комментируются последствия для теории/метода/практики. В Ход 2, в контексте обоснования пробела в знании, которое данное исследование призвано заполнить, фокус будет уже другим: «Отсутствует согласованный набор метрик текстурирования/пористости, позволяющий сопоставлять продукты по ожидаемому постпрандиальному ответу; исследования недостаточно охватывают поведенческие эффекты в домашних условиях».

на необходимость разработки более чувствительных методов детекции глютена в продуктах, изучения механизмов рефрактерности или создания адъювантной терапии.

Лингвистическая неопровержимость и выверенность: создание экспертного голоса

При создании первого абзаца демонстрация экспертности авторского коллектива происходит не только на содержательном, но и на языковом уровне. Каждое лексическое решение, каждая синтаксическая конструкция работают на создание впечатления о компетентности авторов.

Принцип 1: конкретность vs абстракция

Эффективные открывающие предложения часто используют принцип «показывай, не рассказывай». Вместо абстрактных категорий используйте конкретные референты, которые читатель может визуализировать (Barsalou et al., 2018).

Абстрактный подход: *«Симбиотические культуры бактерий и дрожжей (SCOBY) являются ключевым агентом в процессе ферментации при производстве комбучи, определяя ее функциональные свойства».*

Конкретный подход: *«Когда многослойная биопленка из уксуснокислых бактерий и дрожжей, известная как „чайный гриб“, погружается в сладкий чай, ее сообщество за две недели преобразует каждую молекулу сахарозы в плотный коктейль из уксусной кислоты, глюконовой кислоты и специфических полисахаридов, создавая не только узнаваемый терпкий вкус, но и формируя в напитке естественную пребиотическую матрицу, которая отличает его от пастеризованных аналогов».*

Абстрактный подход использует общие термины: «ключевой агент», «процесс ферментации», «функциональные свойства». Они верны, но не создают картины.

Конкретный подход: (1) создает визуальный образ: «многослойная биопленка... погружается в сладкий чай», (2) использует конкретные референты: «уксуснокислые бактерии и дрожжи», «чайный гриб», «две недели», «молекулу сахарозы», (3) называет точные соединения: «уксусная кислота, глюконовая кислота, специфические полисахариды», которые можно измерить и проанализировать, (4) связывает процесс со свойством: превращение сахарозы в кислоты и полисахариды — это не просто «ферментация», но создание «естественной пребиотической матрицы», которая является

конкретным функциональным преимуществом. Таким образом, второе предложение не просто информирует о роли SCOBY, а визуализирует микроскопический «завод» по производству вкуса и пользы в действии, делая абстрактный концепт «функциональных свойств» осязаемым и научно обоснованным.

Принцип 2: Действительный залог и агентность

Использование действительного залога в первом предложении создает ощущение динамики и уверенности.

Страдательный залог: *«Считается, что применение трансглутаминазы может способствовать улучшению текстуры мясных продуктов».*

Действительный залог: *«Исследования, проведенные в ГНУ ВНИИМП в 2024 г., показывают, что фермент микробной трансглутаминазы сшивает белковые молекулы актомиозина, повышая прочность сцепления в реструктурированных мясных изделиях на 50 % и значимым образом снижая потери влаги при термообработке (Автор, 2024)».*

Страдательная конструкция («Считается...») создает ощущение бездоказательности и анонимности. Читатель не понимает, кто именно «считает» и на каких данных основано это мнение. Глагол «может способствовать» слишком осторожен и не отражает механизма действия.

Действительная конструкция: (1) указывает агента действия: *«Исследования, проведенные в ГНУ ВНИИМП, показывают...».* Такой подход придает утверждению вес и достоверность, указывая на источник данных, (2) использует сильный, конкретный глагол: *«фермент... сшивает белковые молекулы»*, который в противовес слабому *«способствует улучшению»*, прямо описывает биохимический механизм, который можно визуализировать, (3) дает измеримый результат: *«повышая прочность... на 50 %».* Количественный параметр заменяет абстрактное «улучшение текстуры», (4) сохраняет научную сложность, но делает ее прозрачной и понятной: упоминание конкретного белка («актомиозин») и конкретного эффекта («снижая потери влаги») делает утверждение не просто уверенным, но и информационно насыщенным. Таким образом, действительный залог не просто делает предложение грамматически иным, но заставляет автора быть более ответственным и точным, требует указать, **кто действует, что конкретно делает и какой измеримый результат получает.**

Принцип 3: Дисциплинарная терминология как маркер профессиональной идентичности

Уместное использование специализированной терминологии с первого предложения сигнализирует о принадлежности к научному сообществу. Однако критически важен баланс: термины должны быть понятны целевой аудитории журнала без дополнительных объяснений в первом абзаце:

Общий вариант: *«Одной из проблем в создании культивируемого мяса является воспроизведение сложной текстуры настоящей мышечной ткани».*

Вариант с дисциплинарной терминологией: *«Несмотря на прогресс в методах тканевой инженерии, биоинженерные мышечные конструкции in vitro зачастую лишены характерной для постуральной мускулатуры животных иерархической организации саркомеров и сопоставимой плотности внеклеточного матрикса, что ограничивает их реологические показатели».*

Общий вариант использует простые слова («сложная текстура»), которые, хотя и понятны, не передают глубины научной проблемы и не маркируют автора как специалиста. Вариант с терминологией: (1) использует общепринятые в области термины, такие как «тканевая инженерия», «in vitro», «внеклеточный матрикс», «реологические показатели», что сразу указывает на дисциплину и уровень дискуссии, (2) вводит точные, специфичные концепты: «иерархическая организация саркомеров», этот термин точно описывает ультраструктурную проблему, которую необходимо решить, и сразу понятен целевой аудитории (биотехнологам, пищевым инженерам); (4) создает четкий проблемный фокус: предложение не просто констатирует проблему «текстуры», а определяет ее как недостаток на структурном («организация саркомеров») и молекулярном («плотность внеклеточного матрикса») уровнях. Таким образом, уместная терминология служит не для усложнения, а для повышения разрешающей способности высказывания, позволяя в одном предложении сформулировать проблему с точностью, доступной для понимания специалистами в данной области.

Риторические стратегии привлечения внимания: создание когнитивного акцента

В риторике академического письма все большее значение придается когнитивному «крючку» (cognitive hook): приему, который формирует у читателя ожидание интеллектуального открытия и вовлекает его в аргумент еще до того, как сформулирована цель исследования. Подобный эффект достигается когнитивной стимуляцией, активизирующейся при столкновении с конкрет-

ным фактом, статистическим парадоксом или технологическим разрывом, требующим объяснения (Kintsch, 1998; Kidd & Castano, 2013; Samur et al., 2018; Gross & Harmon, 2014). Например, указание на несоответствие между ростом технологических инноваций и их реальным влиянием на здоровье населения или на противоречие между индустриальными практиками и ожиданиями потребителей не только привлекает внимание, но и демонстрирует владение предметным контекстом, способность мыслить в категориях системы, а не только темы (Hyland & Jiang, 2019; Aleshinskaya, 2023).

Включение подобного когнитивного элемента в первый абзац введения выполняет несколько исследовательских и риторических функций одновременно. Во-первых, оно демонстрирует значимость проблемы не декларативно, а аналитически — через указание на противоречие или пробел, подкрепленный данными (Becher & Trowler, 2001). Во-вторых, формирует интеллектуальный тон статьи, позволяя читателю с первых строк распознать уровень рефлексии и исследовательской зрелости автора. В-третьих, такой подход создает предпосылку для перехода к последующим подразделам введения, четко поддерживая логическую связность текста, что отвечает требованиям академического жанра (Swales & Feak, 2021; Hyland, 2018).

Стратегия 1: Нарративное вступление с конкретными технологическими деталями

«При наблюдении в электронный микроскоп за однородной массой растительного белка, прошедшего высокотемпературную экструзию, можно предположить, что мы получили успешный аналог мышечной ткани. Предположение, что внешняя текстура отражает внутреннюю фибриллярную организацию, лежит в основе большинства современных технологий производства растительного мяса».

Такая подводка эффективна по трем причинам: создает визуальный образ на уровне микроструктуры, артикулирует ключевое технологическое ограничение (разрыв между макро- и микроструктурой) и готовит почву для представления нового метода (например, техники «мокрого прядения»). Нарративный элемент («наблюдение в микроскоп») функционально связан с центральным аргументом о несовершенстве существующих подходов.

Стратегия 2: Контринтуитивные утверждения, подкрепленные данными

Утверждения, бросающие вызов общепринятым представлениям, активируют познавательный интерес: *«Синтезированные в лаборатории короткоцепочечные*

жирные кислоты, такие как бутират, при пероральном приеме демонстрируют в 10 раз меньшую биодоступность для колоноцитов, чем те же соединения, продуцируемые *in situ* симбиотической микробиотой в ответ на пребиотические волокна».

Сила этого предложения — в его неочевидности. Оно подрывает упрощенный подход «чем больше, тем лучше» и переносит фокус с введения готовых метаболитов на управление микробным консорциумом хозяина.

Стратегия 3: Историческая контекстуализация с теоретическим прицелом

Исторические референции эффективны, если функционально связаны с современной проблемой: «Еще в 1980-х годах технология рекомбинантной ДНК впервые позволила получать сычужный фермент химозин из микроскопических грибов, что положило начало революции в производстве сыра и позволило отказаться от его экстракции из желудков телят».

Эта фраза использует исторический пример не как украшение, а как отправную точку для обсуждения современного тренда — использования синтетической биологии для производства гораздо более сложных молекул, например белков грудного молока или специфических ферментов для пищевой промышленности.

Стратегия 4: Парадокс или концептуальная напряженность

Обозначение парадокса создает интеллектуальное напряжение, требующее разрешения: «Несмотря на то, что омега-3 полиненасыщенные жирные кислоты однозначно ассоциированы со снижением риска сердечно-сосудистых заболеваний в эпидемиологических исследованиях (Автор, 2025; Author, 2024), крупные рандомизированные клинические испытания по их добавкам в большинстве случаев не показывают статистически значимого положительного эффекта (Автор, 2023; Author, 2024), создавая один из самых устойчивых парадоксов современной нутрициологии».

Подобное обоснованное заявление устанавливает «питательный парадокс» и имплицитно обещает, что текущее исследование предложит механистическое или методологическое объяснение этому противоречию.

Синтаксическое разнообразие как маркер профессионального академического письма

Монотонная синтаксическая структура, при которой все предложения начинаются с подлежащего и следуют жесткой схеме «субъект — предикат — объект», создает впечатление механистичности текста и значительно снижает читательскую вовлеченность. Повторяющиеся синтаксические паттерны воспринимаются как признак неопытности автора и затрудняют восприятие сложной научной информации. Варьирование начал предложений — это не просто стилистический прием, а способ управления вниманием читателя, акцентуации ключевых идей и демонстрации владения академическим регистром языка.

Типы синтаксических вариаций:

(1) *Старт предложения с обстоятельства времени или места.*

Такие конструкции контекстуализируют исследование во временной или географической системе координат, что особенно важно для эмпирических исследований с привязкой к конкретным популяциям или периодам наблюдений.

Стандартная конструкция: «Исследователи обнаружили, что потребление трансжиров в России снизилось на 18 % за последние десять лет (Автор, 2019; Author, 2025)».

Синтаксически выверенный вариант: «За период с 2013 по 2023 г. потребление трансжиров в российской популяции снизилось на 18 %, однако их доля в рационе детей дошкольного возраста по-прежнему превышает рекомендованные ВОЗ 1 % от общей калорийности (Автор, 2023; Author, 2024)».

В доработанном варианте обстоятельство времени открывает предложение, создавая хронологическую рамку, а конкретизация относительно детской популяции добавляет научную точность и обозначает актуальную проблему.

(2) *Старт предложения с причастного или деепричастного оборота.*

Причастные и деепричастные обороты позволяют компактно включить дополнительную информацию, создавая многослойность высказывания и демонстрируя способность автора к синтаксической компрессии.

Стандартная конструкция: «Сердечно-сосудистые заболевания составляют 31 % от общего числа смертей в мире (Автор, 2023). Они представляют собой крити-

ческий объект для профилактических диетологических вмешательств».

Синтаксически выверенный вариант: «Составляя 31 % от глобального бремени смертности, сердечно-сосудистые заболевания представляют собой приоритетную мишень для превентивных нутрициологических стратегий, однако эффективность диетических паттернов варьирует в зависимости от генетических полиморфизмов липидного метаболизма (Автор 2025; Автор 2023)».

(3) Старт с подчиненного (придаточного) предложения.

Подчиненные конструкции эффективно создают контраст между предшествующим знанием и новым вкладом, что особенно ценно для обозначения исследовательских лакун.

Стандартная конструкция: «Предыдущие мета-анализы выявили умеренные эффекты омега-3 жирных кислот на когнитивные функции (Автор 2025; Автор 2023). Однако новые методологические подходы позволяют пересмотреть эти выводы».

Синтаксически выверенный вариант: «Хотя предшествующие метаанализы ($n = 24$ исследования, суммарно 8 476 участников, см. Приложение 1) идентифицировали лишь умеренное влияние омега-3 полиненасыщенных жирных кислот на когнитивную производительность ($d = 0,23$, 95 % CI [0,11; 0,35]), недавние исследования с применением высокоточной масс-спектрометрии липидных профилей крови указывают на критическую роль соотношения EPA/DHA (Автор 2025; Автор 2024), ранее не учитываемого в агрегированных оценках».

Этот пример демонстрирует несколько техник одновременно: стартуя с придаточного уступки, включает точные статистические параметры, акцентирует методологические инновации.

(4) Инверсия: вынесение на первое место важного элемента.

Инверсия (изменение типичного порядка слов) акцентирует внимание на ключевом концепте или результате.

Стандартная конструкция: «Российские потребители стали приобретать на 67 % больше продуктов с маркировкой „без глютена“ в 2020–2023 гг., хотя медицинская целиакия диагностирована менее чем у 1 % населения (Автор 2025; Автор 2023)».

Синтаксически выверенный вариант: «На 67 выросло потребление продуктов с маркировкой „без глютена“ в российской популяции в период 2020–2023 гг., при том что верифицированная целиакия диагностиро-

вана менее чем у 0,8 % взрослого населения (Автор 2025; Автор 2023), что указывает на формирование „псевдо-медицинских“ паттернов пищевого поведения, требующих критического анализа».

Вынесение количественных данных на первое место создает эффект неожиданности и немедленно захватывает внимание.

Демонстрация экспертности через цитирование: стратегическое использование источников

Способ интеграции научных источников в первый абзац статьи служит значимым индикатором исследовательской зрелости авторов и их владения дисциплинарным дискурсом. Цитирование — это не просто формальное подтверждение фактов, но риторический инструмент позиционирования собственного исследования в ландшафте существующего знания (Тихонова & Кириллова, 2022).

Принцип селективного цитирования

Первый абзац не должен быть перегружен библиографическими ссылками: избыточное цитирование создает впечатление неуверенности автора, компилятивности работы или стремления «спрятаться» за авторитетами вместо формулирования собственной исследовательской позиции. Оптимальная стратегия: 1–3 ключевые ссылки на высокоавторитетные источники, которые устанавливают центральность проблемы, предоставляют базовые эпидемиологические данные или обозначают консенсус/разногласия в научном сообществе.

Неэффективный пример (избыточное цитирование): «Депрессия является значимой проблемой психического здоровья, которая влияет на производительность труда и качество жизни пациентов. Многие исследования посвящены данной теме (Автор, 2025; Автор, 2024)».

Проблемы такого подхода к цитированию: (1) нагромождение неинформативных отсылок создает визуальный шум, (2) отсутствие конкретных данных (что именно установили эти источники?), (3) использование пассивных конструкций («является», «посвящены»), (4) размытость идеи специфичности: аспекты депрессии, какие популяции, какие механизмы?

Эффективный пример (селективное цитирование): «Большое депрессивное расстройство поражает приблизительно 280 миллионов человек в мире и занимает первое место среди причин инвалидизации (WHO, 2021), однако нейробиологические механизмы резистентности к фармакотерапии остаются малоизученными».

Преимущества такого подхода к цитированию: (1) одна авторитетная ссылка (ВОЗ) придает утверждению максимальный вес, (2) приведены конкретные эпидемиологические данные (280 млн, первое место), (3) раннее обозначение исследовательского пробела, (4) используется активная конструкция («поражает», «занимает»)

Интеграция цитат без нарушения нарративного потока

Ссылки должны быть органично встроены в синтаксическую структуру предложения, не прерывая его логического развития. Избегайте конструкций, где каждое простое утверждение сопровождается отдельной ссылкой — это создает рваный ритм чтения.

Прерывистая интеграция (избегать): «Согласно Автору 1 и соавт. (2020), витамин D важен для здоровья костей. По данным Автора 2 (2021), его дефицит распространен. Автор 3 и соавт. (2022) также отмечают эту проблему».

Плавная интеграция (рекомендуется): «Несмотря на критическую роль витамина D в костном метаболизме и иммунной регуляции, его сывороточные концентрации ниже 30 нг/мл обнаруживаются у 68 % российского взрослого населения в зимние месяцы (Автор 1 и соавт., 2020; Автор 2, 2021), что коррелирует с 2,3-кратным увеличением частоты респираторных инфекций по сравнению с популяцией с достаточной обеспеченностью (Автор 3 и соавт., 2022)».

Преимущества плавной интеграции: (1) две взаимосвязанные ссылки объединены в одной части предложения, (2) третья ссылка поддерживает следующий логический блок (о последствиях дефицита), (3) конкретные количественные данные (68 %, 30 нг/мл, 2,3-кратное увеличение), (4) непрерывный нарративный поток.

Баланс между авторитетностью и независимостью

Чрезмерная зависимость от утверждений предыдущих исследователей может создать впечатление, что у авторов нет собственной исследовательской позиции. Эффективная стратегия — использовать ссылки для контекстуализации и валидации фактических данных, но формулировать интерпретации, противоречия и исследовательские вопросы собственным голосом.

Пример слишком зависимого цитирования: «Как отмечают Автор 1 и соавт. (2021), пробиотики могут быть полезны. Автор 2 (2022) указывает на необходимость дополнительных исследований. Автор 3 и соавт. (2023) считают эту область перспективной».

Пример сбалансированного подхода: «Семь рандомизированных контролируемых исследований (суммарно $n = 1\,247$) продемонстрировали умеренное снижение симптомов синдрома раздраженного кишечника при приеме мультиштаммовых пробиотиков (стандартизированная разница средних $-0,42$, 95 % CI $[-0,68; -0,16]$). Однако высокая гетерогенность эффектов между исследованиями ($I^2 = 74\%$) и отсутствие биомаркеров для предикции респондеров указывают на необходимость персонализированных подходов к назначению пробиотических вмешательств».

В этом примере первое предложение опирается на метааналитические данные (со ссылками), а второе предложение представляет собственную интерпретацию и формулирует исследовательскую перспективу.

Рекомендации по структурированию первого абзаца оригинального эмпирического исследования

Оптимальная модель первого абзаца для оригинального эмпирического исследования должна сочетать структурную предсказуемость с когнитивным напряжением:

(1) Тематическое предложение с когнитивным акцентом. Откройте абзац конкретной формулировкой исследуемого феномена в обозначенных временных/пространственных границах и сразу укажите точку напряжения (парадокс, несоответствие, дефицит согласованности). Предпочтительным является использование верифицируемых маркеров — годы, проценты, объемы, диапазоны. Роль первого предложения — не сообщить «важность вообще», а продемонстрировать ситуативную актуальность феномена. На этом этапе недопустимы заявления о целях и вкладе текущего исследования в существующее знание в предметной области. Вводящее предложение-хук задает конкретный научный контекст и сразу маркирует точку напряжения (несоответствие, пробел, парадокс). В терминах CARS-модели J. Swales — это Ход 1 (установление «территории») с акцентом на центральность темы⁴, требующий опоры

⁴ Заявка на центральность темы внутри дискурсивного сообщества (обязует сослаться: «многие исследователи...», «кумулятивные данные указывают...»). Наиболее частотно центральность темы заявляется с опорой на цитату, что таит в себе риск превратить тезис в пустую декларацию. Защита тезиса — через конкретизацию метрикой/датой/обзором (повышает «проверяемость» и дисциплинарную тональность; у обзоров, выполненных строго по объективной методологии, доказательная сила выше, чем у отдельных эмпирических исследований).

на источники или, реже, на нейтральную генерализацию более общего тезиса⁵.

(2) Дисциплинарная локализация. Сузив поле, обозначьте релевантную подсферу/популяцию/сценарий применения и назовите ключевые метрики, которыми оперирует дисциплина. Поддержите центральность явления одной-двумя селективными ссылками высокой доказательности (обзоры, мета-анализы, консенсус-документы). На этом этапе уместны минимально-достаточные данные/ссылки, уточняющие контекст и задающие рамки последующего анализа (1–2 источника высокой доказательности/сводные данные по ключевым метрикам), без расширения в обзор литературы.

(3) Контекстуализированный контраст «ожидание → наблюдение». Четко артикулируйте расхождение между ожидаемым состоянием дел (нормативные модели, технологические обещания, теоретические предсказания) и фактическими наблюдениями. Формулировка должна быть привязана к сопоставимым показателям/порогам, а не к оценочным эпитетам. Именно здесь операционализируется напряжение: фиксируется маркированный разрыв «ожидание → наблюдение» (например, *технологический прогресс ≠ потребительские/клинические исходы*), дефицит знания или технологический «зазор» между возможностями и достигнутыми результатами, опираясь на минимально-достаточные эмпирические маркеры.

(4) Операционализированный дефицит. Продолжая зафиксированный в (3) разрыв, переведите его в измеримые термины: вариабельность, охват, несогласованность метрик, методологические расхождения, реплицируемость. Задача этого предложения – превратить общую актуальность в исследовательский вектор, используя количественные или формально-процедурные маркеры (например, «доля охвата ≤ ...», «отсутствует согласованный набор индикаторов для ...», «наличие функционала А при неизменности исходов В» как признак технологического «зазора»). Функционально это предложение фиксирует квантитативные/процедурные маркеры расхождения, не апеллируя к степени изученности темы (в этом ее отличие от шага, призванного зафиксировать пробел знания в предыдущих исследованиях по теме).

(5) Значимость для теории/метода/практики. Кратко и предметно поясните последствия установленных дефицитов: где именно проявляется риск теоретической неопределённости, методологической неоднородности или практических потерь. Представьте аналитический вывод, а не эмоциональную оценку, который остаётся

внутри логики поля и не переходит к заявлению целей исследования.

(6) Объяснительный переход (предварительная операционализация механизмов). Нейтрально очертите 2–3 параметра или механизма, через которые в принципе может быть интерпретирован дефицит (например, особенности выборки, различия в протоколах, скрытые ковариаты, эффекты переноса). Формулировка служит настройкой аналитического фокуса и вводит рабочую терминологию, не раскрывая дизайн текущего исследования.

(7) Мотивированный переход к следующему абзацу (без выхода за пределы первого хода). Абзац следует завершать нейтральной формулой мотивации поля, фиксирующей потребность в согласованной систематизации подходов/метрик либо в аналитической проверке ключевых факторов в релевантных контекстах. Заключительная фраза первого абзаца выполняет роль структурного замка, обеспечивая переход к обзору статус-кво и поддерживая линейную когезию введения; любые указания на цели, методологию, новизну и результаты данной работы выносятся в третий ход модели CARS.

Разбор первого абзаца введения

Тема: Технологический дизайн ультрапереработанных пищевых матриц на основе альтернативных белков и их метаболические исходы

Несмотря на то, что масштабные когортные исследования, такие как французская когорта NutriNet-Santé ($n > 170,000$), последовательно демонстрируют, что увеличение доли ультрапереработанных продуктов в рационе на 10 % ассоциировано с 15%-м ростом риска кардиометаболических заболеваний (Автор, 2025), глобальное потребление этих продуктов продолжает расти, достигая в некоторых регионах 60 % от суточного калоража (Автор, 2024). Парадоксальным образом этот тренд совпадает по времени с революцией в области биотехнологии пищи: методы экструзии с высоким сдвиговым напряжением и ферментативной модификации белка позволили создавать изоляты растительного происхождения с почти идентичной животному протеину усвояемостью ($>90\%$) (Автор, 2025). Однако систематические обзоры выявляют значительную вариабельность постпрандиального гликемического ответа – до 40 % между продуктами со сходным макронутриентным составом (Автор, 2025), а данные потребительских панелей фиксируют, что лишь 12 % домохозяйств регулярно включают альтернативные белки в свой рацион, ссылаясь на «неестественность» вкуса и текстуры (Автор, 2025).

⁵ Нейтральное общее утверждение (несет меньшую доказательную силу). Генерализация допустима только при высокой информационной плотности и немедленной конкретизации во втором предложении; иначе – «общие слова» и потеря доверия.

Таким образом, насущной методологической проблемой становится не столько дальнейшее наращивание питательной ценности, сколько систематизация параметров технологического дизайна (пористость, гидратация, степень текстурирования), которые опосредуют фундаментальный разрыв между сенсорным восприятием, физиологическим ответом и долгосрочными воздействиями на здоровье потребителей.

Анализ этого абзаца позволяет зафиксировать наличие следующих элементов:

(1) Тематическое предложение с когнитивным акцентом присутствует, но

- оно перегружено придаточной конструкцией «Несмотря на то, что...»;
- приведены конкретные данные (10% → +15% риска; доля УПП в калораже до 60%). Заявлена не абстрактная «связь», а дана количественная оценка. Рекомендуются инвертировать: сначала факт-масштаб, затем «несмотря на». Например, «В когорте NutriNet-Santé ($n > 170\,000$) увеличение доли УПП в рационе на 10% ассоциировано с ростом риска кардиометаболических заболеваний на 15% (Автор, 2025); при этом в ряде регионов потребление УПП достигает ~60% суточной калорийности (Автор, 2024). Несмотря на такую динамику, ...»;
- источник (Автор, 2025) (крупная авторитетная когорта) используется не для констатации, а для доказательства масштаба проблемы. Это селективное и весомое цитирование.

(2) Дисциплинарная локализация представлена частично:

- поле «биотехнология пищи/альтернативные белки» присутствует, упомянуты методы (экструзия, ферментативная модификация), введен показатель усвояемости.
- «Парадоксальным образом...» — прямое указание на противоречие, интеллектуальный крючок.
- введение технологического контекста с конкретикой: «экструзия с высоким сдвиговым напряжением», «усвояемостью (>90%)», демонстрирует владение дисциплинарной терминологией.
- Источник подтверждает успех технологий, делая парадокс еще более явным: технологии существуют, а проблемы не преодолены.

(3) Контекстуализированный контраст «ожидание → наблюдение» — присутствует:

- технологический прогресс ↔ устойчивый рост риска/потребления УПП; формула «прогресс ≠ исходы» проговаривается;
- «Однако...» — плавный переход к сути проблемы.
- Для того, чтобы контекстуальный контраст проявлялся более эффективно, то есть конкретно «фиксировал разрыв» (прогресс ≠ исходы) на метриче-

ской основе и подготавливал операционализацию описываемого дефицита, не подменяя ход о пробеле в знании, его лучше перформулировать следующим образом: «Несмотря на расширение функционала технологического дизайна (включая высоковлажную экструзию и ферментативную модификацию с усвояемостью изолятов >90%), ожидаемая конверсия технологических улучшений в поведенческие и физиологические исходы систематически не реализуется: при сопоставимом макронутриентном профиле наблюдается до 40% разброса постпрандиального ответа между продуктами, тогда как агрегированное потребление УПП в ряде регионов удерживается на уровне около 60% суточной калорийности».

(4) Операционализированный дефицит представлен в двух осях: (1) физиология — *вариабельность постпрандиального ответа до 40% при сопоставимом макросоставе*; (2) поведение — *лишь 12% домохозяйств регулярно включают альтернативные белки*. Это весьма эффективный подход: описывается состояние показателей, а не пробел литературы по теме.

Общее абстрактное утверждение о проблемном зазоре звучало бы так: «Существует разрыв между технологическими возможностями и их влиянием на здоровье». В такой подаче не понятно, что именно исследовать. Операционализация этого зазора позволяет получить вместо туманного заявления «есть проблема» — четкие целевые точки для исследования: (1) изучить, какие параметры продукта (пористость, текстура) объясняют 40%-ю вариабельность в гликемическом ответе; (2) исследовать, как изменения в этих параметрах влияют на восприятие «неестественности» и, как следствие, на готовность потребителей покупать продукт.

- Конкретные числовые данные: «*вариабельность... до 40%*» = представлены не просто «разные эффекты», а измеримый разброс.
- Источник подкрепляет это утверждение.
- Второй (потребительский) аспект проблемы подтвержден данными «*лишь 12%*» и источником. Цитирование непрерывное и органичное.

(5) Значимость/ставки — имплицитно присутствуют, но растворены в описании: ставки (несоответствие сенсорики/физиологии/долгосрочные исходы) не выделены отдельной фразой. Рекомендуется краткая аналитическая интерпретация. Оптимальная формула: «*Указанная конфигурация снижает переносимость результатов между [контекстами/популяциями] и ограничивает валидность [метода/показателя] как предиктора [исхода]*».

(6) Объяснительный переход/предварительная операционализация механизмов — намечен: «*пористость,*

гидратация, степень текстурирования». Такой подход позволяет протранслировать язык дальнейшей операционализации.

(7) Мостик ко второму абзацу Введения формально присутствует, но формула «насущной методологической проблемой становится...» граничит с Ходом 2 (указание на «проблему» поля) и частично с Ходом 3 (намек на траекторию исследования). Лучше использовать нейтральную мотивирующую формулу без указания проблемы. Например, «Указанные расхождения обосновывают актуальность систематизированного рассмотрения параметров технологического дизайна (пористость, гидратация, степень текстурирования) как посредников между сенсорным восприятием, постпрандиальным ответом и долгосрочными исходами».

Таким образом, структура предложения 1–6 реализована убедительно, заключительное предложение требует доработки. Но и в текущем своем варианте проанализированный абзац не просто информирует, а убеждает рецензентов и читателей в том, что исследование основано на глубоком анализе поля, методологически обосновано

и фокусируется на действительно актуальной и сложной проблеме. Экспертность авторов демонстрируется через владение терминологией, понимание технологических процессов и физиологических последствий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Неэффективный первый абзац введения к эмпирическому исследованию характеризуется не только клише и абстрактностью, но и отсутствием контекстуальной привязки, слабой авторской позицией, недостатком вовлеченности, перегрузкой жаргоном, игнорированием исследовательского пробела, избыточной длиной и несоответствием аудитории. Эти признаки снижают шансы статьи на успех в рецензировании и восприятии читателями. Создание убедительного первого абзаца требует точности, оригинальности и стратегического подхода к риторике, чтобы установить актуальность и когнитивный хук, избегая ловушек шаблонного письма. Использование вышеуказанных рекомендаций поможет авторам повысить качество вступления, делая его маяком интеллектуальной новизны и научной значимости.

ЛИТЕРАТУРА

- Косычева, М. А., & Тихонова, Е. В. (2022). Введение к эмпирической статье: от структуры к функциональному содержанию. *Health, Food & Biotechnology*, 4(2), 6–16. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i2.s155>
- Тихонова, Е.В. & Кириллова, О.В. (2022). Культура цитирования: поведение цитирующих авторов vs доверие к результатам научных исследований. *Научный редактор и издатель*, 7(2), 166–181. <https://doi.org/10.24069/SEP-22-58>
- Alanazi, M., & Alqarni, M. (2022). The very first sentence in research article introductions: A rhetoric comparative approach. *Heliyon*, 8(8), e10241. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10241>
- Aleshinskaya, E. V. (2023). Rhetorical structure of research paper introductions in computer science: a comparative analysis. *RESEARCH RESULT. Theoretical and Applied Linguistics*, 9(3). <https://doi.org/10.18413/2313-8912-2023-9-3-0-4>
- Becher, T., & Trowler, P. (2001). *Academic tribes and territories: Intellectual enquiry and the culture of disciplines*. Open University Press.
- Barsalou, L. W., Dutriaux, L., & Scheepers, C. (2018). Moving beyond the distinction between concrete and abstract concepts. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1752), 20170144. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0144>
- Gross, A. G., & Harmon, J. E. (2014). *Science from sight to insight: How scientists illustrate meaning*. The University of Chicago Press
- Hyland, K. (1990). A Genre Description of the Argumentative Essay. *RELIC Journal*, 21(1), 66–78. <https://doi.org/10.1177/003368829002100105>
- Hyland, K. (2018). *Metadiscourse: Exploring Interaction in Writing*. Bloomsbury Publishing.
- Hyland, K., & Jiang, F. (2019). *Academic Discourse and Global Publishing*. Routledge eBooks. <https://doi.org/10.4324/9780429433962>

- Kidd, D. C., & Castano, E. (2013). Reading literary fiction improves theory of mind. *Science*, 342(6156), 377–380. <https://doi.org/10.1126/science.1239918>
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge University Press.
- Rochma, A. F., Triastuti, A., & Ashadi (2020). Rhetorical styles of introduction in English language teaching (ELT) research articles. *Indonesian Journal of Applied Linguistics*, 10(2), 304–314. <https://doi.org/10.17509/ijal.v10i2.28593>
- Samur, D., Tops, M., & Koole, S. L. (2018). Does a single session of reading literary fiction prime enhanced mentalising performance? Four replication experiments of Kidd and Castano (2013). *Cognition & emotion*, 32(1), 130–144. <https://doi.org/10.1080/02699931.2017.1279591>
- Swales, J. M. (1990). *Genre Analysis: English in Academic and Research Settings*. Cambridge University Press.
- Swales, J. (2004). *Research genres: Exploration and application*. Cambridge University Press.
- Swales, J. M., & Feak, C. B. (2012). *Academic writing for graduate students: Essential tasks and skills*. University of Michigan Press.
- Tavakol, M., & O'Brien, D. (2023). The importance of crafting a good introduction to scholarly research: strategies for creating an effective and impactful opening statement. *International Journal of Medical Education*, 14(14), 84–87. <https://doi.org/10.5116/ijme.6499.82af>
- Tikhonova, E. V., & Mezentseva, D. A. (2024). Wordiness in academic writing: a systematic scoping review. *Research Result. Theoretical and Applied Linguistics*, 10(1), 133–157. <https://doi.org/10.18413/2313-8912-2024-10-1-0-8>
- Tikhonova, E., Zavolskaya, O., & Mekeko, N. (2025). Stylistic redundancy and wordiness in introductions of original empirical studies: Rhetorical risks of academic writing. *Journal of Language and Education*, 11(2), 125–136. <https://doi.org/10.17323/jle.2025.27389>

REFERENCES

- Alanazi, M., & Alqarni, M. (2022). The very first sentence in research article introductions: A rhetoric comparative approach. *Heliyon*, 8(8), e10241. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10241>
- Aleshinskaya, E. V. (2023). Rhetorical structure of research paper introductions in computer science: a comparative analysis. *RESEARCH RESULT. Theoretical and Applied Linguistics*, 9(3). <https://doi.org/10.18413/2313-8912-2023-9-3-0-4>
- Becher, T., & Trowler, P. (2001). *Academic tribes and territories: Intellectual enquiry and the culture of disciplines*. Open University Press.
- Barsalou, L. W., Dutriaux, L., & Scheepers, C. (2018). Moving beyond the distinction between concrete and abstract concepts. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 373(1752), 20170144. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0144>
- Gross, A. G., & Harmon, J. E. (2014). *Science from sight to insight: How scientists illustrate meaning*. The University of Chicago Press
- Hyland, K. (1990). A Genre Description of the Argumentative Essay. *RELC Journal*, 21(1), 66–78. <https://doi.org/10.1177/003368829002100105>
- Hyland, K. (2018). *Metadiscourse: Exploring Interaction in Writing*. Bloomsbury Publishing.
- Hyland, K., & Jiang, F. (2019). *Academic Discourse and Global Publishing*. Routledge eBooks. <https://doi.org/10.4324/9780429433962>
- Kidd, D. C., & Castano, E. (2013). Reading literary fiction improves theory of mind. *Science*, 342(6156), 377–380. <https://doi.org/10.1126/science.1239918>
- Kintsch, W. (1998). *Comprehension: A paradigm for cognition*. Cambridge University Press.
- Kosycheva, M. A., & Tikhonova, E. V. (2022). Research article introduction: From structure to functions. *Health, Food & Biotechnology*, 4(2), 6–16. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i2.s155> (In Russ.)

- Rochma, A. F., Triastuti, A., & Ashadi (2020). Rhetorical styles of introduction in English language teaching (ELT) research articles. *Indonesian Journal of Applied Linguistics*, 10(2), 304–314. <https://doi.org/10.17509/ijal.v10i2.28593>
- Samur, D., Tops, M., & Koole, S. L. (2018). Does a single session of reading literary fiction prime enhanced mentalising performance? Four replication experiments of Kidd and Castano (2013). *Cognition & emotion*, 32(1), 130–144. <https://doi.org/10.1080/02699931.2017.1279591>
- Swales, J. M. (1990). *Genre Analysis: English in Academic and Research Settings*. Cambridge University Press.
- Swales, J. (2004). *Research genres: Exploration and application*. Cambridge University Press.
- Swales, J. M., & Feak, C. B. (2012). *Academic writing for graduate students: Essential tasks and skills*. University of Michigan Press.
- Tavakol, M., & O'Brien, D. (2023). The importance of crafting a good introduction to scholarly research: strategies for creating an effective and impactful opening statement. *International Journal of Medical Education*, 14(14), 84–87. <https://doi.org/10.5116/ijme.6499.82af>
- Tikhonova, E. V., & Kirillova, O. V. (2022). Citation culture: Citing authors behaviour vs trust in research results. *Science Editor and Publisher*, 7(2), 166–181. <https://doi.org/10.24069/SEP-22-58> (In Russ.)
- Tikhonova, E. V., & Mezentseva, D. A. (2024). Wordiness in academic writing: a systematic scoping review. *Research Result. Theoretical and Applied Linguistics*, 10(1), 133–157. <https://doi.org/10.18413/2313-8912-2024-10-1-0-8>
- Tikhonova, E., Zavolskaya, O., & Mekeko, N. (2025). Stylistic redundancy and wordiness in introductions of original empirical studies: Rhetorical risks of academic writing. *Journal of Language and Education*, 11(2), 125–136. <https://doi.org/10.17323/jle.2025.27389>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Практические рекомендации для авторов

Синтаксис и цитирование

- (1) Анализируйте первые абзацы статей в целевом журнале: выделите 5–10 недавно опубликованных статей из вашей области и систематически проанализируйте синтаксические паттерны и стратегии цитирования их первых абзацев.
- (2) Создайте синтаксический шаблон-репертуар: соберите 10–15 синтаксических моделей начала предложений из лучших образцов и адаптируйте их к собственному материалу.
- (3) Правило «одна ссылка — одна функция»: каждая ссылка в первом абзаце должна иметь четкую функцию — либо устанавливать эпидемиологическую/коммерческую значимость, либо обозначать методологический консенсус, либо указывать на противоречие.
- (4) Тест на «удаление ссылок»: временно удалите все ссылки из первого абзаца и прочтите текст. Остается ли он содержательным и информативным? Если без ссылок абзац превращается в набор пустых утверждений — это сигнал о недостаточной собственной концептуальной работе.
- (5) Варьируйте длину предложений: оптимальная структура первого абзаца — чередование более длинных (20–30 слов) аналитических предложений с короткими (10–15 слов) акцентирующими конструкциями.
- (6) Владение синтаксическим разнообразием и стратегическим цитированием — это признаки не просто хорошего писателя, но зрелого исследователя, способного позиционировать собственную работу в сложном ландшафте дисциплинарного знания с уверенностью, точностью и риторической убедительностью.

Язык и тон: профессиональный, но не перегруженный

Первый абзац не должен звучать как «обзор литературы». Его стиль — аналитический, но живой:

- (1) Наличие действия: избегайте безличных конструкций типа *“было показано, что...”*, заменяйте их на *“новые данные свидетельствуют, что...”*, *“анализ последних метаобзоров выявил...”*.
- (2) Лексическая плотность: каждое слово должно нести смысловую нагрузку.
- (3) Семантическая энергия: используйте слова, которые несут движение — разрыв, сдвиг, несоответствие, напряжение, пересечение, дефицит, инерция.
- (4) Умеренный академизм: избегайте громоздких канцеляризмов (*“имеет место тенденция к возрастанию...”*) в пользу прямых форм (*“тенденция усиливается”*).

Что действительно показывает высокий уровень экспертности

Редакторы и рецензенты мгновенно считывают уровень автора по трем признакам первого абзаца:

1. Прецизионность фокуса: тема очерчена узко, нет обобщений.
2. Осведомленность в данных и controversиях: упомянуты конкретные факты, цифры или дебаты, а не общие «тенденции».
3. Логическая когерентность: абзац читается как аргумент, а не как собрание утверждений.

Практическая техника для авторов

Перед написанием первого абзаца задайте себе три вопроса:

1. Что сейчас «движется» в поле? (тенденция, сдвиг, новая технология)
2. Где в этом движении возникает несоответствие, дефицит, пробел?
3. Почему это несоответствие заслуживает эмпирического изучения именно сейчас?

Эти три вопроса формируют интеллектуальный каркас абзаца. Лучший первый абзац — это не «объявление темы», а приглашение в интеллектуальный диалог.

Чек-лист для проверки качества первого абзаца Введения к оригинальному эмпирическому исследованию

1. Работает функционально: контекст → когнитивное напряжение → вектор для развития остальных частей введения.
2. Представлен конкретный предметный контекст (термины поля, а не общие слова).
3. Представлена минимум одна точная ссылка в зоне обоснования центральности темы.
4. Представлен однозначно вербализованный *разрыв/дефицит* (двумя-тремя фактуальными маркерами).

Редакторские запреты для первого абзаца:

1. Клише «в последнее время/на сегодняшний день» без дат и источников;
2. Метафоричность в тезисе;
3. Перечислительная «удочка» без аналитического хода;
4. «Параграф-предложение» и иные нарушения абзацной нормы.

К вопросу о научных и технологических принципах создания поликомпонентных продуктов питания на мясной основе.

Научная школа академика РАН Е. И. Титова

Т. Н. Данильчук

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

Корреспонденция:

Данильчук Татьяна Николаевна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), 125080, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 11
E-mail: danilchuktn@mgupp.ru

Конфликт интересов:

автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 10.09.2025

Поступила после

рецензирования: 25.09.2025

Принята: 30.09.2025

Copyright: © 2025 Автор

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена памяти академика РАН Евгения Ивановича Титова. Тринадцатого октября 2025 г. ему исполнилось бы 80 лет. В 2025 г. мы отмечаем и 95-летний юбилей ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (РОСБИОТЕХ)». В статье акцентируется внимание на значимости научной школы академика РАН Е. И. Титова для развития науки о пище, студенческой науки и поддержки талантливых молодых ученых. В рамках подготовки статьи был проведен анализ научной литературы о соответствии различных концепций питания законам рационального питания. В данной статье также показана актуальность исследований по созданию продуктов питания для здоровьесбережения, адекватных потребностям организма человека. Представлен анализ развития исследований в университете РОСБИОТЕХ, направленных на построение научных и технологических основ проектирования пищи, создание экспертной системы оптимизации состава продуктов, разработки и освоения нового поколения продуктов общего, профилактического и лечебного питания. Эти исследования неразрывно связаны с именем Е. И. Титова. Описаны основные достижения фундаментальных и прикладных исследований научной школы академика Е. И. Титова. Приведены сведения о деятельности научно-образовательного центра «Биотехнологии продуктов питания животного происхождения», который возглавлял Е. И. Титов. Обозначены перспективы применения методологических подходов, сформированных научной школой академика Е. И. Титова, в создании поликомпонентных продуктов питания с заданными свойствами для решения проблемы обеспечения населения продуктами, сочетающими в себе достоинства сырья животного и растительного происхождения, а также соответствующими потребностям организма человека.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

продукты питания на мясной основе, модифицированное коллагенсодержащее сырье, растительные волокна, растительный белок



Для цитирования: Данильчук, Т. Н. (2025). К вопросу о научных и технологических принципах создания поликомпонентных продуктов питания на мясной основе. Научная школа академика РАН Е. И. Титова. *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 23-33. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s293>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s293>

About Scientific and Technological Foundations of Creating Multi-Component Meat-Based Food Products. RAS Academician E.I. Titov's School of Thought

Tatiana N. Danilchuk

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Tatiana N. Danilchuk,
Russian Biotechnological University, 11,
Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia
E-mail: danilchuktn@mgupp.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 10.09.2025

Received in revised form: 25.09.2025

Accepted: 30.09.2025

Copyright: © 2025 The Author

ABSTRACT

The article is dedicated to the memory of the academician of the Russian Academy of Sciences Evgeny Ivanovich Titov. He would have turned 80 on October 13, 2025. In 2025, we will also celebrate the 95th anniversary of the Russian Biotechnology University. This article focuses on the importance of the scientific school of the academician of the Russian Academy of Sciences E.I. Titov for the development of food science, the development of student science, and the support of talented young scientists. An analysis of scientific literature on the compliance of various nutritional concepts with the laws of rational nutrition is conducted, and the relevance of developing research on the creation of health-preserving food products that are adequate to the needs of the human body is shown. An analysis was conducted of the development of research at the Russian Biotechnology University in the field of creating scientific and technological foundations for food design, an expert system for optimizing the composition of products, and the creation and development of a new generation of general, preventive, and therapeutic nutrition products. These studies are inextricably linked with the name of E.I. Titov. The main achievements of fundamental and applied research of the Academician E.I. Titov scientific school are described. Information on the activities of the scientific and educational center «Biotechnology of food products of animal origin», which was headed by E.I. Titov, is given. The prospects for the application of methodological approaches developed by the scientific school of Academician E.I. Titov in the creation of multi-component food products with specified properties are outlined to solve the problem of providing the population with products that combine the advantages of raw materials of animal and plant origin and are adequate to the needs of the human body.

KEYWORDS

meat-based food products; modified collagen-containing raw materials; vegetable fibers; vegetable protein



To cite: Danilchuk, T. N. (2025). About Scientific and Technological Foundations of Creating Multi-Component Meat-Based Food Products. RAS Academician E.I. Titov's School of Thought. *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 23-33. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s293>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время среди населения всё большую популярность приобретают вопросы здорового образа жизни, в связи с чем возрастает потребность в продуктах для здоровьесбережения. Обеспечение населения такими продуктами — важная задача пищевой индустрии. Актуальным для специалистов и ученых, разрабатывающих новые полезные продукты, является рациональное использование ресурсов, в частности вторичных продуктов переработки сельскохозяйственного сырья. Интересными теоретическими и практическими аспектами в этом направлении представляются исследования, ориентированные на эффективное использование биологического потенциала сырья животного и растительного происхождения путем научно обоснованного комбинирования их жизненно важных нутриентов. Известный российский ученый в области технологий пищевых продуктов животного происхождения, академик РАН Е. И. Титов, предложил новые технологии переработки сырья и производства пищевых продуктов общего, профилактического и лечебного назначения, основанных на комплексной методологии проектирования пищевых продуктов и применении достижений биотехнологии.

Е. И. Титов активно развивал и внедрял системный подход к изучению качественных показателей продуктов переработки сырья растительного и животного происхождения, анализировал влияние механических, физико-химических, биохимических и биотехнологических способов воздействия на качество готовых изделий в процессе переработки. Это позволило разработать методологию создания поликомпонентных продуктов питания на мясной основе, оптимизировать их нутриентную адекватность для эффективного здоровьесбережения, поддержания физиологических функций организма и повышения его устойчивости к внешним факторам. Научная школа академика Е. И. Титова «Формирование функциональной направленности пищевых продуктов для различных групп населения на основе животного и растительного сырья с использованием биопрепаратов и биологически активных веществ» была поддержана грантом Президента РФ (НШ-5834.2014.4.). В процессе развития научной школы университета «РОСБИОТЕХ» сформировались научные направления, связанные не только с методологией разработки поликомпонентных продуктов питания на мясной основе и исследованием их пищевой и технологической адекватности, но и с созданием рационов питания школьников, экспертной системой индивидуального питания использованием синбиотиков в технологии продуктов питания, а также с интенсификацией процессов переработки белкового сырья животного происхождения.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Стремление населения к здоровому образу жизни, в том числе к сохранению здоровья путем правильного питания, привело к созданию различных концепций и систем питания. Общепризнанными в научной среде являются формула сбалансированного питания, предложенная академиком А. А. Покровским, и теория адекватного питания, большой вклад в разработку которой внес академик А. М. Уголев. Теория адекватного питания послужила основой для разработки научных концепций питания, в том числе концепции функционального питания, концепции дифференцированного питания, концепции направленного (целевого) питания, концепции индивидуального питания. В соответствии с теорией адекватного питания идеальной является пища, необходимая конкретному человеку в конкретных условиях. Тогда соблюдаются все законы рационального питания: закон энергетической адекватности, закон нутриентной адекватности, закон энзиматической (ферментной) адекватности, закон биотической адекватности.

Организовать потребление пищи согласно законам рационального питания удастся далеко не всем, что можно трактовать как недостаток теории адекватного питания. В обществе в той или иной степени распространены и другие, так называемые альтернативные теории питания. Наиболее популярная — вегетарианство (Риттенау, 2024). Как известно, эта система подразумевает питание преимущественно либо исключительно растительной пищей. Вегетарианство широко практикуется во многих странах и не считается специальной диетой. Отказ от продуктов питания животного происхождения обычно обусловлен проблемами со здоровьем. В последнее время сторонниками вегетарианства становятся из-за этических принципов и по экологическим причинам (Лейцман, 2020).

Различают два основных направления в вегетарианстве: с полным исключением продуктов животного происхождения и с употреблением в дополнение к растительной пище яиц либо молока. Существуют следующие разновидности: лактовегетарианцы (не едят мясо, но употребляют молочные продукты), ововегетарианцы (не едят мясо, но едят яйца), пескетарианцы (едят рыбу, но отказываются от других животных продуктов), поллотарианцы (не употребляют красное мясо, но едят мясо птицы). В последнее время появилось флекситарианство (от английского flexible — гибкий). Флекситарианцы не исключают полностью из рациона молоко, яйца и даже мясо, но стараются придерживаться преимущественно растительных продуктов (Кузнецова, 2020). Наиболее строгий вариант вегетарианства — веганство. Веганы не едят мяса и яиц, а также молоко и мёд, так как осуждают эксплуатацию животных.

В научной литературе существуют различные мнения о пользе и вреде вегетарианства. Неоспоримым преимуществом растительной пищи является наличие большого количества растительных волокон, способствующих нормальному развитию полезной микрофлоры в кишечнике, выведению из организма вредных веществ. В растительных продуктах отсутствует холестерин, что может быть полезным для снижения содержания холестерина в крови и для профилактики заболеваний сердечно-сосудистой системы. Овощи и фрукты богаты калием и магнием с преобладанием щелочных эквивалентов, витаминами и противораковыми терпеноидами, что способствует предотвращению различных заболеваний, в том числе онкозаболеваний. С точки зрения законов рационального питания вегетарианство не является полностью сбалансированным питанием, адекватным потребностям организма, и длительное соблюдение такой диеты может негативно повлиять на организм человека. Причинами такого негативного влияния являются: недостаточное поступление с пищей ряда незаменимых аминокислот; отсутствие в пище витамина B_{12} , необходимого для процесса кроветворения; недостаточное количество витамина D, необходимого для поддержания баланса кальция и фосфора в организме; нехватка витамина B_2 у тех, кто не употребляет молоко и молочные продукты, что плохо сказывается на развитии и росте клеток организма и на обменных процессах. Кроме того, при преимущественно растительном рационе наблюдается относительно низкая усвояемость минералов, в основном кальция, железа и цинка (Дубовец, 2021).

Еще одной альтернативной теорией питания является теория питания предков или палеодиета. Приверженцы этой теории считают, что современный человек наилучшим образом приспособлен к рациону эпохи палеолита, когда человек еще не занимался сельским хозяйством. Рацион палеодиеты включает продукты, не прошедшие термическую обработку: мясо, рыбу, овощи, фрукты, орехи, семена. В контексте теории принимается, что приготовленная с помощью нагревания пища теряет свои полезные свойства. Продукты, появившиеся в рационе человека позже, зерновые, бобовые и молочные, исключаются из рациона, так как представляют относительно новое дополнение к рациону человека и могут вызывать проблемы со здоровьем. Ключевой считается идея о том, что такой рацион обеспечивал выживание наших предков на протяжении большей части истории человечества.

Концепция питания предков включает в себя два направления: сухоядение и сыроедение. Сущность сухоядения заключается в ограничении количества воды, вводимой в организм, и предполагает питание сушеными продуктами. Продолжительное применение сухоядения называют сухой диетой. Фактически это способ

недостаточного питания. Применение на практике такой диеты допускается на ограниченный срок при лечении некоторых заболеваний кишечника¹. Сухоядение не соответствует законам рационального питания, так как исключает из рациона один из эссенциальных факторов — воду. Ограничение поступления жидкости в организм может привести к его обезвоживанию и вызвать серьезные нарушения в работе органов и систем организма.

Приверженцы сыроедения полностью исключают употребление в пищу продуктов, подвергнутых термической обработке. Согласно этой концепции, продукты, обработанные при температуре выше $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, теряют все полезные вещества, а питание сырыми продуктами позволяет усваивать питательные вещества в первозданном виде. Основателем сыроедения считают швейцарского ученого М. Бирхер-Беннера, который полагал, что сыроеды отличаются безукоризненным здоровьем и хорошей работоспособностью. Книга М. Бирхер-Беннера «Основы лечения питанием на началах энергетики» регулярно переиздается различными изданиями (Бирхер-Беннер, 2022). Сторонники сыроедения считают, что исключение из рациона продуктов, подвергнутых термической обработке, способствует укреплению иммунитета, очищению организма от токсинов, снижению веса и улучшению состояния кожи. Сыроедение можно считать и самым строгим видом вегетарианства. Выявлен тип сыроедения фрукторианство, приверженцы которого потребляют только растительную пищу, ради которой растения не уничтожаются. Например, фрукторианцы едят огурцы и помидоры, но избегают употребления картофеля и свёклы (Кузнецова, 2020). С научной точки зрения концепция сыроедов может быть принята лишь на короткий срок. Такой рацион питания может привести к дефициту питательных веществ, а также к потенциальному ущербу для здоровья, обусловленному потреблением сырых продуктов, которые не прошли термическую обработку и могут быть контаминированы патогенной микрофлорой. Сыроедение возможно рекомендовать для людей в качестве диеты с учетом индивидуальных особенностей организма (Kwanbunjan, 2000).

Еще одна альтернативная теория питания, имеющая достаточно много приверженцев, — это концепция главного пищевого фактора. Ключевой считается идея о том, что для организма главное — обеспечение одним или несколькими пищевыми факторами, а все другие компоненты пищи можно считать малозначительными или проигнорировать. Наиболее известные варианты этой концепции: система питания макробиотов, лечение естественными продуктами (мед, масло, яблочный уксус), концепция мегадоз аскорбиновой кислоты.

¹ Филонов, С. И. (2019). *Сухое лечебное голодание. Как голодать правильно и комфортно*. Весь.

Макробиот в переводе с греческого означает долгожитель. Концепция питания макробиотов появилась в Японии в начале XX в. Основная идея — правильное соотношение в рационе натрия и калия, преобладание щелочных эквивалентов, исключение из питания продуктов, богатых кислыми эквивалентами. По этой концепции основу питания должны составлять цельные зерна, не рекомендовано употреблять мясо животных и птицы, животные жиры, молочные продукты, сахара, мед, натуральный кофе и чай. Рыба допускается 1–2 раза, фрукты — 2–3 раза в неделю. В рацион рекомендуется включать бобовые, овощи, орехи, семена, морские водоросли, а потребление жидкости ограничить². Преобладание в рационе питания макробиотов нерафинированных пищевых продуктов, рациональные соотношения натрия и калия, ограничение потребления животных жиров, сахара, поваренной соли является несомненным плюсом этой концепции. В то же время пищевые рационы, составленные преимущественно из злаковых, не соответствуют законам рационального питания и при длительном практиковании опасны для здоровья.

В 1958 г. в США была издана книга Д. С. Джарвиса «Мед и другие естественные продукты», которая стала бестселлером. В 1981 г. она вышла на русском языке в издательстве «Апимондия». Книга была переиздана десятками миллионов экземпляров, в том числе и в нашей стране (Джарвис, 2024). Джарвис провел анализ использования в медицине различных народных средств, из которых особо выделил мед и яблочный уксус и дал рекомендации по введению натуральных продуктов в рацион питания для укрепления здоровья. Яблочный уксус подходит для лечения пищеварительной системы человека, так как помогает уничтожить вредоносные гнилостные бактерии и очистить организм от токсинов. Хотя яблочный уксус и является кислотой, но в организме образует щелочную среду, нейтрализует излишнюю кислоту крови. Это обуславливает положительный эффект при употреблении яблочного уксуса. Особенно полезным считается сочетание яблочного уксуса с медом (Саркисова, 2020). Сторонники этой концепции рекомендуют использовать смесь яблочного уксуса с медом для лечения судорог, проблем с суставами, дерматологических заболеваний, а также для общего укрепления организма (Кибардин, 2020). Однако известно, что потребление меда противопоказано при множестве заболеваний, имеются ограничения по возрасту. Длительное употребление яблочного уксуса может привести к заболеваниям желудка и кишечника, связанных с повышенной кислотностью. Употребление яблочного уксуса противопоказано при печеночной и почечной недостаточности, ге-

патитах различной этиологии, циррозе, камнях в почках и в желчном пузыре (Вечерская, 2015).

Концепцию мегадоз аскорбиновой кислоты предложил в 1970 г. лауреат Нобелевской премии Л. Полинг. Полинг утверждал, что разовое потребление 2,0 г витамина С является надежным фактором повышения защитных сил организма, профилактики злокачественных новообразований и простудных заболеваний. Сейчас идея Л. Полинга подвергается пересмотру и критике в научной литературе, так как установлено, что избыток отдельных микронутриентов, как и их недостаток, нарушает физиолого-биохимические процессы в организме (Захарова, 2019). Научно обоснованная суточная потребность витамина С для взрослого человека составляет 0,7–1,0 г и зависит от возраста и веса человека. В один прием рекомендуется принимать не более 25–40 мг витамина С. Типичные признаки передозировки витамина С: нарушения со стороны ЖКТ, осложнения в работе сердечно-сосудистой системы, сбои в функционировании центральной нервной системы, образование оксалатных камней в почках, тромбообразование, аллергические реакции и ангионевротические отеки, обезвоживание организма.

С позиций научной медицины главного пищевого фактора не существует. При подходе с позиции главного пищевого фактора из пищевого рациона исключаются не только второстепенные субстраты, но и некоторые незаменимые пищевые вещества. Из изложенного выше видно, что диеты, основанные на данной методике, являются взаимоисключающими. Таким образом, намечается заключение, что концепция главного пищевого фактора надумана и мало убедительна.

Анализ публикаций в научной литературе, интернет-источниках показывает, что поддержание и сохранение здоровья представляет актуальную проблему для населения, в связи с чем возрастает потребность в организации правильного питания. Соответственно, одна из глобальных задач научно-исследовательских работ в области науки о пище — предоставить потребителю продукты, сочетающие в себе достоинства сырья животного и растительного происхождения, продукты профилактической и функциональной направленности, а также создать технологии переработки, позволяющие максимально сохранить полезные свойства пищевого сырья и обеспечить безопасность готового продукта. Научная школа академика Е. И. Титова предлагает методологические подходы к созданию поликомпонентных продуктов питания с заданными свойствами, адекватных потребностям организма человека.

² Питание человека: концепция главного пищевого фактора. <https://foodsmi.com/statistika-i-issledovaniya-/pitanie-cheloveka-kontseptsiya-glavnogo-pishchevogo-faktora/>. Дата обращения 23.08.2025 г.

Целью данной работы являлся анализ актуальности создания поликомпонентных продуктов питания на мясной основе, обобщение теоретических и практических результатов исследований в этой научной области, рассмотрение вопросов формирования и развития научной школы академика РАН Е. И. Титова.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Объектами исследования являлись достижения научной школы академика РАН Е. И. Титова, направления деятельности научно-образовательного центра «Биотехнологии продуктов питания животного происхождения» университета РОСБИОТЕХ, результаты исследований в области разработки теоретических и методологических подходов к проектированию пищи, созданию продуктов питания нового поколения и оптимизации их нутриентной адекватности. Использовались материалы теоретических и научно-технологических разработок, опубликованные в рецензируемых отечественных и зарубежных изданиях.

Методы

Использовались методы эмпирического (наблюдение, сравнение) и теоретического (анализ, синтез) исследования при работе с документами, материалами опубликованных научных трудов, а также метод обобщения при формулировании основных тенденций развития научной школы академика РАН Е. И. Титова.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Е. И. Титов в своей докторской диссертации «Теоретические и практические аспекты создания поликомпонентных продуктов питания на мясной основе» предложил научно-практические основы создания поликомпонентных продуктов питания и новые подходы к созданию таких продуктов на мясной основе. Научно обоснована целесообразность использования белоксодержащих продуктов растительного происхождения (продукты переработки пшеницы, кукуруза, рисовая крупа, бобовые культуры), коллагенсодержащего сырья, пищевой крови, продуктов переработки молока на примере производства некоторых мясных продуктов (вареные колбасные изделия, ветчинные мясные изделия, рубленые мясные

полуфабрикаты, мясные консервы). Е. И. Титов внедрил методы компьютерного моделирования для оптимизации нутриентной адекватности поликомпонентных продуктов питания (моделирование аминокислотного и фракционного состава суммарного белка), комплексного изучения пищевой и технологической адекватности белоксодержащих ингредиентов растительного и животного происхождения. Важным аспектом научных исследований Е. И. Титова, получившем широкое распространение в мясных технологиях, являлось исследование способов получения и свойств белково-жировых, водно-жировых, белково-углеводно-жировых композиций, их использования для повышения биологической и пищевой ценности продуктов питания.

В 2009 г. Е. И. Титов в соавторстве с Л. Ф. Митасевой и С. К. Апраксиной издал монографию «Модификация растительного и животного сырья в технологии мясных продуктов»³, где излагались сведения об особенностях мясных технологий, в которых применялась модификация различных видов сырья. В монографии приведены примеры использования растительных компонентов для создания обогащенных мясных продуктов и снижения их себестоимости, обозначена актуальность вопросов сохранения качества и безопасности мясных продуктов, получаемых при использовании модифицированного сырья. Эта публикация стала ценным источником информации и комплексным руководством для специалистов, занимающихся разработкой и усовершенствованием технологий мясного производства.

Методы и подходы, предложенные Е. И. Титовым, использованы, в частности, для создания инновационных технологий эмульгированных мясных продуктов (Титов, 2009). Эмульгированные мясные продукты являются сложными пищевыми системами, и это требует особого внимания к процессам их производства (соотношение воды, жира и эмульгатора в эмульсии) для получения кинетически стабильных систем. На основании исследований структурно-механических показателей установлено, что белково-жировую эмульсию можно вводить в рецептуру вареных колбас в количестве до 10 % в целях замены основного мясного сырья, повышения срока годности и сокращения потерь сырья без изменения основных характеристик консистенции готового продукта. Коллектив ученых во главе с Е. И. Титовым разработал способ получения белково-жировой композиции, которую было рекомендовано использовать в качестве рецептурной составляющей фаршевых мясных продуктов⁴. В состав композиции включены

³ Титов, Е. И., Митасева, Л. Ф., & Апраксина, С. К. (2009). *Модификация растительного и животного сырья в технологии мясных продуктов*. МГУПБ.

⁴ Титов, Е. И., Апраксина, С. К., Митасева, Л. Ф., & Леонова, В. Н. (2013). *Способ получения белково-жировой композиции на основе компонентов растительного происхождения для использования ее в качестве рецептурной составляющей фаршевых мясных продуктов*. Патент РФ № 2478308. Федеральная служба по интеллектуальной деятельности (Роспатент).

растительные компоненты: белок — соевый изолят, эмульгатор липидной природы — соевый лецитин, ламинария японская. Добавка ламинарии японской повышает содержание йода в фарше и устойчивость жировой составляющей к окислению за счет двойных связей. Компоненты белково-жировой композиции смешивают в гидратированном виде, смесь гомогенизируют. Добавление композиции в мясной фарш позволяет получить полуфабрикаты с улучшенными функционально-технологическими свойствами и пролонгированным сроком хранения. В научных трудах Е. И. Титова обращается внимание на то, что в процессе производства растительно-белковых продуктов необходимо регулировать эмульгирующую и гелеобразующую способность растительных компонентов, вязкость и влагосвязывающую способность фарша, учитывать влияние соотношения белков и жиров на физические и химические характеристики фарша и на свойства готовых мясных продуктов. Практические рекомендации по использованию комплексных препаратов с эмульгирующим эффектом на основе растительных гидроколлоидов безусловно значимы для производителей, так как позволяют получить мясной продукт заданного состава с программируемым уровнем рентабельности и создать технологии молекулярных продуктов. В последние годы обогащенные мясные продукты все шире применяются в диетической и медицинской сфере, так как доказано их положительное действие на организм человека (Карапетян, 2023). Совершенствование технологий молекулярных продуктов будет стимулировать рост производства продукции высокой степени готовности, полезной для организма человека, что позволит удовлетворить спрос потребителей в продуктах здорового питания (Алдабергенова, 2018).

Е. И. Титов, И. А. Рогов, Ю. А. Ивашкин предложили экспертную систему оптимизации состава продуктов и рационов питания, основные положения которой изложены в соответствующей монографии⁵, представляющей собой научную работу в области пищевой инженерии, направленную на разработку и использование экспертных систем для автоматизации процессов анализа, планирования и оптимизации питания, учитывая индивидуальные потребности и особенности человека. Предложенные подходы к оптимизации состава продуктов на основе нутриентной сбалансированности белка дали старт исследованиям по созданию продуктов для здорового питания (Пономарев, 2023; Vasyukova, 2024), в том числе с применением компьютерного моделирования (Борисенко, 2019).

Под руководством Е. И. Титова проведены комплексные исследования структурных характеристик и реологических свойств растительных волокон, в частности картофельных и пшеничных волокон. Было доказано, что совместное использование пшеничных и картофельных волокон улучшает функционально-технологические свойства мясных продуктов, в частности реструктурированных продуктов из мяса птицы. Добавки картофельных и пшеничных волокон в массажных рассолах способствуют повышению сочности мяса, предотвращают разжижение, синерезис и потерю объема (Titov, 2019). Изучены пищевые системы, включающие дополнительно к картофельным и пшеничным еще и овсяные волокна. Овсяные и картофельные волокна улучшали переваримость, а пшеничные волокна придавали мясным полуфабрикатам пребиотическую направленность (Титов, 2021). Полученный экспериментальный материал интересен с точки зрения производства биологически активных добавок к пище и для создания специализированных мясных продуктов.

Е. И. Титов и его ученики разрабатывали и в настоящее время активно продвигают ресурсосберегающие технологии в мясной отрасли. Опубликован ряд работ по использованию коллагенсодержащего сырья для производства продуктов питания, в том числе продуктов функциональной направленности. В работах предложены оптимальные физико-химические и термодинамические параметры обработки, а также применение биотехнологических методов воздействия на сырье с большим содержанием соединительной ткани (Титов, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019; Литвинова, 2022). Получены расширенные сведения о структуре модифицированного коллагенсодержащего сырья, что дало возможность выявить функциональные возможности протеиноидов, входящих в состав фибриллярного матрикса продуктов питания различных групп (Litvinova, 2022). Рассмотрены перспективы использования коллагенсодержащих отходов в мясной промышленности (Литвинова, 2022). На основании проведенных исследований разработаны составы многофункциональных комплексов на основе коллагенсодержащего сырья⁶ и научно обоснована эффективность их применения в производстве мясных продуктов (Титов, 2017, 2018). В частности, разработан комплекс, в состав которого входят биомодифицированные губы крупного рогатого скота, концентрат сывороточных белков и инулин. Доказано, что добавка полифункциональных комплексов в рецептуры мясных продуктов способствует увеличению пищевой и био-

⁵ Титов, Е. И., Рогов, И. А., Ивашкин, Ю. А. и др. (2009). *Экспертная система оптимизации состава продуктов и рационов питания* (монография). Москва: МГУПБ.

⁶ Титов, Е. И., Апраксина, С. К., Митасева, Л. Ф., Соколов, А. Ю., Литвинова, Е. В. (2016). *Разработка способа получения биомодифицированного коллагенового препарата для создания на его основе биологически активного композита*. Патент РФ № 2015109790. Федеральная служба по интеллектуальной деятельности (Роспатент).

логической ценности готовых продуктов и придает им функциональную направленность.

Исследования научной школы академика РАН Е. И. Титова носят не только фундаментальный, но и прикладной характер. На основании изучения свойств растительных волокон разработана технология производства полуфабриката котлеты «Домашние», в рецептуру которых входят картофельные, овсяные и пшеничные волокна (Титов, 2021). Исследования в области переработки коллагенсодержащего сырья позволили создать новые технологии мясных рубленых полуфабрикатов и мясных паштетов (Литвинова, 2020). Предложены технологии рубленых полуфабрикатов из мяса птицы и паштетов мясных стерилизованных с соотношением компонентов многофункционального комплекса: биомодифицированные губы крупного рогатого скота/концентрат сывороточных белков/инулин = 50/40/10. Функциональные модули, в состав которых входит животное и растительное сырье, допустимо применять в производстве продуктов из свинины (Литвинова, 2017), производстве студней (Соколов, 2017). Концепции и практические решения научной школы Е. И. Титова перспективны для использования в производстве структурированных продуктов профилактической и функциональной направленности, в том числе в производстве мясных полуфабрикатов, колбас, фрикаделек, а также в производстве сублимированных продуктов на мясной основе. В 1999 г. коллективу ученых, в состав которого входил и Е. И. Титов, присуждена Государственная премия Российской Федерации в области науки и техники за разработку научных и технологических основ проектирования пищи, создание и освоение нового поколения продуктов общего, профилактического и лечебного питания.

В круг научных интересов академика Е. И. Титова входили также вопросы рационального использования вторичного молочного сырья (пахта, молочная сыворотка). Основной целью исследований в этом направлении являлось выделение биологически активных веществ — концентратов биологически активных белков молока (в частности ангиогенина, лактоферрина). Препараты активных белков молока рекомендовано использовать для обогащения продуктов детского, лечебного и лечебно-профилактического питания, также в создании новых лекарственных и косметических средств (Рогов, 2006, 2010).

С 2020 г. Е. И. Титов руководил деятельностью научно-образовательного центра (НОЦ) «Биотехнологии продуктов питания животного происхождения», в состав которого входят кафедры: технологии и биотехнологии мяса и мясных продуктов; технологии молока пробиотических молочных продуктов и сыроделия; биотехно-

логии молока, а также учебно-исследовательские лаборатории: разработки и исследования продуктов питания нового поколения; биоактивных веществ и здоровьесберегающих технологий; коллекционных штаммов микроорганизмов; электрофизических методов обработки пищевых продуктов; квалитметрии; сублимационной сушки; научно-производственная лаборатория биотехнологий мясных систем и новых продуктов питания; экспериментально-производственный центр сыроделия. НОЦ эффективно сочетает образовательную деятельность с научно-исследовательской работой. Выполнение в лабораториях и на кафедрах НОЦ фундаментальных и прикладных научных исследований способствует развитию студенческой науки, выявлению и поддержке талантливых молодых ученых. Результаты научно-исследовательской и инновационной деятельности центра внедряются в учебные дисциплины и программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре, в программы дополнительного профессионального образования в университете РОСБИОТЕХ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научная школа академика РАН Е. И. Титова своими корнями уходит в научную школу академика РАН И. А. Рогова. В университете РОСБИОТЕХ ученики Е. И. Титова продолжают практико-ориентированные исследования в области создания специализированных мясных и рыбных продуктов питания, обогащенных растительными волокнами, биологически активными белками, антиоксидантами, имеющих функциональную направленность и пролонгированные сроки годности. Развитие разработанных Е. И. Титовым научно-практических основ создания поликомпонентных продуктов питания на мясной основе позволит решить ряд важных социально-экономических проблем, связанных с рациональным использованием сырьевых ресурсов мясной и молочной отраслей, повышением эффективности производства и снижением экологической нагрузки на окружающую среду. Научный коллектив университета РОСБИОТЕХ предлагает пищевой отрасли новые технологии производства продуктов питания для здорового образа жизни, соответствующие требованиям технических регламентов и санитарных правил, технологической документации, в том числе по микробиологическим показателям. Методологические подходы к созданию поликомпонентных продуктов питания с заданными свойствами, сформированные научной школой академика Е. И. Титова, являются основой для решения проблемы обеспечения населения продуктами, сочетающими в себе достоинства сырья животного и растительного происхождения и адекватными потребностям организма человека.

ЛИТЕРАТУРА

- Алдабергенова, А. О., & Назаренко Т. А. (2018). Исследование физико-биологических характеристик сырья и создание технологии молекулярных продуктов. *Вестник Инновационного Евразийского университета*, (1), 44–48
- Бирхер-Беннер, М. (2022). *Основы лечения питанием на началах энергетики*. Концептуал.
- Борисенко, А. А., Брачихин А. А., & Борисенко, Л. А. (2019). Компьютерное моделирование нутриентного состава поликомпонентных пищевых продуктов как способ их перевода в сегмент здорового питания. *Все о мясе*, (3), 54–57. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2019-3-54-57>
- Вечерская, И. (2015). *100 рецептов при хронической почечной недостаточности. Вкусно, полезно, душевно, целебно*. Эксмо.
- Данильчук, Т. Н. (2023). Десятилетие науки и технологий: Тенденции развития научных школ Института прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова университета РОСБИОТЕХ. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 6–16. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s181>
- Джарвис, Д. С. (2024). *Мед и другие естественные продукты*. Русский шахматный дом.
- Дубовец, Н. И., Казнина, Н. М., Орловская, О. А., & Сычева, Е. А. (2021). Проблема дефицита цинка в рационе питания населения и биотехнологические подходы к ее решению. *Молекулярная и прикладная генетика*, 31, 147–158. <https://doi.org/10.47612/1999-9127-2021-31-147-158>
- Захарова, И. Н., & Творогова, Т. М. (2019). Коррекция микронутритивного дефицита — одно из приоритетных направлений в практической работе педиатра. *Медицинский совет*, (17), 24–35. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-17-24-35>
- Кибардин, Г. М. (2020). *Яблочный уксус лечит*. Эксмо.
- Карапетян, А. М., & Величко, Н. А. (2023). Перспективы применения растительных компонентов в различных рецептурах мясных рубленых полуфабрикатов. *Вестник КрасГАУ*, (4), 155–162. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-4-155-162>
- Кузнецова, О. В., & Жукова, А. Ю. (2020). Вегетарианские продукты — полезная диета или модный тренд? *Все о мясе*, (1), 34–36. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-1-34-36>
- Лейцман, К. (2020). *Веганство: плюсы и минусы* (пер. с нем. Д. Сорокиной). Дискурс.
- Литвинова, Е. В., Артемьева, И. О., Титов, Е. И., Кидяев, С. Н., & Никитин, В. В. (2022). Новые данные об использовании побочного коллагенсодержащего сырья мясной отрасли. *Мясная индустрия*, (12), 38–42
- Литвинова, Е. В., Кидяев, С. Н., Лапшина, В. Л., & Никитин, В. В. (2022). Сравнительная оценка способов термической обработки мяса цесарки. *Health, Food & Biotechnology*, 4, (3), 28–40. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s150>
- Литвинова, Е. В., & Титов, Е. И. (2017). Использование функционального модуля на основе сырья животного и растительного происхождения в технологии продуктов из свинины. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 18–21.
- Литвинова, Е. В., & Кидяев, С. Н. (2020). Стерилизованные паштеты из мяса птицы функциональной направленности. *Мясные технологии*, 9 (213), 42–48.
- Пономарев, В. Я., & Юнусов, Э. Ш. (2023). Моделирование рецептурных смесей пищевых продуктов путем направленного варьирования количественными соотношениями сырьевых компонентов. *Journal of Agriculture and Environment*, 12(40). <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.26>
- Риттенау, Н. (2024). *Разумное веганство: руководство по безопасному растительному питанию* (под научной редакцией О. Смирновой: перевод с немецкого Л.М. Каджелашвили). Эксмо.
- Рогов, И. А., Титов, Е. И., & Тихомирова, Н. А. (2006). Нанотехнология биопрепарата «Милканг» на основе глубокой переработки молочного сырья. *Пищевые ингредиенты: сырье и добавки*, (2), 78–80.
- Рогов, И. А., Титов, Е. И., & Тихомирова, Н. А. (2010). Перспективные направления переработки вторичных молочных ресурсов. *Переработка молока*, (2), 16–17.
- Саркисова, М. Н., & Бирюкова, Н. В. (2020). Опыт применения мёда в медицине. *Интерактивная наука*, 5(51), 8–12. <https://doi.org/10.21661/r-541133>
- Соколов, А. Ю., & Титов, Е. И. (2017). Перспективы производства студней на основе сырья животного происхождения и растительных ингредиентов. *Пищевая промышленность*, (7), 15–18.
- Титов, Е. И., & Мансветова, Е. В. (2009). Новые подходы в производстве эмульгированных мясных продуктов. *Пищевая промышленность*, (7), 44–45.

- Титов, Е. И., Кидяев, С. Н., Литвинова, Е. В., & Цурикова, Н. В. (2016). Влияние щелочных протеиназ на модификацию коллагенсодержащего сырья. *Мясная индустрия*, (2), 44–46.
- Титов, Е. И., Апраксина, С. К., Литвинова, Е. В., & Хвыля, С. И. (2015). Особенности микроструктуры продуктов на основе биомодифицированного коллагенсодержащего сырья. *Мясная индустрия*, (4), 49–51.
- Титов, Е. И., Литвинова, Е. В., Кидяев, С. Н., & Пчелкина, В. А. (2017). О микроструктуре коллагенсодержащего сырья, модифицированного щелочными протеиназами. *Мясная индустрия*, (8), 41–43.
- Титов, Е. И., Литвинова, Е. В., Кидяев, С. Н., & Артемьева, И. О. (2019). Коллагеновая матрица как способ сохранности минорных компонентов в пищевых продуктах. *Все о мясе*, (1), 40–43. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2019-1-40-43>
- Титов, Е. И., Соколов, А. Ю., Литвинова, Е. В., & Шишкина, Д. И. (2021). Влияние волокон пищевых на функционально-технологические свойства мясных систем. *Все о мясе*, (4), 30–36. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-4-30-36>
- Титов, Е. И., Кидяев, С. Н., & Литвинова, Е. В. (2018). Использование многофункционального комплекса в технологии для стерилизованных консервов из мяса птицы. *Птица и птицепродукты*, (4), 31–34.
- Титов, Е. И., Кидяев, С. Н., & Литвинова, Е. В. (2017). Функциональный комплекс на основе пищевых волокон животного и растительного происхождения для мясных рубленых полуфабрикатов. *Мясная индустрия*, (7), 10–13.
- Vasyukova, A., Kusova, I., & Kandrokov, R. (2024). Development of functional mixtures for fluor culinary products. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(6), 455–475. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-6-1032>
- Gorlov, I. F., Titov, E. I., Semenov, Slozhenkina, M. I., Sokolov, A. Yu., Omarov, R., Goncharov, A. I., Zlobina, E. Yu., Litvinova, E. V., & Karpenko, E. V. (2018). Collagen from pocine skin a method of extraction and structural properties. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1031–1042. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1466324>
- Kwanbunjan, K., Koebnick, C., Strassner, C., Leitzmann, C. (2000). Lifestyle and health aspects of raw food eaters. *The Journal of Tropical Medicine and Parastology*, (23), 12–20
- Litvinova, E. V., Titov, E. I., Kidyayev, S. N., Sokolov, A. Yu., & Lapshina, V. L. (2022). Certain features of using modified collagen-containing raw materials with prolonged shelf life in food technology. *Theory and Practice of Meat Processing*, 7(1), 58–65. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2022-7-1-58-65>
- Titov, E., Sokolov, A., Litvinova, E., Kidyayev, S., Shishkina, D., & Baranov, B. (2019). Dietary fibres in preventative meat products. *Foods and Raw Materials*, 7(2), 387–395. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-387-395>

REFERENCES

- Aldabergenova, A. O., & Nazarenko T. A. (2018). Research of physical and biological characteristics of raw materials and creation of technology for molecular products. *Bulletin of the Innovative University of Eurasia*, (1), 44–48. (In Russ).
- Birkher-Benner, M. (2022). *Fundamentals of nutritional therapy based on energy*. Kontseptual. (In Russ).
- Borisenko, A. A., Bratsikhin A. A., & Borisenko, L. A. (2019). Computer modeling of the nutrient composition of multi-component food products as a way to translate them into the healthy nutrition segment. *Vse o Myase*, (3), 54–57. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2019-3-54-57> (In Russ).
- Gorlov, I. F., Titov, E. I., Semenov, Slozhenkina, M. I., Sokolov, A. Yu., Omarov, R., Goncharov, A. I., Zlobina, E. Yu., Litvinova, E. V., & Karpenko, E. V. (2018). Collagen from pocine skin a method of extraction and structural properties. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 1031–1042. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1466324>
- Danilchuk, T. N. (2023). Decade of science and technology. Trends in the development of scientific schools of the I.A. Rogov Institute of Applied Technology at Biotech University. *Health, Food & Biotechnology*, 5(2), 6–16. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i2.s181> (In Russ).
- Dzharvis, D. S. (2024). *Honey and other natural products*. Russkiy shakhmatnyy dom. (In Russ).
- Dubovets, N. I., Kaznina, N. M., Orlovskaya, O. A., & Sycheva, E. A. (2021). The problem of zinc deficiency in the population's diet and biotechnological approaches to its solution. *Molekulyarnaya i Prikladnaya Genetika*, (31), 147–158. <https://doi.org/10.47612/1999-9127-2021-31-147-158> (In Russ).
- Karapetyan, A. M., & Velichko, N. A. (2023). Prospects for the use of plant components in various recipes for minced meat semi-finished products. *Vestnik KrasGAU*, (4), 155–162. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-4-155-162> (In Russ).
- Kibardin, G. M. (2020). *Apple cider vinegar heals*. Eksmo. (In Russ).

- Kuznetsova, O. V., & Zhukova, A. Yu. (2020). Vegetarian foods — a healthy diet or a fashion trend? *Vse o Myase*, (1), 34–36. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-1-34-36> (In Russ).
- Kwanbunjan, K., Koebnick, C., Strassner, C., Leitzmann, C. (2000). Lifestyle and health aspects of raw food eaters. *The Journal of Tropical Medicine and Parastology*, (23), 12–20
- Leytsman, K. (2020). *Veganism: Pros and Cons (translated from German by D. Sorokina)*. Diskurs. (In Russ).
- Litvinova, E. V., Titov, E. I., Kidyayev, S. N., Sokolov, A. Yu., & Lapshina, V. L. (2022). Certain features of using modified collagen-containing raw materials with prolonged shelf life in food technology. *Theory and Practice of Meat Processing*, 7(1), 58–65. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2022-7-1-58-65>
- Litvinova, E. V., Artemyeva, I. O., Titov, E. I., Kidyayev, S. N., & Nikitin, V. V. (2022). New data on the use of by-product collagen-containing raw materials in the meat industry. *Meat Industry*, (12), 38–42. (In Russ).
- Litvinova, E. V., Kidyayev, S. N., Lapshina, V. I., Nikitin, V. V. (2022). Comparative evaluation of heat treatment of guinea fowl meat. *Health, Food & Biotechnology*, 4(3), 28–40. <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s150> (In Russ).
- Litvinova, E. V., & Titov, E. I. (2017). Use of a functional module based on raw materials of animal and plant origin in the technology of pork products. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 18–21. (In Russ).
- Litvinova, E. V., & Kidyayev, S. N. (2020). Sterilized functional poultry pates. *Meat Technologies*, 9(213), 42–48. (In Russ).
- Ponomarev, V. Ya., & Yunusov, E. Sh. (2023). Modeling of recipe mixtures of food products by means of directed variation of quantitative ratios of raw components. *Journal of Agriculture and Environment*, 12(40). <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.40.26> (In Russ).
- Rittenau, N. (2024). *Smart Veganism: A Guide to Safe Plant-Based Eating*. Eksmo. (In Russ).
- Rogov, I. A., Titov, E. I., & Tikhomirova, N. A. (2006). Nanotechnology of the biopreparation «Milkang» based on deep processing of dairy raw materials. *Pishchevye Ingrediyenty: Syr'e i Dobavki*, (2), 78–80. (In Russ).
- Rogov, I. A., Titov, E. I., & Tikhomirova, N. A. (2010). Promising directions for processing secondary dairy resources. *Pererabotka moloka*, (2), 16–17. (In Russ).
- Sarkisova, M. N., & Biryukova, N. V. (2020). Experience of using honey in medicine. *Interaktivnaya nauka*, 5(51), 8–12. <https://doi.org/10.21661/r-541133> (In Russ).
- Sokolov, A. Yu., & Titov, E. I. (2017). Prospects for the production of jellies based on raw materials of animal origin and plant ingredients. *Pishchevaya promyshlennost'*, (7), 15–18. (In Russ).
- Titov, E. I., & Mansvetova, E. V. (2009). New approaches in the production of emulsified meat products. *Pishchevaya promyshlennost'*, (7), 44–45. (In Russ).
- Titov, E. I., Kidyayev, S. N., Litvinova, E. V., & Tsurikova, N. V. (2016). The influence of alkaline proteinases on the modification of collagen-containing raw materials. *Meat Industry*, (2), 44–46. (In Russ).
- Titov, E. I., Apraksina, S. K., Litvinova, E. V., & Khyvlya, S. I. (2015). Features of the microstructure of products based on biomodified collagen-containing raw materials. *Meat Industry*, (4), 49–51. (In Russ).
- Titov, E. I., Litvinova, E. V., Kidyayev, S. N., & Pchelkina, V. A. (2017). On the microstructure of collagen-containing raw materials modified with alkaline proteinases. *Meat Industry*, (8), 41–43. (In Russ).
- Titov, E. I., Litvinova, E. V., Kidyayev, S. N., & Artemyeva, I. O. (2019). Collagen matrix as a method for preserving minor components in food products. *Vse o myase*, (1), 40–43. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2019-1-40-43> (In Russ).
- Titov, E. I., Sokolov, A. Yu, Litvinova, E. V., & Shishkina, D. I. (2021). The influence of dietary fibers on the functional and technological properties of meat systems. *Vse o Myase*, (4), 30–36. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2021-4-30-36> (In Russ).
- Titov, E. I., Kidyayev, S. N., & Litvinova, E. V. (2018). Use of a multifunctional complex in technology for sterilized canned poultry meat. *Ptitsa i Ptitseprodukty*, (4), 31–34. (In Russ).
- Titov, E. I., Kidyayev, S. N., Litvinova, E. V. (2017). A functional complex based on dietary fiber of animal and plant origin for minced meat semi-finished products. *Meat Industry*, (7), 10–13. (In Russ).
- Titov, E., Sokolov, A., Litvinova, E., Kidyayev, S., Shishkina, D., & Baranov, B. (2019). Dietary fibres in preventative meat products. *Foods and Raw Materials*, 7(2), 387–395. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-387-395>
- Vasyukova, A., Kusova, I., & Kandrov, R. (2024). Development of functional mixtures for fluor culinary products. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 16(6), 455–475. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-6-1032>
- Vecherskaya, I. (2015). *100 recipes for chronic kidney failure. Delicious, healthy, heartwarming, and healing*. Eksmo. (In Russ).
- Zakharova, I. N., & Tvorogova, T. M. (2019). Correction of micronutrient deficiency is one of the priority areas in the practical work of a pediatrician. *Meditsinskiy Sovet=Medical Council*, (17), 24–35. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-17-24-35> (In Russ).

Роль продуктов питания в повышении индивидуального детоксикационного потенциала

Т. В. Спицина¹, И. А. Никитин^{1,2}

¹ Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), Москва, Россия

² Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва, Россия

Корреспонденция:

Никитин Игорь Алексеевич,
Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова,
115057, Россия, Москва,
Стремянный пер., 36
E-mail: Nikitin.IA@rea.ru

Конфликт интересов:

авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 23.04.2025

Поступила после
рецензирования: 23.06.2025

Принята: 30.09.2025

Copyright: © 2025 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. В реалиях настоящего времени, когда влияние негативного воздействия окружающей среды на организм человека многократно усилилось, проблема поддержки индивидуального детоксикационного потенциала работающих во вредных условиях труда приобретает особую актуальность. В условиях контакта с вредными химическими факторами техногенная нагрузка на детоксикационную систему работников возрастает, способствуя усилению риска профессиональных заболеваний. В качестве одного из основных инструментов поддержки метаболизма ксенобиотиков выступает питание.

Цель обзорной статьи состоит в систематизации научной литературы, посвященной взаимосвязи между рационом питания, генетической предрасположенностью и потенциалом детоксикации.

Материалы и методы. На основании анализа литературных источников рассмотрены механизмы двухфазной метаболической детоксикации, а также влияние генетических полиморфизмов на активность ферментов этих фаз.

Результаты. Предложено авторское определение понятия «индивидуальный детоксикационный потенциал». Описана роль ключевых ферментов детоксикации, таких как цитохромы P450 и глутатион-S-трансферазы, N-ацетилтрансферазы, в метаболизме токсинов. Показано, что полиморфизмы генов, кодирующих эти ферменты, могут приводить к снижению эффективности детоксикационных процессов в организме, увеличивая риск накопления токсичных веществ. Особое внимание уделено персонализированному подходу к питанию для повышения эффективности процессов детоксикации у людей, работающих во вредных условиях труда. Представлены примеры фитохимических веществ, входящих в состав растительных продуктов и способных стимулировать или угнетать активность этих ферментов. Рассмотрены перспективы использования персонализированной диеты для оптимизации детоксикационной функции организма.

Выводы. Результаты обзора указывают на необходимость учета генетических особенностей при разработке программ питания для людей, находящихся в условиях повышенного токсичного воздействия. В целях снижения токсической нагрузки представляется целесообразным включение в рацион продуктов питания, оказывающих влияние на повышение индивидуального детоксикационного потенциала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

детоксикация; фазы детоксикации; ферменты; гены; персонализированное питание; полиморфизм; продукты питания; генетические предрасположенности; вредные условия труда



Для цитирования: Спицина, Т. В., & Никитин, И. А. (2025). Роль продуктов питания в повышении индивидуального детоксикационного потенциала. *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 34-49. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s267>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s267>

The Role of Food in Enhancing Individual Detoxification Potential

Tatiana V. Spitsina¹, Igor A. Nikitin^{1,2}

¹ K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (First Cossack University), Moscow, Russia

² Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

Correspondence:

Igor A. Nikitin,
Plekhanov Russian University of Economics, 36, Stremyanny Lane, Moscow, 115057, Russia
E-mail: Nikitin.IA@rea.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 23.04.2025

Received in revised form: 23.06.2025

Accepted: 30.09.2025

Copyright: © 2025 The Authors

ABSTRACT

Introduction. In the current reality, where the negative impact of the environment on human health has increased significantly, the issue of supporting individual detoxification potential among workers in hazardous conditions is becoming increasingly important. In environments with exposure to harmful chemical factors, the technogenic load on the detoxification system of workers increases, leading to a higher risk of occupational diseases. Nutrition serves as one of the main tools for supporting xenobiotic metabolism.

The purpose of the review article is to systematize the scientific literature on the interplay between diet, genetic predisposition and detoxification potential.

Materials and Methods. Based on an analysis of literature sources, the mechanisms of two-phase metabolic detoxification are examined, along with the influence of genetic polymorphisms on the activity of enzymes involved in these phases.

Results. An original definition of the concept of «individual detoxification potential» is proposed. The role of key detoxifying enzymes such as cytochrome P450s, glutathione-S-transferases, and N-acetyltransferases in toxin metabolism is described. It is shown that polymorphisms in genes encoding these enzymes can lead to reduced efficiency of detoxification processes in the body, increasing the risk of toxic substance accumulation. Special attention is paid to a personalized approach to nutrition aimed at improving detoxification processes in individuals working under hazardous conditions. Examples of phytochemical substances found in plant-based products that can stimulate or suppress the activity of these enzymes are presented. The prospects of using personalized diets to optimize the detoxification function of the organism are discussed.

Conclusions. The review results indicate the necessity of considering genetic characteristics when developing nutritional programs for people exposed to elevated toxic loads. To reduce toxic burden, it seems reasonable to include foods that enhance individual detoxification potential in dietary regimens.

KEYWORDS

detoxification; detoxification phases; enzymes; genes; personalized nutrition; polymorphism; food; genetic predispositions; harmful working conditions



To cite: Spitsina, T. V., & Nikitin, I. A. (2025). The role of food in enhancing individual detoxification potential. *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 34-49. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s267>

ВВЕДЕНИЕ

В условиях высокого влияния антропогенных факторов на все сферы жизни человек подвергается постоянному воздействию токсичных веществ, что может привести к развитию различных патологий. Экологические риски являются одними из значимых причин возникновения и роста неинфекционных заболеваний (Prüss-Ustün et al., 2017; Ефимова и соавт., 2023; Xu et al., 2022; Ибраева, 2014). В структуре глобального бремени неинфекционных болезней, от которых наступает 71 % смертей в мире, ведущую роль занимают сердечно-сосудистые заболевания, рак, хронические респираторные заболевания, сахарный диабет¹. Особенно подвержены негативному влиянию экологических загрязнителей люди, чья профессиональная деятельность связана с постоянным контактом с химическими токсинами (Салтыкова, 2023). На конец 2023 г. в России количество занятых в различных отраслях экономики составляет 73 млн человек², из них примерно 7,5 % (5,5 млн человек) работают в условиях, характеризующихся высоким уровнем воздействия химических факторов³. Наиболее высокий процент лиц, подвергающихся воздействию вредных химических веществ, наблюдается в обрабатывающей промышленности (11,8 %), в том числе металлургии (26,3 %) и химической промышленности (18,9 %)⁴. Разработка эффективных мер для минимизации негативных последствий от воздействия химических факторов представляет собой сложную задачу. Например, в процессе пирометаллургического производства меди содержание в воздушной среде цехов концентрации меди, сернистых газов, тяжелых металлов, бензапирена превышает безопасный уровень (Липатов и соавт., 2021). Вредные химические факторы могут приводить к развитию онкологических заболеваний, поскольку существующие методы защиты здоровья работников остаются недостаточно эффективными.

Одним из ключевых естественных механизмов защиты организма от ксенобиотиков является система

детоксикации, которая объединяет целый ряд биохимических реакций с участием определенных генов. Еще в 1902 г. английский врач А. Э. Гаррод, один из основоположников генетики, высказал гипотезу о том, что гены контролируют протекание ферментативных реакций в организме, причем наследственные факторы предрасположенности являются определяющими для возникновения и развития метаболических заболеваний (Galton, 2014).

Вероятность появления профессиональных заболеваний зависит не только от интенсивности и времени воздействия вредных производственных факторов, но и от способности организма нейтрализовать их влияние. Болезнь представляет собой результат влияния внешних и внутренних токсических веществ на генетическую предрасположенность (Vineis et al., 2020). Индивидуальная реакция организма на воздействие ксенобиотиков и вариативность скорости процесса детоксикации обусловлены в большей степени наличием или отсутствием дефектов в структуре генов, регулирующих активность ферментов детоксикации (Дроздова и соавт., 2023).

Кроме генетических предрасположенностей, на экспрессию и активность ферментов детоксикации влияют эпигенетические факторы, в том числе пол, возраст, пищевые привычки, физические нагрузки. Ведущим фактором образа жизни, определяющим степень устойчивости или восприимчивости к токсическому воздействию, является питание.

В целях профилактики профессиональных заболеваний в настоящее время реализуется несколько государственных направлений диетологической поддержки здоровья работающих во вредных условиях труда. В зависимости от профессиональной вредности работникам бесплатно выдают молоко или адекватно заменяющие его кисломолочные продукты, обогащенную пектином пищевую продукцию, витаминные препараты, рационы питания и специализированные пищевые

¹ World Health Organization. (2020). *Trends in noncommunicable disease mortality and risk factors, and deaths from injuries and violence. World health statistics 2020: Monitoring health for the SDGs*. World Health Organization, 12–18. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/resrep33080.9>

² Федеральная служба государственной статистики. *Трудовые ресурсы, занятость и безработица* [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/labour_force (дата обращения 01.01.2025).

³ Федеральная служба государственной статистики. *Условия труда* [Электронный ресурс]. https://rosstat.gov.ru/working_conditions (дата обращения 01.01.2025).

⁴ Федеральная служба государственной статистики. *Условия труда* [Электронный ресурс]. https://rosstat.gov.ru/working_conditions (дата обращения 01.01.2025).

продукты лечебно-профилактического назначения^{5,6}. Однако обеспечение питанием работников, занятых во вредных условиях труда, является способом компенсации влияния вредных факторов рабочей среды организованных коллективов в целом без учета генетических особенностей индивидуума.

Под индивидуальным детоксикационным потенциалом в контексте данной статьи будем понимать влияние индивидуальных генетических и эпигенетических факторов организма на его способность нейтрализовать, преобразовывать и выводить токсические вещества, образующиеся в процессе метаболизма или поступающие извне под воздействием вредных производственных факторов, а также способность снижать вероятность реализации профессиональных рисков.

Цель обзора заключается в изучении влияния продуктов питания на индивидуальный детоксикационный потенциал с учетом генетических предрасположенностей человека.

В качестве основных методов обзора были выбраны контент-анализ и графический метод.

Для достижения указанной цели были определены следующие задачи:

- (1) провести литературный анализ особенностей протекания фаз детоксикации;
- (2) на основании существующих литературных данных определить продукты питания, влияющие на активность ферментов детоксикации при полиморфизме генов, их кодирующих.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

С учетом цели настоящего обзора поиск источников осуществлялся по следующим ключевым словам: персонализированное питание, нутригеномика, ферменты первой фазы детоксикации, ферменты второй фазы детоксикации, воздействие токсинов, метаболизм и детоксикация. Поиск источников осуществлялся по базам

данных e-library, PubMed и ScienceDirect. Из источников на русском языке были исключены:

- 1) тезисы конференций,
- 2) научные статьи, не входящие в перечень ВАК,
- 3) научные статьи, опубликованные в журналах 4-го квартиля из перечня ВАК.

В обзор включены научные статьи на русском языке, опубликованные в журналах, из которых:

- 1) 8 журналов входят в Ядро РИНЦ и в Белый список ВАК,
- 2) 8 журналов относятся к 1-му квартилю в Перечне ВАК, 2 — ко 2-му квартилю, 1-к 3-му квартилю,
- 3) 8 журналов входят в Scopus.

Более 70 % русскоязычных статей были опубликованы в период с 2021 по 2023 г. Среди англоязычных источников 53 % относятся к периоду 2021–2025 гг.

В списке литературы около 70 % источников представляют собой научные статьи и главы из книг на английском языке, примерно 30 % — источники на русском языке.

Большинство выбранных источников относятся к обзорным статьям, были использованы также исследовательские статьи и одно клиническое исследование.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Особенности протекания I и II фаз детоксикации

Детоксикация — это непрерывно протекающий процесс, в который вовлечены практически все системы организма человека, но основным органом является печень. Задачей детоксикации является метаболизм вредных веществ путем перевода из липофильных форм в гидрофильные и последующее удаление из организма. Естественная метаболическая детоксикация в большинстве случаев включает две фазы, представляющие собой взаимосвязанные биохимические реакции с участием ферментных систем, поэтому данный процесс часто называют биотрансформацией (Almazroo et al., 2017; Saghir et al., 2023; Yaqoob et al., 2022).

⁵ Приказ Минтруда России от 12.05.2022 № 291н «Об утверждении перечня вредных производственных факторов на рабочих местах с вредными условиями труда, установленными по результатам специальной оценки условий труда, при наличии которых занятым на таких рабочих местах работникам выдаются бесплатно по установленным нормам молоко или другие равноценные пищевые продукты, норм и условий бесплатной выдачи молока или других равноценных пищевых продуктов, порядка осуществления компенсационной выплаты, в размере, эквивалентном стоимости молока или других равноценных пищевых продуктов». Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_417984/ (дата обращения 03.10.2024).

⁶ Приказ Минтруда России от 16.05.2022 № 298н «Об утверждении перечня отдельных видов работ, при выполнении которых работникам предоставляется бесплатно по установленным нормам лечебно-профилактическое питание, норм бесплатной выдачи витаминных препаратов, а также норм и условий бесплатной выдачи лечебно-профилактического питания». Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_417985/ (дата обращения 04.10.2024).

I фаза детоксикации, или биоактивация, включает микросомальные окислительно-восстановительные реакции (окисление, восстановление, гидролиз), способствующие переходу неполярных липофильных ксенобиотиков в агрессивные промежуточные метаболиты в присутствии ферментов, чаще всего цитохромов (CYP P450) (Deng et al., 2018; Zhao et al., 2021; Veith et al., 2018). Реакции II фазы включают в себя присоединение, или конъюгацию, к функциональным группам метаболитов, которые определяют тип реакции, молекул глюкуроновой кислоты, сульфата, ацетата, глутатиона или аминокислот под контролем специфических ферментов (James, 2022; Chen, 2024). В результате конъюгации образуются нейтральные гидрофильные соединения, которые легко выводятся из организма.

Нормальная метаболическая активность ферментов детоксикации является одним из основных условий успешной нейтрализации ксенобиотиков. В случае, если наблюдаются структурные деформации генов, так называемые полиморфизмы, нарушается функциональная активность или экспрессия кодируемых ими ферментов (Dasari et al., 2018; Hossam Abdelmonem et al., 2024).

К основным ферментам, участвующим в обезвреживании экзогенных токсинов и объединенным в группу ксенобиотических метаболизирующих ферментов (ХМЕ), относят цитохромы (CYP P450), глутатион-S-трансферазы (GST), N-ацетилтрансферазы (NAT). Полиморфизмы генов данных ферментов являются маркерами предрасположенности к определенным онкологическим заболеваниям (Aga et al., 2022).

Ферменты I фазы — цитохромы (CYP P450) имеют низкую субстратную специфичность в отношении значительного числа ксенобиотиков. Более 66 % токсинов химической природы нейтрализуются цитохромами, при этом метаболизм 77 % всех токсинов осуществляется при участии шести представителей CYP P450 (1A1, 1A2, 1B1, 2A6, 2E1 и 3A4) (Rendic et al., 2021). Полиморфизмы генов цитохромов CYP P450 могут включать различные варианты: однонуклеотидный (SNP) — когда происходит точечная замена одной аминокислоты на другую; делеционный — при потере участка ДНК; копирование и вставки коротких участков ДНК (Esteves et al., 2021).

Наиболее важными ферментами II фазы детоксикации, метаболизирующими различные виды ксенобиотиков, включая канцерогены, является семейство глутатион-S-трансфераз (GST) классов M, T и P. В качестве примера полиморфизмов генов GST рассматриваются одинарные или двойные делеции в генах GSTT1 и GSTM1, подразумевающие биологическое отсутствие фермента, что приводит к значительному снижению или полной потере детоксикационной способности организма и развитию экологически детерминирован-

ных заболеваний (Шуматова и соавт., 2021; Амромина и соавт., 2021).

N-ацетилтрансферазы (NAT) представлены изоферментами NAT1 и NAT2, катализирующими ацетилирование ароматических аминов и гидразинов (Petryszyn, et al., 2025). Фермент NAT2 наиболее подвержен аллельным полиморфизмам, которые могут включать в себя множественные изменения в аллелях, например, копирование одного и того же гена, неоднократную замену одной аминокислоты на другую (Перетолчина и соавт., 2021).

Примеры влияния различных вариантов полиморфизма генов на активность кодирующих их ферментов детоксикации приведены в Таблице 1.

Между двумя фазами метаболической детоксикации существует тесная взаимосвязь. В случае генетической уязвимости каталитическая активность и экспрессия цитохромов может варьироваться от сверхбыстрой до нулевой, что приводит к одинаково неблагоприятным последствиям для здоровья. Вследствие повышенной активности цитохромов образуется большое количество реактивных токсичных метаболитов, которые необходимо оперативно нейтрализовать. Ресурсов системы конъюгации II фазы может быть недостаточно, что способствует нарушению функционирования биологических систем организма человека на молекулярном уровне. В случае, если цитохромы теряют активность, то скорость реакций активации замедляется, I фаза детоксикации работает неэффективно, что приводит к накоплению ксенобиотиков в организме и вызывает нарушения в работе органов и систем (Elfaki et al., 2018; Bonetti et al., 2023). При полиморфизме генов глутатион-S-трансфераз скорость реакций II фазы биотрансформации существенно замедляется, что увеличивает количество промежуточных агрессивных метаболитов и усиливает их совокупное повреждающее действие (Alnasser, 2025).

Механизм протекания реакций детоксикации при полиморфизме генов ферментов I и II фаз представлен на Рисунках 1 и 2.

Таким образом, полиморфизмы генов по-разному влияют на скорость работы ферментов I и II фаз биотрансформации. В любом случае неблагоприятные генетические вариации нарушают баланс системы детоксикации, способствуя повышению индивидуальной чувствительности организма к токсичному действию химических факторов и риску развития мультифакторных болезней (Могиленкова и соавт., 2016; Chiarella et al., 2023).

В рамках изучения проведенных исследований особенностей реализации профессиональных рисков выявлено, что активность фермента II фазы детоксика-

Таблица 1
Взаимосвязь активности некоторых ферментов детоксикации и генотипа
Table 1
Correlation between the Activity of Some Detoxification Enzymes and Genotype

Генотип	Тип полиморфизма	Активность фермента	Авторы
Ферменты I фазы детоксикации			
CYP1A1 rs 1048943 (A > G) rs 464621 (T > C)	Однонуклеотидный	Увеличение активности в 2 раза	Мовергоз и соавт., 2022
CYP2B6 rs 2279349 (A > G)		Снижение активности	
Ферменты II фазы детоксикации			
GSTM1 (+/0)	Гетерозиготный делеционный (один неизмененный и один делеционный (нулевой) аллель)	Частичная потеря активности	Каримов и соавт., 2020
GSTM1 (0/0)	Гомозиготный делеционный, или нулевой (по двум аллелям) (0/0)	Полная потеря активности	
NAT2*11, NAT2*12A, NAT2*12B, NAT2*12C, NAT2*13A, NAT2*18, NAT2*4	Аллельный	Увеличение активности («быстрые ацетиляторы»)	Перетолчина и соавт., 2021
NAT2*5A-J, NAT2*6A-E, NAT2*7, NAT2*12D, NAT2*14A-G, NAT2*19		Сниженная активность («медленные ацетиляторы»)	
NAT2*6/*6, NAT2*6/*7		Активность стремится к нулю («ультрамедленные ацетиляторы»)	

Рисунок 1
Механизм реакций детоксикации при полиморфизме генов ферментов I фазы (составлено авторами)
Figure 1
Mechanism of Detoxification Reactions in Case of Phase I Enzyme Gene Polymorphism (the scheme is developed by the authors)

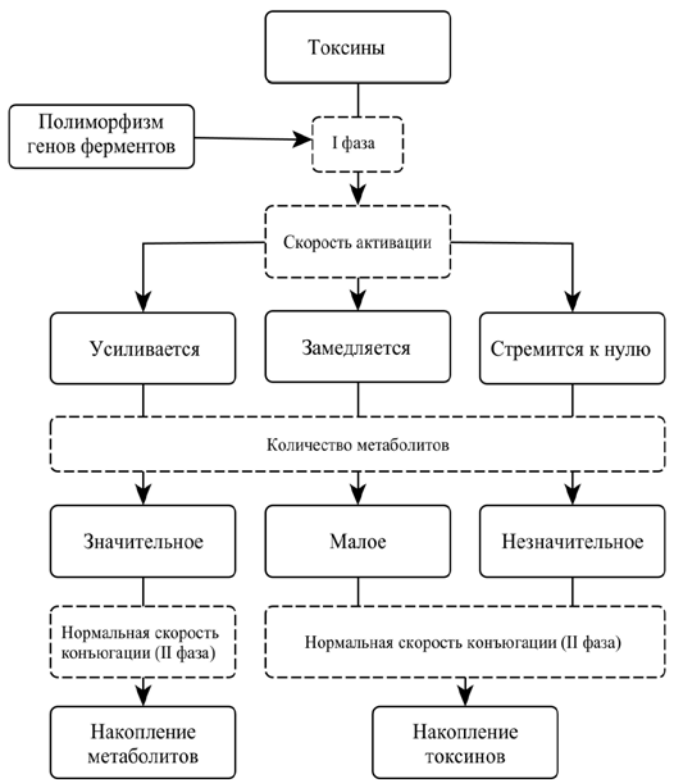


Рисунок 2
Механизм реакций детоксикации при полиморфизме генов ферментов II фазы (составлено авторами)
Figure 2
Mechanism of Detoxification Reactions with Polymorphism of the Phase II Enzyme Genes (the scheme is developed by the authors)



ции глутатион-S-трансферазы у работников, которые занимаются сплавами цветных металлов, при наличии делеционного полиморфизма гена GSTM1 значительно снижается либо полностью отсутствует. Концентрация мышьяка в крови у носителей мутантного генотипа GSTM1 в три раза выше, чем у работников с нормальным генотипом, что указывает на значительное снижение способности к метаболизму мышьяка и нейтрализации его оксидативного действия (Шаихова и соавт., 2022). Однако превышение допустимых уровней других тяжелых металлов, находящихся в воздушной среде цеха, таких как свинец, сурьма, кадмий, в крови плавильщиков не установлено. Представлена гипотеза, что в качестве компенсаторного механизма сниженной деятельности GSTM1 конъюгация данных тяжелых металлов проводилась под контролем других ферментов II фазы детоксикации.

В исследовании (Крийт и соавт., 2020) проведен анализ содержания диоксида в крови работников профессиональной пожарной охраны, имеющих различные полиморфизмы генов ферментной системы. Установлено, что скорость ферментативных реакций значительно снижена в случае полиморфизма ферментов I фазы детоксикации — цитохрома CYP1A1 (A/G) и II фазы — глутатион-S-трансферазы (GSTM1 I/D, GSTT1 I/D, GSTP1 A/G, GSTP1 T/T). При этом у данной группы пожарных концентрация диоксинов, обладающих кумулятивными, канцерогенными и мутагенными свойствами, в 4–5 раз выше уровня у генотипов, обладающих нормальной ферментной активностью.

Таким образом, при наличии полиморфизма генов ферментов системы детоксикации особенно важно поддерживать обе фазы. Индивидуальные рационы детоксикационного питания составляют с учетом включения продуктов-индукторов, способствующих активации определенных ферментов системы детоксикации, и исключения продуктов-ингибиторов, которые могут их подавлять.

Влияние продуктов питания на процесс детоксикации при полиморфизме генов

В настоящее время наблюдается повышенный научный интерес к натуральным пищевым компонентам, которые принимают активное участие в нейтрализации токсичного действия ксенобиотиков и способствуют улучшению качества жизни, потенциально снижая риски заболеваний (Panda et al., 2023; Xiao et al., 2024). В целом, сбалансированное питание, богатое разнообразными макро- и микроэлементами, играет важную роль в поддержании оптимального функционирования системы детоксикации и смягчении последствий генетических вариаций, способных оказывать влияние на скорость ферментативных реакций (Hoffman et al., 2017). Однако

в случае выявления генетических полиморфизмов системы детоксикации общие диетические рекомендации могут быть недостаточно эффективными. Одинаковый рацион питания вызывает у людей индивидуальные реакции организма на клеточном уровне, причиной которых является любой тип полиморфизма генов. В равной степени с особенностями генетического профиля питание как эпигенетический фактор способно влиять на функциональную активность и экспрессию генов (Bordoni et al., 2019).

Концепция персонализированного питания построена на взаимодействии компонентов рациона питания человека с его генетическим профилем и направлена на профилактику заболеваний (Singar et al., 2024; Park, 2024). С диспозиции нутригеномики карта полиморфизмов генетического профиля индивидуума выступает одним из главных инструментов при подборе определенных продуктов питания, поэтому разработка персонализированных диетических рационов может стать наиболее эффективным направлением поддержания здоровья человека на всех этапах жизни (Жилинская, 2018; Laddu et al., 2019). Персональные диетические рекомендации, учитывающие наследственные нарушения метаболизма и предлагающие способы их коррекции, составляют на основе генетических уязвимостей (Kiani et al., 2022).

При употреблении в пищу некоторых видов растительных продуктов биологически активные фитохимические вещества в их составе выступают не только в качестве антиоксидантов, способных снизить окислительный стресс, но и обладают свойством модулировать активность ферментов напрямую либо опосредованно, влияя на экспрессию генов — регуляторов сигнальных путей ферментов детоксикации (Батурин и соавт., 2012; Sikolidis, 2018; Мажаева, 2022).

Особенности влияния некоторых продуктов на ферменты детоксикации представлены в Таблице 2.

В некоторых случаях фитохимические вещества, как следует из Таблицы 2, оказывают комплексное влияние на обе фазы биотрансформации. Так, брокколи содержит сульфорофан, который способен ингибировать некоторые ферменты I фазы и активировать ферменты II фазы детоксикации. По такому же механизму работают катехины зеленого чая, стимулируя активность глутатион-S-трансфераз и избирательно замедляя работу определенных цитохромов.

Питательные вещества также могут влиять на работу ферментов детоксикации. Например, при употреблении большого количества белковых продуктов в составе рациона питания активность CYP1A2 усиливается, а в слу-

Таблица 2
Особенности влияния некоторых фитохимических веществ на ферменты детоксикации
Table 2
Characteristics of the Influence of Some Phytochemicals on Detoxification Enzymes

Группа соединений	Фитохимические вещества	Продукты питания	Ферменты	Потенциальные клинические проявления	Авторы
Изотиоцианаты	Сульфорафан	Брокколи	CYP1A1 CYP2B1/2 CYP3A4 CYP2E1	Ингибирование	Elkashty et al., 2021
			GST	Индукция	
Полифенолы	Фуранокумарины	Соки лайма, кислого апельсина, грейпфрута	CYP3A4	Ингибирование	Masuda et al., 2017
		Грейпфрутовый сок	CYP2C19	Ингибирование	Seki et al., 2019
	Ресвератрол	Виноград, орехи, яблоки	CYP2C19	Ингибирование	Seki et al., 2019
	Катехины	Зеленый чай	CYP1A2, CYP2C9, CYP2D6, CYP3A4	Ингибирование	Satoh et al., 2016
			GST	Индукция	Farhan et al, 2022
	Эллаговая кислота	Малина, клубника, черника, гранат, грецкие орехи	CYP1A1	Ингибирование	Padma et al., 2014
	Кверцетин	Лук, салатные листья, брокколи, яблоко (кожура), красное вино	NAT1, NAT2	Ингибирование	Kukongviriyapan et al., 2006
Алкалоиды	Куркумин	Куркума	NAT2	Ингибирование	Clifford et al., 2015
	Кофейная кислота	Кофе	NAT1	Ингибирование	
	Бетанин	Свекла	GST	Индукция	
Дисульфиды	Диаллилсульфид	Чеснок	CYP2E1	Ингибирование	Kim et al., 2022

чае высокоуглеводного питания ослабевает (Zarezadeh et al., 2021).

Следует отметить ошибочный подход в концентрации внимания в отношении коррекции питания только на определенном веществе или продукте. Множество пищевых компонентов в составе разнообразных продуктов рациона питания создают комплексные биохимические взаимодействия, которые могут иметь как нейтральный, так и синергический или антагонистический эффект (Thompson et al., 2023). Так, средиземноморская диета, включающая в своем составе овощи, фрукты, рыбу, бобовые, способствует экспрессии генов GSTP1 и NAT2 и индукции соответствующих ферментов детоксикации и снижает вероятность возникновения рака молочной железы (Kakkoura et al., 2017). В перспек-

тиве персонализированное питание конкретного человека может модифицироваться в рацион, состоящий из индивидуально разработанных на основе генетических особенностей функциональных продуктов (Иванова и соавт., 2018; Кочеткова и соавт., 2020). Следует учесть, что персонализированный рацион питания должен формироваться на основании «индекса ботанического разнообразия» и «концепции пищевой синергии», то есть растительные продукты в его составе должны принадлежать к различным классам и усиливать полезное фитохимическое действие друг друга (Jacobs et al., 2009; Thompson et al., 2021).

Таким образом, осведомленность о генетических особенностях системы детоксикации человека определяет подходы к модификации рационов питания для постро-

ения наиболее эффективной диетологической поддержки индивидуального детоксикационного потенциала конкретного работника, подвергающегося воздействию вредной производственной среды.

Однако для полного понимания механизмов взаимодействия продуктов питания и генетических факторов необходимы дальнейшие исследования. Требуется изучения вопроса расчета эффективного количества фитохимических веществ, входящих в состав персонализированного питания, с учетом потерь при технологической обработке, степени усвояемости, а также корреляции с индивидуальными особенностями работающих во вредных условиях труда, таких как концентрация химических компонентов в крови, длительность работы, возраст и прочее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полиморфизм генов ферментов детоксикации усиливает индивидуальные факторы восприимчивости к токсичному воздействию на организм и приводит к неблагоприятным последствиям для здоровья. Изменение скорости ферментативных реакций, наблюдаемое при генетических вариациях, напрямую влияет на эффективность нейтрализации токсичного действия ксенобиотиков. Некоторые продукты питания играют ключевую роль в регулировании активности ферментов системы детоксикации. Проводимые в данном направлении исследования открывают новые горизонты для создания персонализированных диетологических стратегий, направленных на улучшение здоровья работников, подвергающихся интоксикации на рабочем месте.

В качестве перспективных направлений развития данной темы исследований можно выделить следующие:

- клинические исследования влияния определенных продуктов питания на систему детоксикации человека;
- поиск методов повышения биодоступности определенных веществ в составе продуктов питания путем структурных модификаций (микронизация, проращивание, ферментация, нанокапсулирование и др.), а также использования гибридных систем;
- участие искусственного интеллекта в прогнозировании индивидуальной реакции организма человека на потребление рационов персонализированного питания с учетом сопоставления генетических данных с эпигенетическими изменениями, такими как стресс, сон, движение, токсическая нагрузка и др.;

- интеграция данных о микробных биомаркерах кишечника, влияющих на экспрессию генов ферментов детоксикации, в индивидуальные диетические рекомендации;
- мониторинг изменения активности показателей ферментов детоксикации, имеющих полиморфизм генов, для определения влияния продуктов персонализированного питания на метаболизм токсинов в режиме реального времени.

Таким образом, результаты настоящего обзора подчеркивают необходимость интеграции генетической информации в формирование рационов питания работников вредных производств. Персонализация питания, учитывающая генетические особенности человека и потребляемую им пищу, позволит более направленно поддерживать индивидуальный детоксикационный потенциал работающих во вредных условиях труда и компенсировать профессиональные риски.

ВКЛАД АВТОРОВ

Спицина Т. В.: формулирование замысла/идеи обзорной статьи, целей и задач; создание и подготовка рукописи.

Никитин И. А.: административное управление планированием и написанием обзорной статьи; выбор методологии обзорной статьи.

AUTHORS CONTRIBUTION STATEMENT

Tatyana V. Spitsina: formulation of overarching review article goals and aims; design of review article methodology; preparation, creation and presentation of the published work.

Igor A. Nikitin: acquisition of the financial support for the project leading to this publication; management and coordination responsibility for planning and writing a review article.

ЛИТЕРАТУРА

- Амромина, А. М., Ситников, И. А., & Шаихова, Д. Р. (2021). Взаимосвязь полиморфных вариантов генов GSTM1, GSTT1, GSTP1 с риском развития заболеваний (обзор литературы). *Гигиена и санитария*, 100(12), 1385–1390. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1385-1390>
- Батурин, А. К., Сорокина, Е. Ю., Погожева, А. В., & Тутельян, В. А. (2012). Генетические подходы к персонализации питания. *Вопросы питания*, 81(6), 4–11
- Дроздова, Е. В., Колеснева, Е. В., Сяхович, В. Э., & Долгина, Н. А. (2023). Полиморфизмы генов ксенобиотического метаболизма CYP2E1, GSTM1, GSTT1, EPHX1 как биомаркеры чувствительности к воздействию побочных продуктов дезинфекции воды (на примере хлороформа). *Анализ риска здоровью*, 2023(1), 146–159. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.15>
- Ефимова, Н. В., Кузьмина, М. В., & Бобкова, Е. В. (2023). Оценка годовой динамики химического аэрогенного риска для здоровья и смертности населения промышленного центра. *Гигиена и санитария*, 102(12), 1375–1380. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1375-1380>
- Жилинская, Н. В. (2018). Персонализация питания — основной сценарий развития пищевой индустрии. *Вопросы питания*, 87(5), 211–211. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10320>
- Ибраева Л. К. (2014). Влияние экологических факторов окружающей среды на развитие заболеваний у населения (обзор литературы). *Медицина труда и промышленная экология*, (8), 38–43
- Иванова, В. Н., Никитин, И. А., Портнов, Н. М., Жученко, Н. А., Штерман, С. В., & Сидоренко, М. Ю. (2018). Проектирование персонализированных рационов с применением функциональных пищевых продуктов. *Пищевая промышленность*, (11), 10–16
- Каримов, Х. Я., & Ассесорова, Ю. Ю. (2020). Роль полиморфных генов GSTM и GSTT в онкогенезе и возникновении гематологических новообразований. *Вопросы онкологии*, 66(5), 472–478. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2020-66-5-472-478>
- Кочеткова, А. А., Воробьева, В. М., Саркисян, В. А., Воробьева, И. С., Смирнова, Е. А., & Шатнюк, Л. Н. (2020). Динамика инноваций в технологии производства пищевых продуктов: от специализации к персонализации. *Вопросы питания*, 89(4), 233–243. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10056>
- Крийт, В. Е., Сладкова, Ю. Н., Санников, М. В., & Пятибрат, А.О. (2020). Оценка концентрации диоксинов в липидах крови пожарных в зависимости от полиморфных вариантов генов детоксикации ксенобиотиков. *Здоровье населения и среда обитания*, 10(331), 65–74. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-65-74>
- Липатов, Г. Я., Шмакова Е. Е., Адриановский В. И., Злыгостева, Н. В., & Плотко, Э. Г. (2021). Условия труда рабочих основных профессий при получении меди пирометаллургическим и гидрометаллургическим способом в России. *Гигиена и санитария*, 100(12), 1443–1448. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1443-1448>
- Мажаева, Т. В., Дубенко, С. Э., Чернова, Ю. С., & Носова, И. А. (2022). Молекулярно-генетические аспекты риска здоровью во взаимосвязи с неблагоприятными условиями окружающей среды и питанием (систематический обзор). *Анализ риска здоровью*, (4), 186–197. [10.21668/health.risk/2022.4.18](https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.4.18)
- Мовергоз, С. В., Сетко, Н. П., & Калинина, Е. Ю. (2022). Молекулярно-генетические аспекты состояния системы детоксикации у операторов и машинистов в зависимости от степени вредности производственных факторов. *Оренбургский медицинский вестник*, 10(2(38)), 69–72
- Могилenkova, Л. А., & Рембовский, В. Р. (2016). Роль генетического полиморфизма и различия в детоксикации химических веществ в организме человека. *Гигиена и санитария*, 95(3), 255–262. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-3-255-262>
- Перетолчина, Н. П., Малов И. В., & Семинский, И. Ж. (2021). Роль полиморфизма гена N-ацетилтрансферазы 2 в патологии человека. *Acta Biomedica Scientifica*, 6(5), 30–43. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.5.4>
- Салтыкова, М. М. (2023). Проблемы оценки риска здоровью при химическом загрязнении окружающей среды. *Медицина экстремальных ситуаций*, (2), 16–20. <https://doi.org/10.47183/mes.2023.022>
- Шаихова, Д. Р., Амромина, А. М., Берёза, И. А., Шастин, А. С., Газимова, В. Г., Сутункова, М. П., & Гурвич, В. Б. (2022). Влияние генетического полиморфизма генов GSTM1, GSTT1, GSTP1 на содержание металлов в крови у плавильщиков производства сплавов цветных металлов. *Анализ риска здоровью*, (3), 176–181. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.17>

- Шуматова, Т. А., & Коваленко, Д. В. (2021). Роль генов второй фазы детоксикации ксенобиотиков в патогенезе мультифакториальных заболеваний. *Тихоокеанский медицинский журнал*, (4), 16–20. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2021-4-16-20>
- Aga, S. S., Banday, M. Z., & Nissar, S. (Eds.). (2022). Genetic polymorphism and disease (1st ed.). *CRC Press*. 562, 9781003246244. <https://doi.org/10.1201/9781003246244>
- Agundez, J. (2008). Polymorphisms of human N-acetyltransferases and cancer risk. *Current Drug Metabolism*, 9(6), 520–531. <https://doi.org/10.2174/138920008784892083>
- Almazroo, O. A., Miah, M. K., & Venkataramanan, R. (2017). Drug metabolism in the liver. *Clinics in Liver Disease*, 21(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.cld.2016.08.001>
- Alnasser, S. M. (2025). The role of glutathione S-transferases in human disease pathogenesis and their current inhibitors. *Genes & Diseases*, 12, 101482, <https://doi.org/10.1016/j.gendis.2024.101482>
- Bonetti, G., Medori, M. C., Dhuli, K., Macchia, A., Donato, K., Cristoni, S., Miertus, S., Miertus, J., Veselenyiova, D., Iaconelli, A., Aquilanti, B., Matera, G., Connelly, S. T., & Bertelli, M. (2023). Nutrigenomics: SNPs correlated to detoxification, antioxidant capacity and longevity. *La Clinica Terapeutica*, 174(2(6)), 209–213. <https://doi.org/10.7417/CT.2023.2489>
- Bordoni, L., & Gabbianelli, R. (2019). Primers on nutrigenetics and nutri(epi)genomics: Origins and development of precision nutrition. *Biochimie*, 160, 156–171. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2019.03.006>
- Chen, C. (2024). Phase II detoxification enzymes. In: *Activation and Detoxification Enzymes*, 59–70. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55287-8_6
- Chiarella, P., Capone, P., & Sisto, R. (2023). Contribution of genetic polymorphisms in human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 912. <https://doi.org/10.3390/ijerph20020912>
- Clifford, T., Howatson, G., West, D., & Stevenson, E. (2015). The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, 7(4), 2801–2822. <https://doi.org/10.3390/nu7042801>
- Dasari, S., Gonuguntla, S., Ganjavi, M. S., Bukke, S., Sreenivasulu, B., & Meriga, B. (2018). Genetic polymorphism of glutathione S-transferases: Relevance to neurological disorders. *Pathophysiology*, 25(4), 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2018.06.001>
- Deng, J., Ling, Z., Ni-Ya, Z., Karrow, N. A., Christopher, S. K., De-Sheng, Q., & Lv-Hui, S. (2018). Aflatoxin B1 metabolism: regulation by phase I and II metabolizing enzymes and chemoprotective agents. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 778, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2018.10.002>
- Elfaki, I., Mir, R., Almutairi, F. M., & Duhier, F. M. A. (2018). Cytochrome P450: polymorphisms and roles in cancer, diabetes and atherosclerosis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention: APJCP*, 19(8), 2057–2070. <https://doi.org/10.22034/APJCP.2018.19.8.2057>
- Elkashty, O. A., & Tran, S. D. (2021). Sulforaphane as a Promising natural molecule for cancer prevention and treatment. *Current Medical Science*, 41(2), 250–269. <https://doi.org/10.1007/s11596-021-2341-2>
- Esteves, F., Rueff, J., & Kranendonk, M. (2021). The central role of cytochrome P450 in xenobiotic metabolism – A brief review on a fascinating enzyme family. *Journal of Xenobiotics*, 11(3), 94–114. <https://doi.org/10.3390/jox11030007>
- Farhan, M. (2022). Green tea catechins: Nature's way of preventing and treating cancer. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18), 10713. <https://doi.org/10.3390/ijms231810713>
- Galton, D. (2014). Archibald E. Garrod: The founding father of biochemical genetics. *Pioneers of Medicine Without a Nobel Prize*, 1–21. https://doi.org/10.1142/9781783263851_0001
- Hoffman, J. B., & Hennig, B. (2017). Protective influence of healthful nutrition on mechanisms of environmental pollutant toxicity and disease risks. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1398(1), 99–107. <https://doi.org/10.1111/nyas.13365>
- Hossam Abdelmonem, B., Abdelaal, N. M., Anwer, E. K. E., Rashwan, A. A., Hussein, M. A., Ahmed, Y. F., Khashana, R., Hanna, M. M., & Abdelnaser, A. (2024). Decoding the role of CYP450 enzymes in metabolism and disease: A comprehensive review. *Biomedicines*, 12(7), 1467. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12071467>
- Jacobs, D. R., Gross, M. D., & Tapsell, L. C. (2009). Food synergy: An operational concept for understanding nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89(5), 1543S–1548S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.26736B>
- James, M. O. (2022). 1.21 – Drug Metabolism: Phase II Enzymes. *Comprehensive Pharmacology*, 1, 563–584. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820472-6.00123-7>

- Kakkoura, M. G., Loizidou, M. A., Demetriou, C. A., Loucaides, G., Daniel, M., Kyriacou, K., & Hadjisavvas, A. (2017). The synergistic effect between the Mediterranean diet and GSTP1 or NAT2 SNPs decreases breast cancer risk in Greek-Cypriot women. *European Journal of Nutrition*, 56(2), 545–555. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-1099-3>
- Kiani, A. K., Bonetti, G., Donato, K., Kaftalli, J., Herbst, K. L., Stuppia, L., Fioretti, F., Nodari, S., Perrone, M., Chiurazzi, P., Bellinato, F., Gisondi, P., & Bertelli, M. (2022). Polymorphisms, diet and nutrigenomics. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, 63(2), 125–141. <https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2022.63.2S3.2754>
- Kim, J. W., Kim, J. H., Kim, C. Y., Jeong, J. S., Lim, J. O., Kim, J. C., Ko, J. W., & Kim, T. W. (2022). Diallyl disulfide prevents 1,3-dichloro-2-propanol-induced hepatotoxicity through mitogen-activated protein kinases signaling. *Food and Chemical Toxicology*, 160, 112814. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.112814>
- Kukongviriyapan, V., Phromsopha, N., Tassaneeyakul, W., Kukongviriyapan, U., Sripa, B., Hahnvajanawong, V., & Bhudhisawasdi, V. (2006). Inhibitory effects of polyphenolic compounds on human arylamineN-acetyltransferase 1 and 2. *Xenobiotica*, 36(1), 15–28. doi:10.1080/00498250500489901
- Laddu, D., & Hauser, M. (2019). Addressing the nutritional phenotype through personalized nutrition for chronic disease prevention and management. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 62(1), 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2018.12.004>
- Masuda, M., Watanabe, S., Tanaka, M., Tanaka, A., & Araki, H. (2017). Screening of furanocoumarin derivatives as cytochrome P450 3A4 inhibitors in citrus. *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics*, 43(1), 15–20. <https://doi.org/10.1111/jcpt.12595>
- Padma, V. V., Kalai Selvi, P., & Sravani, S. (2014). Protective effect of ellagic acid against TCDD-induced renal oxidative stress: Modulation of CYP1A1 activity and antioxidant defense mechanisms. *Molecular Biology Reports*, 41(7), 4223–4232. <https://doi.org/10.1007/s11033-014-3292-5>
- Panda, C., Komarnytsky, S., Fleming, M. N., Marsh, C., Barron, K., Le Brun-Blashka, S., & Metzger, B. (2023). Guided metabolic detoxification program supports phase II detoxification enzymes and antioxidant balance in healthy participants. *Nutrients*, 15(9), 2209. <https://doi.org/10.3390/nu15092209>
- Park, S. H., Choi, H. K., Park, J. H., & Hwang, J. T. (2024). Current insights into genome-based personalized nutrition technology: A patent review. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1346144. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1346144>
- Petryszyn, P., Zurakowski, G., Dudkowiak, R., Machowska, M., Gruca, A., Ekk Cierniakowski, P., Skretkowicz, J., Poniewierka, E., Wiela-Hojenska, A., & Glowacka, K. (2025). The N Acetyltransferase 2 polymorphism and susceptibility to inflammatory bowel disease: A case-control study. *Pharmacology Research & Perspectives*, 13(1), e70040. <https://doi.org/10.1002/prp2.70040>
- Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Neville, T., Bos, R., & Neira, M. (2017). Diseases due to unhealthy environments: an updated estimate of the global burden of disease attributable to environmental determinants of health. *Journal of Public Health*, 39(3), 464–475. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdw085>
- Rendic, S.P., Guengerich F.P. (2021). Human Family 1–4 cytochrome P450 enzymes involved in the metabolic activation of xenobiotic and physiological chemicals: an update. *Archives of Toxicology*, 95(2), 395–472. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02971-4>
- Saghir, S. A., Ansari, R. A., & Munir, S. T. (2023). Fate of chemicals following exposure III: Metabolism (biotransformation). In P. Wexler (Ed.). *Encyclopedia of Toxicology*, Vol. 4, 635–668. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00050-6>
- Seki, H., Akiyoshi, T., Imaoka, A., & Ohtani, H. (2019). Inhibitory kinetics of fruit components on CYP2C19 activity. *Drug Metabolism and Pharmacokinetics*, 34(3), 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.dmpk.2019.02.002>
- Singar, S., Nagpal, R., Arjmandi, B. H., & Akhavan, N. S. (2024). Personalized nutrition: Tailoring dietary recommendations through genetic insights. *Nutrients*, 16(16), 2673. <https://doi.org/10.3390/nu16162673>
- Sikalidis, A. K. (2018). From food for survival to food for personalized optimal health: A historical perspective of how food and nutrition gave rise to nutrigenomics. *Journal of the American College of Nutrition*, 38(1), 84–95. <https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1481797>
- Satoh, T., Fujisawa, H., Nakamura, A., Takahashi, N., & Watanabe, K. (2016). Inhibitory effects of eight green tea catechins on cytochrome P450 1A2, 2C9, 2D6, and 3A4 activities. *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 19(2), 188. <https://doi.org/10.18433/j3ms5c>
- Thompson, H. J., Levitt, J. O., McGinley, J. N., Chandler, P., Guenther, P. M., Huybrechts, I., & Playdon, M. C. (2021). Measuring dietary botanical diversity as a proxy for phytochemical exposure. *Nutrients*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/nu13041295>

- Thompson, H. J., Lutsiv, T., McGinley, J. N., Hussan, H., & Playdon, M. C. (2023). Dietary oncoparmacognosy as a crosswalk between precision oncology and precision nutrition. *Nutrients*, 15(9), 2219. <https://doi.org/10.3390/nu15092219>
- Veith, A., & Moorthy, B. (2018). Role of cytochrome P450s in the generation and metabolism of reactive oxygen species. *Current Opinion in Toxicology*, 7, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2017.10.003>
- Vineis, P., Robinson, O., Chadeau-Hyam, M., Abbas Dehghan, A., Mudway, I., & Dagnino, S. (2020). What is new in the exposome? *Environment International*, 143, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105887>
- Xiao, Y. L., Gong, Y., Qi, Y. J., Shao, Z. M., & Jiang, Y. Z. (2024). Effects of dietary intervention on human diseases: molecular mechanisms and therapeutic potential. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 9 (59). <https://doi.org/10.1038/s41392-024-01771-x>
- Xu, H., Jia, Y., Sun, Z., Su, J., Liu, Q. S., Zhou, Q., & Jiang, G. (2022). Environmental pollution, a hidden culprit for health issues. *Eco-Environment and Health*, 1(1), 31–45 <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.04.003>
- Yaqoob, A., Rehman, Q., Rehman, K., Akash, M. S. H., Hussain, I., & Ahmad, R. (2022). Role of drug-metabolizing enzymes in biotransformation of drugs. In *Biochemistry of Drug Metabolizing Enzymes: Trends and Challenges*, 73–108. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95120-3.00013-0>
- Zarezadeh, M., Saedisomeolia, A., Shekarabi, M., Khorshidi, M., Emami, M. R., & Müller, D. J. (2021). The effect of obesity, macronutrients, fasting and nutritional status on drug-metabolizing cytochrome P450s: a systematic review of current evidence on human studies. *European Journal of Nutrition*, 60(6), 2905–2921. <https://doi.org/10.1007/s00394-020-02421-y>
- Zhao, M., Ma, J., Li, M., Zhang, Y., Jiang, B., Zhao, X., Huai, C., Shen, L., Zhang, N., He, L., & Qin, S. (2021). Cytochrome P450 enzymes and drug metabolism in humans. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23), 12808. <https://doi.org/10.3390/ijms222312808>

REFERENCES

- Aga, S. S., Banday, M. Z., & Nissar, S. (Eds.). (2022). Genetic polymorphism and disease (1st ed.). CRC Press. 562, 9781003246244. <https://doi.org/10.1201/9781003246244>
- Agundez, J. (2008). Polymorphisms of human N-acetyltransferases and cancer risk. *Current Drug Metabolism*, 9(6), 520–531. <https://doi.org/10.2174/138920008784892083>
- Almazroo, O. A., Miah, M. K., & Venkataramanan, R. (2017). Drug metabolism in the liver. *Clinics in Liver Disease*, 21(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.cld.2016.08.001>
- Alnasser, S. M. (2025). The role of glutathione S-transferases in human disease pathogenesis and their current inhibitors. *Genes & Diseases*, 12, 101482, <https://doi.org/10.1016/j.gendis.2024.101482>
- Amromina, A. M., Sitnikov, I. A., & Shaikhova, D. R. (2021). The relationship of polymorphic variants of genes GSTM1, GSTT1, GSTP with the risk of developing diseases (literature review). *Hygiene and Sanitation*, 100(12), 1385–1390. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1385-1390> (In Russ.)
- Baturin, A. K., Sorokina, E. Yu., Pogozheva, A. V., & Tutelyan, V. A (2012). Genetic approaches to nutrition personalization. *Problems of Nutrition*, 81(6), 4–11 (In Russ.)
- Bonetti, G., Medori, M. C., Dhuli, K., Macchia, A., Donato, K., Cristoni, S., Miertus, S., Miertus, J., Veselenyiova, D., Iaconelli, A., Aquilanti, B., Matera, G., Connelly, S. T., & Bertelli, M. (2023). Nutrigenomics: SNPs correlated to detoxification, antioxidant capacity and longevity. *La Clinica Terapeutica*, 174(2(6)), 209–213. <https://doi.org/10.7417/CT.2023.2489>
- Bordoni, L., & Gabbianelli, R. (2019). Primers on nutrigenetics and nutri(epi)genomics: Origins and development of precision nutrition. *Biochimie*, 160, 156–171. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2019.03.006>
- Chen, C. (2024). Phase II detoxification enzymes. In: *Activation and Detoxification Enzymes*, 59–70. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55287-8_6
- Chiarella, P., Capone, P., & Sisto, R. (2023). Contribution of genetic polymorphisms in human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(2), 912. <https://doi.org/10.3390/ijerph20020912>
- Clifford, T., Howatson, G., West, D., & Stevenson, E. (2015). The potential benefits of red beetroot supplementation in health and disease. *Nutrients*, 7(4), 2801–2822. <https://doi.org/10.3390/nu7042801>

- Dasari, S., Gonuguntla, S., Ganjayi, M. S., Bukke, S., Sreenivasulu, B., & Meriga, B. (2018). Genetic polymorphism of glutathione S-transferases: Relevance to neurological disorders. *Pathophysiology*, 25(4), 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.pathophys.2018.06.001>
- Deng, J., Ling, Z., Ni-Ya, Z., Karrow, N. A., Christopher, S. K., De-Sheng, Q., & Lv-Hui, S. (2018). Aflatoxin B1 metabolism: regulation by phase I and II metabolizing enzymes and chemoprotective agents. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 778, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2018.10.002>
- Drozdova, E. V., Kolesneva, E. V., Syakhovich, V. E., & Dalhina, N. A. (2023). Polymorphisms of xenobiotic metabolism enzyme genes CYP2E1, GSTM1, GSTT1, EPHX1 as biomarkers of sensitivity to exposure to water disinfection byproducts (using chloroform as an example). *Health Risk Analysis*, 2023(1), 157–170. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.15> (In Russ.)
- Efimova, N. V., Kuzmina, M. V., & Bobkova, E. V. (2023). Assessment of the annual trend of chemical aerogenic risk to health and mortality of the population at an industrial center. *Hygiene and Sanitation*, 102(12), 1375–1380. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-12-1375-1380> (In Russ.)
- Elfaki, I., Mir, R., Almutairi, F. M., & Duhier, F. M. A. (2018). Cytochrome P450: polymorphisms and roles in cancer, diabetes and atherosclerosis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention: APJCP*, 19(8), 2057–2070. <https://doi.org/10.22034/APJCP.2018.19.8.2057>
- Elkashty, O. A., & Tran, S. D. (2021). Sulforaphane as a Promising natural molecule for cancer prevention and treatment. *Current Medical Science*, 41(2), 250–269. <https://doi.org/10.1007/s11596-021-2341-2>
- Esteves, F., Rueff, J., & Kranendonk, M. (2021). The central role of cytochrome P450 in xenobiotic metabolism – A brief review on a fascinating enzyme family. *Journal of Xenobiotics*, 11(3), 94–114. <https://doi.org/10.3390/jox11030007>
- Farhan, M. (2022). Green tea catechins: Nature's way of preventing and treating cancer. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18), 10713. <https://doi.org/10.3390/ijms231810713>
- Galton, D. (2014). Archibald E. Garrod: The founding father of biochemical genetics. *Pioneers of Medicine Without a Nobel Prize*, 1–21. https://doi.org/10.1142/9781783263851_0001
- Hoffman, J. B., & Hennig, B. (2017). Protective influence of healthful nutrition on mechanisms of environmental pollutant toxicity and disease risks. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1398(1), 99–107. <https://doi.org/10.1111/nyas.13365>
- Hossam Abdelmonem, B., Abdelaal, N. M., Anwer, E. K. E., Rashwan, A. A., Hussein, M. A., Ahmed, Y. F., Khashana, R., Hanna, M. M., & Abdelnaser, A. (2024). Decoding the role of CYP450 enzymes in metabolism and disease: A comprehensive review. *Biomedicines*, 12(7), 1467. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12071467>
- Ibraeva L. K. (2014). The influence of environmental environmental factors on the development of diseases in the population (literature review). *Occupational Medicine and Industrial Ecology*, (8), 38–43 (In Russ.)
- Ivanova, V. N., Nikitin, I. A., Portnov, N. M., Zhuchenko, N. A., Shterman, S. V., & Sidorenko, M. Yu. (2018). Designing personalized diets using functional food products. *Food Industry*, (11), 10–16 (In Russ.)
- Jacobs, D. R., Gross, M. D., & Tapsell, L. C. (2009). Food synergy: An operational concept for understanding nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89(5), 1543S–1548S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.26736B>
- James, M. O. (2022). 1.21 – Drug Metabolism: Phase II Enzymes. *Comprehensive Pharmacology*, 1, 563–584. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820472-6.00123-7>
- Kakkoura, M. G., Loizidou, M. A., Demetriou, C. A., Loucaides, G., Daniel, M., Kyriacou, K., & Hadjisavvas, A. (2017). The synergistic effect between the Mediterranean diet and GSTP1 or NAT2 SNPs decreases breast cancer risk in Greek-Cypriot women. *European Journal of Nutrition*, 56(2), 545–555. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-1099-3>
- Karimov, H. Ya., Assessorova, Y. Y. (2020). The role of polymorphic genes GSTM and GSTT in oncogenesis and the occurrence of hematological neoplasms. *Voprosy Oncologii*, 66(5), 472–478. <https://doi.org/10.37469/0507-3758-2020-66-5-472-478> (In Russ.)
- Kiani, A. K., Bonetti, G., Donato, K., Kaftalli, J., Herbst, K. L., Stuppia, L., Fioretti, F., Nodari, S., Perrone, M., Chiurazzi, P., Bellinato, F., Gisondi, P., & Bertelli, M. (2022). Polymorphisms, diet and nutrigenomics. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*, 63(2), 125–141. <https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2022.63.2S3.2754>
- Kim, J. W., Kim, J. H., Kim, C. Y., Jeong, J. S., Lim, J. O., Kim, J. C., Ko, J. W., & Kim, T. W. (2022). Diallyl disulfide prevents 1,3-dichloro-2-propanol-induced hepatotoxicity through mitogen-activated protein kinases signaling. *Food and Chemical Toxicology*, 160, 112814. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.112814>

- Kochetkova, A. A., Vorobyova, V. M., Sarkisyan, V. A., Vorobyova, I. S., Smirnova, E. A., & Shatnyuk, L. N. (2020). The dynamics of innovation in food production technology: from specialization to personalization. *Problems of Nutrition*, 89(4), 233–243. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10056> (In Russ.)
- Kriit, V. E., Sladkova, Yu. N., Sannikov, M. V., & Pyatibrat, A.O. (2020). Assessment of the concentration of dioxins in firefighters' blood lipids depending on polymorphic variants of xenobiotic detoxification genes. *Public Health and Life Environment*, 10(331), 65–74. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-331-10-65-74> (In Russ.)
- Kukongviriyapan, V., Phromsopha, N., Tassaneeyakul, W., Kukongviriyapan, U., Sripa, B., Hahnvajanawong, V., & Bhudhisawasdi, V. (2006). Inhibitory effects of polyphenolic compounds on human arylamineN-acetyltransferase 1 and 2. *Xenobiotica*, 36(1), 15–28. doi:10.1080/00498250500489901
- Laddu, D., & Hauser, M. (2019). Addressing the nutritional phenotype through personalized nutrition for chronic disease prevention and management. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 62(1), 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2018.12.004>
- Lipatov, G. Ya., Shmakova E. E., Adrianovsky V. I., Zlygosteva, N. V., & Plotko, E. G. (2021). The working conditions of workers of the main professions in obtaining copper by pyrometallurgical and hydrometallurgical methods in Russia. *Hygiene and Sanitation*, 100(12), 1443–1448. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1443-1448> (In Russ.)
- Masuda, M., Watanabe, S., Tanaka, M., Tanaka, A., & Araki, H. (2017). Screening of furanocoumarin derivatives as cytochrome P450 3A4 inhibitors in citrus. *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics*, 43(1), 15–20. <https://doi.org/10.1111/jcpt.12595>
- Mazhaeva, T. V., Dubenko, S. E., Chernova, Y. S., & Nosova, I. A. (2022). Molecular and genetic aspects of health risk in relation to adverse environmental conditions and nutrition (systematic review). *Health Risk Analysis*, (4), 186–197. 10.21668/health.risk/2022.4.18 (In Russ.)
- Movergoz, S. V., Setko, N. P., & Kalinina, E. Yu. (2022). Molecular and genetic aspects of the state of the detoxification system in operators and machinists, depending on the degree of harmfulness of industrial factors. *Orenburg Medical Herald*, 10(2(38)), 69–72 (In Russ.)
- Mogilenkova, L. A., & Rembovsky, V. R. (2016). The role of genetic polymorphism and differences in the detoxification of chemicals in the human body. *Hygiene and Sanitation*, 95(3), 255–262. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-3-255-262> (In Russ.)
- Padma, V. V., Kalai Selvi, P., & Sravani, S. (2014). Protective effect of ellagic acid against TCDD-induced renal oxidative stress: Modulation of CYP1A1 activity and antioxidant defense mechanisms. *Molecular Biology Reports*, 41(7), 4223–4232. <https://doi.org/10.1007/s11033-014-3292-5>
- Panda, C., Komarnytsky, S., Fleming, M. N., Marsh, C., Barron, K., Le Brun-Blashka, S., & Metzger, B. (2023). Guided metabolic detoxification program supports phase II detoxification enzymes and antioxidant balance in healthy participants. *Nutrients*, 15(9), 2209. <https://doi.org/10.3390/nu15092209>
- Park, S. H., Choi, H. K., Park, J. H., & Hwang, J. T. (2024). Current insights into genome-based personalized nutrition technology: A patent review. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1346144. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1346144>
- Peretolchina, N. P., Malov, I. V., & Seminsky, I. J. (2021). The role of N-acetyltransferase 2 gene polymorphism in human pathology. *Acta Biomedica Scientifica*, 6(5), 30–43. <https://doi.org/10.29413/ABS.2021-6.5.4> (In Russ.)
- Petryszyn, P., Zurakowski, G., Dudkowiak, R., Machowska, M., Gruca, A., Ekk-Cierniakowski, P., Skretkowicz, J., Poniewierka, E., Wiela-Hojenska, A., & Glowacka, K. (2025). The N-Acetyltransferase 2 polymorphism and susceptibility to inflammatory bowel disease: A case-control study. *Pharmacology Research & Perspectives*, 13(1), e70040. <https://doi.org/10.1002/prp2.70040>
- Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Neville, T., Bos, R., & Neira, M. (2017). Diseases due to unhealthy environments: an updated estimate of the global burden of disease attributable to environmental determinants of health. *Journal of Public Health*, 39(3), 464–475. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fdw085>
- Rendic, S.P., Guengerich F.P. (2021). Human Family 1–4 cytochrome P450 enzymes involved in the metabolic activation of xenobiotic and physiological chemicals: an update. *Archives of Toxicology*, 95(2), 395–472. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02971-4>
- Saghir, S. A., Ansari, R. A., & Munir, S. T. (2023). Fate of chemicals following exposure III: Metabolism (biotransformation). In P. Wexler (Ed.). *Encyclopedia of Toxicology*, Vol. 4, 635–668. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.00050-6>

- Saltykova, M. M. (2023). Problems of health risk assessment in case of chemical pollution of the environment. *Extreme Medicine*, (2), 16–20. <https://doi.org/10.47183/mes.2023.022> (In Russ.)
- Satoh, T., Fujisawa, H., Nakamura, A., Takahashi, N., & Watanabe, K. (2016). Inhibitory effects of eight green tea catechins on cytochrome P450 1A2, 2C9, 2D6, and 3A4 activities. *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*, 19(2), 188. <https://doi.org/10.18433/j3ms5c>
- Seki, H., Akiyoshi, T., Imaoka, A., & Ohtani, H. (2019). Inhibitory kinetics of fruit components on CYP2C19 activity. *Drug Metabolism and Pharmacokinetics*, 34(3), 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.dmpk.2019.02.002>
- Shaikhova, D. R., Amromina, A. M., Bereza, I. A., Shastin, A. S., Gazimova, V. G., Sutunkova, M. P., & Gurvich, V. B. (2022). The effect of the genetic polymorphism of the GSTM1, GSTT1, and GSTP1 genes on the metal content in the blood of smelters producing non-ferrous metals. *Health Risk Analysis*, (3), 176–181. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2022.3.17> (In Russ.)
- Shumatova, T. A., Kovalenko, D. V. (2021). The role of genes of the second phase of xenobiotic detoxification in the pathogenesis of multifactorial diseases. *Pacific Medical Journal*, (4), 16–20. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2021-4-16-20> (In Russ.)
- Singar, S., Nagpal, R., Arjmandi, B. H., & Akhavan, N. S. (2024). Personalized nutrition: Tailoring dietary recommendations through genetic insights. *Nutrients*, 16(16), 2673. <https://doi.org/10.3390/nu16162673>
- Sikalidis, A. K. (2018). From food for survival to food for personalized optimal health: A historical perspective of how food and nutrition gave rise to nutrigenomics. *Journal of the American College of Nutrition*, 38(1), 84–95. <https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1481797>
- Thompson, H. J., Levitt, J. O., McGinley, J. N., Chandler, P., Guenther, P. M., Huybrechts, I., & Playdon, M. C. (2021). Measuring dietary botanical diversity as a proxy for phytochemical exposure. *Nutrients*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/nu13041295>
- Thompson, H. J., Lutsiv, T., McGinley, J. N., Hussan, H., & Playdon, M. C. (2023). Dietary oncopharmacognosy as a crosswalk between precision oncology and precision nutrition. *Nutrients*, 15(9), 2219. <https://doi.org/10.3390/nu15092219>
- Veith, A., & Moorthy, B. (2018). Role of cytochrome P450s in the generation and metabolism of reactive oxygen species. *Current Opinion in Toxicology*, 7, 44–51. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2017.10.003>
- Vineis, P., Robinson, O., Chadeau-Hyam, M., Abbas Dehghan, A., Mudway, I., & Dagnino, S. (2020). What is new in the exposome? *Environment International*, 143, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105887>
- Xiao, Y. L., Gong, Y., Qi, Y. J., Shao, Z. M., & Jiang, Y. Z. (2024). Effects of dietary intervention on human diseases: molecular mechanisms and therapeutic potential. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 9 (59). <https://doi.org/10.1038/s41392-024-01771-x>
- Xu, H., Jia, Y., Sun, Z., Su, J., Liu, Q. S., Zhou, Q., & Jiang, G. (2022). Environmental pollution, a hidden culprit for health issues. *Eco-Environment and Health*, 1(1), 31–45 <https://doi.org/10.1016/j.eehl.2022.04.003>
- Yaqoob, A., Rehman, Q., Rehman, K., Akash, M. S. H., Hussain, I., & Ahmad, R. (2022). Role of drug-metabolizing enzymes in biotransformation of drugs. In *Biochemistry of Drug Metabolizing Enzymes: Trends and Challenges*, 73–108. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95120-3.00013-0>
- Zarezadeh, M., Saedisomeolia, A., Shekarabi, M., Khorshidi, M., Emami, M. R., & Müller, D. J. (2021). The effect of obesity, macronutrients, fasting and nutritional status on drug-metabolizing cytochrome P450s: a systematic review of current evidence on human studies. *European Journal of Nutrition*, 60(6), 2905–2921. <https://doi.org/10.1007/s00394-020-02421-y>
- Zhao, M., Ma, J., Li, M., Zhang, Y., Jiang, B., Zhao, X., Huai, C., Shen, L., Zhang, N., He, L., & Qin, S. (2021). Cytochrome P450 enzymes and drug metabolism in humans. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(23), 12808. <https://doi.org/10.3390/ijms222312808>
- Zhilinskaya, N. V. (2018). Personalization of nutrition is the main scenario for the development of the food industry. *Problems of Nutrition*, 87(5), 211–211. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10320> (In Russ.)

<https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s279>

УДК 631.1

Причины несанкционированной разгерметизации полиэтиленовых рукавов при полевом хранении растениеводческой продукции

А. В. Новикова

Федеральный центр охраны здоровья животных (ВНИИЗЖ), г. Владимир, Россия

Корреспонденция:

Новикова Алла Владимировна,
Федеральный центр охраны здоровья животных (ВНИИЗЖ),
Россия, 600901, г. Владимир,
микрорайон Юрьевец,
ул. Гвардейская, д. 6
E-mail: novikova-av@arriah.ru

Конфликт интересов:

автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 21.05.2025

Поступила после

рецензирования: 25.09.2025

Принята: 30.09.2025

Copyright: © 2025 Автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Широкое распространение полиэтиленовых рукавов в мире привело к применению их в разных отраслях народного хозяйства. Так, в агропромышленном комплексе (АПК) полиэтиленовые рукава являются неотъемлемой частью современного способа хранения растениеводческой продукции в полевых условиях. За время практического применения этого способа хранения в России аграрии столкнулись с рядом проблем, среди которых одной из основных является нарушение герметичности рукавов.

Материалы и методы. Объект исследований — нестационарный¹ способ хранения растениеводческой продукции в полиэтиленовых рукавах (силобеггах). Методы исследований включали полевые наблюдения, выполненные в ЦФО в течение аграрных сезонов в период с 2015 по 2023 г. Обследование площадок с полиэтиленовыми рукавами, заполненными зерном, выполнялось на протяжении 9 месяцев (лето-осень-зима). Перечень изучаемых параметров: массовая доля влаги растениеводческой продукции и степень повреждения силобегов.

Результаты. Предложена классификация процессов разгерметизации полиэтиленовых рукавов с зерном на этапе хранения: санкционированная и несанкционированная. Определены основные причины несанкционированной разгерметизации силобегов: нарушение техники эксплуатации силобегов на производственной площадке; вредоносное влияние представителей грызунов и птиц. Выявлено, что на несанкционированную разгерметизацию силобегов оказывает влияние базовая влажность товарной продукции, так как наибольшая степень их повреждения при хранении выявлена в зерне с влажностью до 13,0 %. Установлено, что причиной изменения влажности зерна в процессе хранения является разгерметизация полиэтиленовых рукавов. При этом характер разгерметизации влияет на интенсивность роста массовой доли влаги в зерне. Определен характер повреждений силобегов, корпусов полиэтиленовых рукавов, установлена степень повреждений (I–III).

Выводы. Результаты многолетних полевых наблюдений позволили определить основные причины несанкционированной разгерметизации силобегов при хранении растениеводческой продукции. Выявлено, что время года и относительная влажность воздуха оказывают влияние на изменения общей влажности зерновой массы при его хранении. Установлено, что при несанкционированной разгерметизации в летнее или зимнее время, когда наименьшее количество осадков, изменение влажности зерна является несущественным.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

полевое хранения зерна; полиэтиленовые рукава; полимеры; герметичность; несанкционированная разгерметизация; локальное и нелокальное повреждение

¹ Под нестационарным способом хранения мы понимаем размещение растениеводческой продукции на длительное хранение в полевых условиях. Стационарный способ хранения предполагает использование специальных сооружений: элеваторов разных типов, хлебо-приемных пунктов и складов напольного хранения.

Для цитирования: Новикова, А. В. (2025). Причины несанкционированной разгерметизации полиэтиленовых рукавов при полевом хранении растениеводческой продукции. *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 50–62. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s279>



<https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s279>

Causes of Unauthorized Depressurization of Polyethylene Sleeves During Field Storage of Plant Products

Alla V. Novikova

Federal Center for Animal Health (ARRIAH),
Vladimir, Russia

Correspondence:

Alla V. Novikova,
Federal Center for Animal Health (ARRIAH),
6 Gvardeyskaya Street, Yuryevets
Microdistrict, Vladimir, Russia, 600901
E-mail: novikova-av@arriah.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 21.05.2025

Received in revised form: 25.09.2025

Accepted: 30.09.2025

Copyright: © 2025 The Author

ABSTRACT

Introduction. The widespread use of polyethylene sleeves worldwide has led to their application in various sectors of the national economy. For example, in the agro-industrial complex, polyethylene sleeves are an integral part of the modern method of storing crop products in the field. During the practical application of this storage method in Russia, farmers encountered various problems during their operation, including one of the main ones, namely a violation of the sleeves' tightness.

Materials and Methods. The study focused on a non-stationary method of storing crop products in polyethylene bags (silo bags). The research methods included field observations conducted in the Central Federal District during the 2015–2023 agricultural seasons. Surveys of sites for the placement of grain-filled polyethylene bags were conducted over a nine-month period (summer, fall, and winter). Parameters studied included the moisture content of crop products and the degree of damage to the silo bags.

Results. A classification of processes for depressurizing polyethylene bags containing grain during storage is proposed (authorized and unauthorized). The main causes of unauthorized depressurization of silo bags have been identified: improper operation of silo bags at the production site; and the harmful effects of rodents and birds. It has been found that the baseline moisture content of the commercial product influences unauthorized depressurization of silo bags, as their greatest degree of storage damage was detected in grain with moisture contents up to 13.0 %. It was established that the cause of grain moisture changes during storage is depressurization of polyethylene bags. Moreover, the nature of the depressurization affects the rate of increase in the grain's moisture content. The nature of damage to silo bags and polyethylene sleeve housings was determined, and the degree of damage (I–III) was established.

Conclusions. The results of long-term field observations allowed us to identify the main causes of unauthorized depressurization of silo bags during storage of plant products. It was found that season and relative humidity influence changes in the overall moisture content of grain during storage. It was found that if unauthorized depressurization occurred in summer or winter, when precipitation is lowest, the change in grain moisture content is insignificant.

KEYWORDS

field storage of grain; polyethylene sleeves; polymers; tightness; unauthorized depressurization; local and non-local damage



To cite: Novikova, A. V. (2025). Causes of unauthorized depressurization of polyethylene sleeves during field storage of plant products. *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 50–62. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s279>

ВВЕДЕНИЕ

Полиэтиленовые рукава широко применяют в мире и в разных регионах России для хранения зерна в полевых условиях. Они являются основным инструментом организации нестационарного хранения зерна в полевых условиях (Голохвастова, 2016; Кузьмин, 2023; Новикова, 2025). Рукава представляют собой полиэтиленовую гибкую трубу переменной длины и диаметра (чаще всего длиной 60–70 м и диаметром 2,7 м), позволяющую вмещать в себя товарную продукцию растительного происхождения и обеспечивающую её сохранность за счет герметизации. Полиэтиленовые рукава обладают свойствами эластичности и прочности, которые достигаются за счет включения в их состав комбинации нелинейного полиэтилена низкой плотности (NLDPE) и линейного полиэтилена низкой плотности (LLDPE) (Ширнина, 2009; Cardoso, 2015).

Цвет силобегов белый. Данный цвет имеет свое назначение. Дополнительные добавки в составе полиэтилена обеспечивают защиту от ультрафиолетового излучения, что снижает влияние температуры окружающей среды на микроклимат зерна (Ширнина, 2009; Cardoso, 2015). Известно, что высокая температура и влажность являются неблагоприятными условиями для хранения зерна (González-torralba, 2013).

Международные исследования демонстрируют эффективность хранения зерна в полиэтиленовых рукавах в течение длительного срока и подтверждают, что зерно можно хранить без существенных проблем (Cardoso, 2015; Никонова, 2020). Некоторые результаты научных исследований свидетельствуют о снижении количества и качества белка, а также об обнаружении микробиологической обсемененности зерна грибами, провоцирующих рост микотоксинов (El-Kholy 2021; Facundo, 2021). Проблема загрязнения растительного сырья микотоксинами на фоне неправильного хранения собранного урожая отмечается российскими учеными (Седова, 2023).

Для решения этой проблемы в России существует система декларирования растениеводческой продукции (собранного урожая), в рамках которой проводятся лабораторные испытания растениеводческой продукции на все показатели безопасности, в том числе и групповые исследования на микотоксины, что снижает риски использования недоброкачественного сырья в продовольственных целях.

Также есть опыт продолжительного хранения (1 год) масленичных культур в полевых условиях. В частности, оценивалась целесообразность хранения рапса в герметичных условиях (силобег) по интенсивности роста кислотного числа жира (КЧЖ). Результаты такого опыта свидетельствуют об увеличении КЧЖ после хранения

в полиэтиленовых рукавах на 0,7 %, конечное значение степени прогоркания жира осталось в пределах нормы, установленной к сырью, идущему на пищевые цели (Cardoso, 2015).

Герметичное хранение в силобегах применимо и для хранения семенного материала. В сельскохозяйственном регионе Канадских прерий исследовали хранение семян рапса в периоды 2011–2012 гг. и 2013–2014 гг. Контролируемые параметры семян: всхожесть, влажность и содержание свободных жирных кислот. Также изучали взаимосвязь между изменениями климатических условий окружающей среды, микроклимат зерновой массы и показателями качества семян. Всхожесть семян рапса в большинстве силосных мешков (полиэтиленовые мешки для герметичного хранения) оставалась выше безопасного уровня при хранении не более 20 недель. Содержание свободных жирных кислот оставалось на безопасном уровне в течение 20 недель хранения и возросло более чем в два раза по сравнению с исходными значениями после летнего периода хранения. Анализ качества зерна показал, что температура окружающей среды оказывает значительное влияние на качество рапса во время хранения (Vellaichamy, 2016).

В целом режим герметизации нашел широкое промышленное применение в хранении зерновых масс и товарной продукции. В наибольшей степени он применяется с целью долгосрочного хранения семенного зерна, а также кормового зерна с повышенной влажностью (Кирпа, 2013; Cardoso, 2015). При герметичном хранении влажного зерна происходит его химическое консервирование: изменяется газовый состав и накапливаются природные органические консерванты — этиловый спирт, молочная кислота, эфиры (Кирпа, 2013).

Основной принцип нестационарного типа хранения сухого зерна в силобегах основан на создании аноксианабиоза в межзерновом пространстве за счет накопления углекислого газа и отсутствия путей доступа кислорода (Кирпа, 2013). Такие условия создаются естественным путем за счет герметичности полиэтиленовых рукавов и дыхания зерновой массы (аэробного и анаэробного). В результате этого создается так называемая модифицированная среда, содержащая 3–5 % кислорода. Такое содержание кислорода исключает возможность развития аэробных микроорганизмов (прежде всего, плесневых грибов), насекомых и клещей (El-Kholy, 2021).

Герметизация полиэтиленовых рукавов имеет решающее значение для эффективного применения модифицированных и контролируемых атмосферных условий для хранящейся продукции. Также условия снижают активность всех процессов жизнедеятельности зернового зародыша, что обеспечивает самоконсервирова-

ние товарной продукции. Однако при неблагоприятных условиях (доступ кислорода и воды в межзерновое пространство), происходит резкая активизация зародыша в зерне, что приводит к количественно-качественным потерям, а также росту микроскопических грибов, способных продуцировать микротоксины (Новикова, 2025). Неблагоприятные условия для активизации жизнедеятельности зерна происходят в результате частичной или полной разгерметизации силобегов. Образовавшиеся отверстия в полиэтилене — это место проникновения воздуха и воды в межзерновое пространство.

В международной практике хранения зерна в полиэтиленовых рукавах информация представлена только о санкционированной разгерметизации силобегов в рамках контроля качества хранящегося зерна. Для этого поверхность силобега протыкают измерительными приборами и пробоотборником (отбор проб и термометрия). Восстановление герметичности осуществляется с помощью специализированного скотча (Cardoso, 2015). В научно-практическом опыте Аргентины, где способ хранения зерна в силобегах занимает 80 % промышленного использования в разных формах аграрных хозяйств, нет информации о проблемах несанкционированной разгерметизации силобегов в процессе полевого хранения (Cardoso, 2015). Более того, проблемы, связанные с вредоносным влиянием представителей экосистемы на конструкции полиэтиленовых рукавов во время хранения зерна, в международной практике аграриев не описываются. Можно предположить, что они не сталкиваются с этой проблемой, либо присутствуют единичные случаи таких проявлений (González-torralba, 2013; Facundo, 2021). Исследования аргентинских ученых сосредоточены на изучении разновидностей силобегов, в частности таких факторов, как цвет мешков (белый и розовый) и газопроницаемость (Bartosik, 2023). В Казахстане из-за проблем, возникающих при хранении зерна в полимерных рукавах, ученые провели анализ дефектов сельскохозяйственной пленки силобегов. Они установили классификацию дефектов пленки по внешнему виду, размерам, физико-механическим свойствам (Никонова, 2020).

Российские ученые в своих исследованиях тоже отмечают проблемы при полевом хранении, связанные с несанкционированной разгерметизацией (образованием отверстий в полиэтиленовых рукавах в процессе хранения), что привело к скоплению грызунов и птиц на производственной площадке вблизи силобегов, которое провоцирует привлечение хищных зверей (лис). Хищники наносят повреждения конструкциям силобега (Новикова, 2024). Нарушение герметичности приводит к потенциальной миграции влаги в зерно из окружающей среды, доступу кислорода в межзерновое пространство. Такие процессы наносят существенный вред

хранящейся продукции за счет изменения модифицированной среды в зерновой массе. Все это оказывает влияние на важнейшие технологические показатели качества и безопасности товарной продукции (Бахарев, 2019; Голохвастова, 2016; Новикова, 2025).

Научных апробаций в данной области исследований опубликовано недостаточно для написания практических рекомендаций реальному сектору экономики агропромышленного комплекса (АПК) по снижению рисков несанкционированной разгерметизации полиэтиленовых рукавов в процессе полевого хранения. Из этого следует, что проблема повреждений полиэтиленовых рукавов при полевом хранении является наиболее часто встречаемой и относится к существенным, поскольку влияет на количественно-качественные показатели товарной продукции, а также на показатели безопасности. Следовательно, тема определения рисков несанкционированной разгерметизации и решение этой проблемы остается актуальной задачей для научных исследований и важной перспективой повышения качества промышленного использования нестационарного способа хранения зерна в России.

Цель данного эмпирического исследования — изучить причины несанкционированной разгерметизации полиэтиленовых рукавов при полевом хранении растениеводческой продукции и определить изменения физико-химических свойств товарной продукции в зависимости от характера и степени повреждения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Данная работа является частью комплексного исследовательского проекта, направленного на разработку технологии герметичного хранения сельскохозяйственных культур с разным биохимическим составом в полевых условиях, и применимой для различных климатических условий Российской Федерации. В период с 2015 по 2023 г. велись исследования по определению основных проблем при нестационарном способе хранения зерна в условиях производственных хозяйств Центрального Черноземья.

Объектом исследований являлся нестационарный способ хранения зерна в полиэтиленовых рукавах.

Схема однофакторного опыта² (фактор — товарная продукция): сухая пшеница цельная и сырой зерновой штор из зерна кукурузы.

² Доспехов, Б. А. (1985). *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. Агропромиздат.

Процедура исследования

Визуальный осмотр площадки хранения зерна в полевых условиях проводился не реже одного раза в месяц, результаты фиксировались в рабочий журнал для выявления несанкционированной разгерметизации силобегов, определения характера повреждения полиэтиленовых рукавов и оценки массовой доли влаги товарной продукции.

Нами изучены однотипные полиэтиленовые рукава в количестве 5 штук по аграрным сезонам, расположенные на земляных площадках.

На протяжении всего эксперимента осуществлялся отбор проб цельного сухого зерна и сырого зернового шрота. Отбор точечных проб велся зерновым пробоотборником³. На Рисунке 1 представлена схема деления полиэтиленовых рукавов на 5 секторов, что позволяет оценить степень воздействия сторонних факторов хранения на общую массу партии (Новикова, 2024). Мониторинг влажности зерна в полевых условиях проводился с использованием измерительного оборудования «Влагомер Wile 65», универсального прибора для оперативного измерения влажности зерна.

Повреждения силобегов оценивали по степени (I, II, III) в соответствии с количеством поврежденных секторов при несанкционированной разгерметизации и по площади распространения мест разгерметизации:

I (низкая) — это локальные повреждения, выявленные не более чем в двух секторах и занимающие до $\frac{1}{4}$ площади полиэтиленового рукава;

II (средняя) — повреждения локального характера в двух секторах и более, т. е. $\frac{1}{2}$ площади полиэтиленового рукава;

III (высокая) — наличие повреждений по всем секторам полиэтиленового рукава.

Математическая обработка

Математическая обработка полученных результатов по средней массовой доле влаги зерна по аграрным сезонам выполнена в соответствии с основами статистического анализа⁴, использовался метод определения **существенности различий между выборками по НСР**. Измерения проводились в тех же единицах, что и изучаемый признак. Определения велись по формуле:

$$\text{НСР} = t \times S_d, \quad (1)$$

где:

t — критерий Стьюдента, определяемый по таблице приложения 1⁵ для числа степеней свободы $n_1 + n_2 - 2$; уровень значимости для критерия Стьюдента 5 %.

S_d — ошибка разности, которая равна:

$$S_d = \sqrt{S_{x_1}^2 + S_{x_2}^2}. \quad (2)$$

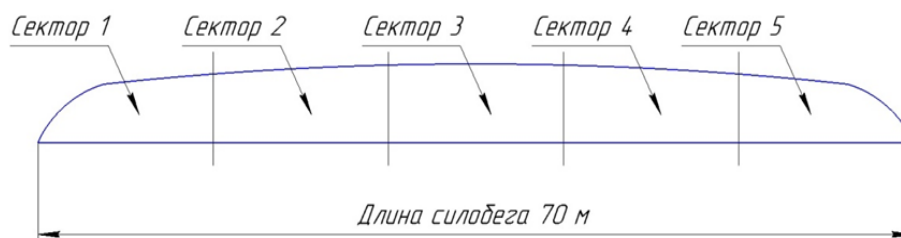
Расчеты были сделаны в Excel.

Рисунок 1

Полиэтиленовый рукав (силобег) с выделенными секторами

Figure 1

Silo bag with Separated Sectors



³ Лылин, Н. А. & Новикова, А. В. (2020). Ручной пробоотборник сыпучих материалов: № 2020131172. Патент на полезную модель № 203908 U1 Российская Федерация, МПК G01N 1/20. Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева

⁴ Рязанова Л. Г. Основы статистического анализа результатов исследований в садоводстве: учеб.-метод. пособие/ Л. Г. Рязанова, А. В. Проворченко, И. В. Горбунов. — Краснодар: КубГАУ, 2013. — 61 с.

⁵ Новикова, А. В. Цифровая обработка и анализ результатов научных исследований пищевых производств / А. В. Новикова, Т. А. Толмачева, А. Н. Мартеха. — Москва: Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. — 100 с. — ISBN 978-5-9675-1845-4. — EDN OSBNVE.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате научных наблюдений были установлены особенности и причины несанкционированной разгерметизации силобегов. Повреждения емкости полиэтиленового рукава — это крупные и небольшие отверстия с неровными краями, хаотично расположенные по всей длине силобега.

Определен характер несанкционированной разгерметизации силобегов: локальный и нелокальный.

Нелокальные повреждения

При несоблюдении правил упаковки и размещения силобегов на производственной площадке, происходят технические повреждения силобегов сельскохозяйственной техникой, характер повреждения в этом случае считается нелокальным и восстановлению не подлежит (Рисунок 2).

В случаях несвоевременной ликвидации локального повреждения происходит увеличение размера отверстия за счет выхода зерновой массы из силобегов. Такие случаи могут привести к переходу локального повреждения к нелокальному.

На Рисунке 2, А представлен участок (выделен синей стрелкой) нелокального повреждения силобега в результате контакта с сельскохозяйственной техникой. Рисунок 2, В демонстрирует крупный план места повреждения полиэтиленового рукава. На Рисунке 2, представленном автором, сведения соответствуют единой дате и времени обследования производственной

площадки (21.10.2015). Такие повреждения конструкции силобегов происходят в результате несоблюдения отступов между силобегами и встречаются редко.

Особое место в технологиях герметичного хранения занимает консервирование влажного зерна в цельнозерновом, измельченном (зерновой шрот) и плющенном состоянии. Такая технология рекомендуется для хранения кормового зерна сельскохозяйственных культур, которые сложно довести до базисных показателей в процессе вегетации. В производственной практике российские аграрии осуществляют непродолжительное хранение кормового зерна с разным содержанием массовой доли воды (до 30 %) в силобегах для нужд животноводства. В этом случае площадки под хранения плющеного зерна находятся в кормовом цеху животноводческих ферм либо вблизи них. На таких площадках отмечается повышенная интенсивность миграции грызунов и птиц. Для консервации сырого зерна вносят препараты, направленные на обеспечение сохранности товарной продукции (Корнев, 2023).

Однако существуют и другие причины несанкционированной разгерметизации. При хранении в полиэтиленовых конструкциях зернового шрота в теплое время года у силобегов наблюдается повышенная «хрупкость». Ввиду химического консервирования измельченного зерна происходит выделение эфиров и его накопление в емкости силобега (Кузьмин, 2023; Лоскутова, 2015). В таком случае повышены риски образования отверстий в силобегах, что продемонстрировано на Рисунке 3.

Плюсы такой разгерметизации в том, что сыпучесть у измельченного и влажного зерна отсутствует, что снижает риски по выходу измельченной массы из силобега.

Рисунок 2

Нелокальное повреждение силобега (фото автора)

Figure 2

Non-local Damage of the Silo Bag (photo provided by the author)



А



В

Рисунок 3

Нелокальное повреждение силобега, заполненного изможденным зерном кукурузы с консервантом, июль 2020 г. (фото автора)

Figure 3

Non-local Damage to a Silo Bag Filled with Soaked Corn Grain with a Preservative, July 2020 (photo provided by the author)



Нелокальная разгерметизация влечет за собой необоснованные количественно-качественные потери, поскольку не всегда есть доступ специальной сельскохозяйственной техники к конкретному силобегу на общей площадке хранения зерна. Следовательно, провести оперативное растаривание и перемещение зерна не представляется возможным, что приводит к потерям.

Локальные повреждения

Особенности нестационарного хранения — это размещение силобегов непосредственно в поле на земляных площадках под открытым небом, что приводит к дополнительным рискам несанкционированной разгерметизации за счет жизнедеятельности объектов окружающей среды (птиц, кротов, грызунов и других диких животных).

В период наблюдений за процессом хранения зафиксированы многочисленные случаи нарушения целостности полиэтиленовых рукавов. Повреждения имеют разный размер, но в большинстве случаев это очень маленькие отверстия (диаметром до 3 см) по верхнему и нижнему слою силобега. Несмотря на локальность повреждения силобега, которое легко и быстро восстанавливается, существует угроза заражения зерна продуктами жизнедеятельности грызунов. Поскольку грызуны проникают в емкость силобега и остаются в самой конструкции полиэтиленового рукава на длительное время, используя её в качестве места обитания. Также стоит отметить,

что грызуны являются распространителями инфекционных болезней, которые опасны для животных и человека (Новикова, 2025)

Если сравнивать характер повреждения полиэтиленовых конструкций грызунами (Рисунок 4, А) и птицами (Рисунок 4, В), то на первый взгляд кажется, что мелкие царапины от птиц не несут существенных повреждений, однако из-за их большой популяции на силобегах остаются множественные последствия их жизнедеятельности, которые охватывают всю верхнюю часть силобега по всей его длине. Все повреждения, обнаруженные на силобегах, стараются оперативно восстанавливать. В зимнее время года отсутствует доступ к производственной площадке из-за осадков и образовавшихся сугробов.

Результаты мониторинговых наблюдений полевого хранения растениеводческой продукции в полиэтиленовых конструкциях

Несанкционированная разгерметизация была зафиксирована во всех полиэтиленовых рукавах за исследуемые аграрные сезоны, результаты мониторинга представлены в Таблицах 1 и 2.

Периоды начала проявлений несанкционированной разгерметизации силобегов — это летний и осенний. На фоне несанкционированной разгерметизации силобегов

Рисунок 4
Места локального повреждения силобегов грызунами и птицами (фото автора)
Figure 4
Local Damage of the Silo Bag by Rodents and Birds (photo provided by the author)



наблюдались изменения массовой доли влаги зерна. За референтное значение было принято значение (влажность зерна / зернового шрота) на момент закладки после уборочной кампании (лето).

Свежеубранное зерно пшеницы

Первые изменения влажности по всем анализируемым сезонам появились в осенний период. В процессе хранения влажность зерна менялась, наблюдалось повы-

шение и снижение показателей на 1,0–2,0 % (Рисунок 5). Несмотря на изменения влажности зерна, массовая доля влаги оставалась в пределах базисного значения — не более 14,0 %. Таким образом, можно сделать вывод, что повреждения конструкции силобегов влияют на общую влажность зерновой массы.

Анализ основных причин повреждения полимерных рукавов проводили путем изучения характера и степени повреждения. Результаты представлены в Таблицах 1 и 2.

Рисунок 5
Колебания массовой доли влаги зерна в процессе полевого хранения по аграрным сезонам
Figure 5
Variations in Grain Moisture Content During Feld Sorage Across Agricultural Seasons

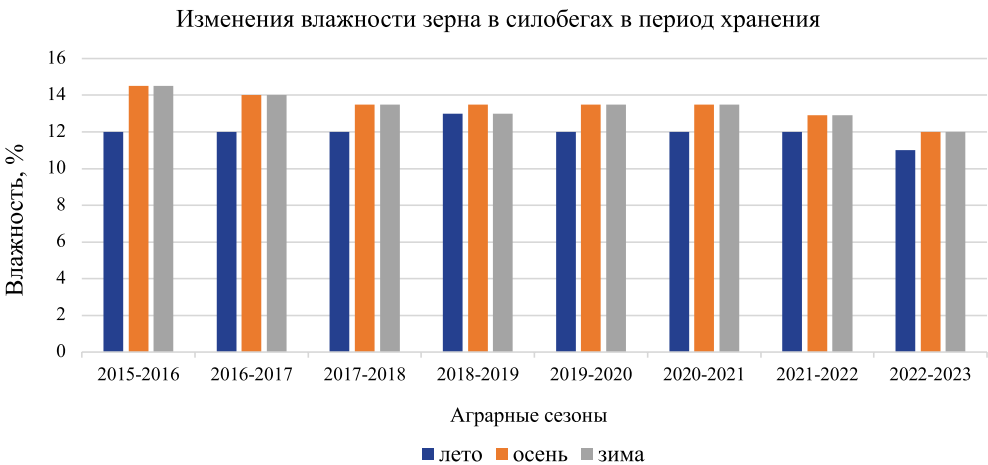


Таблица 1
Результаты полевых наблюдений за хранением цельного зерна в полиэтиленовых конструкциях
Table 1
Results of Field Observations of Whole Grain Storage in Polyethylene Structures

Аграрный сезон, гг.	Исходная влажность зерна на момент закладки, %	Мониторинговая влажность зерна в процессе хранения*, %	Фактическая разница по влажности (d)**, %	Период начала появления несанкционированной разгерметизации	Характер повреждения	Степень повреждения силоса
2015–2016	12,0	14,0	2,0	Летний и осенний	Нелокально-единичный	III
2016–2017	12,0	13,0	1,0	Осенний	Локально-множественный	III
2017–2018	12,0	14,0	2,0	Летний и осенний	Локально-множественный	III
2018–2019	13,0	13,5	0,5	Летний	Локально-множественный	III
2019–2020	12,0	12,0	0	Зимний	Локально-множественный	III
2020–2021	12,0	13,0	1	Осенний	Локально-множественный	III
2021–2022	12,0	13,5	1,5	Летний	Локально-множественный	I
2022–2023	11,0	11,5	0,5	Осенний	Локально-единичный	II
НСР 05***	–	0,67	–	–	–	–

Примечание. * Среднеарифметическое значение за анализируемый аграрный сезон
**d – Фактическая разница между вариантами исследований (исходная влажность на момент закладки зерна и средний результат мониторинга влажности зерна в процессе хранения)
***НСР05 – наименьшая существенная разница – это величина, указывающая границу предельным случайным отклонениям, выше которой разница считается существенной

Таблица 2
Результаты полевых наблюдений за хранением зернового шрота кукурузы в полиэтиленовых конструкциях
Table 2
Results of Field Observations of Corn Flour Storage in Polyethylene Structures

Аграрный сезон, гг.	Базовая влажность зернового шрота на момент закладки, %	Мониторинговая влажность зернового шрота в процессе хранения*, %	Фактическая разница по влажности (d), %	Период начала появления несанкционированной разгерметизации	Характер повреждения	Степень повреждения силоса
2018–2019	29	29	0	Осенний	Локально-единичный	I
2019–2020	29	30	1	Осенний	Нелокально-единичный	II
2020–2021	29	30	1	Осенний	Локально-множественный	II
2021–2022	30	30	1	Осенний	Локальн-множественный	II
2022–2023	30	30	1	Осенний	Локально-множественный	II
НСР 05	–	0,46	–	–	–	–

Примечание. *Среднеарифметическое значение за анализируемый аграрный год
Note. *Average arithmetic value for the analyzed agricultural year

Согласно данным, представленным в Таблице 1, разница между вариантами **d** меньше **< НСР (0,67)** только в трех аграрных сезонах: 2018–2019 гг.; 2019–2020 гг. и 2022–2023 гг. Фактическая разница между вариантами больше **НСР (0,67)** в остальных пяти аграрных сезонах. Результаты данной оценки свидетельствуют о допустимости случайного отклонения влажности в сезонах, где **d** меньше **< НСР (0,67)**

Наблюдается высокая степень повреждения в силобгах с сухим зерном. Степень повреждения силобгов меняется от I до III, что не коррелирует с пороговым значением влажности зерна, предельным по случайному отклонению, выше которого разница считается несущественной. Из этого следует, что на изменение влажности зерна в процессе хранения влияет не степень повреждения, а характер повреждения силобгов и время года, в которое начался процесс несанкционированной разгерметизации.

Судя по результатам статистической обработки полученных данных, характер повреждения существенно влияет на общую влажность зерна. Так, в анализируемый аграрный сезон 2015–2016 гг. **d > НСР (0,67)**, где было зафиксировано нелокальное повреждение силобга. Следовательно, допускать нелокальные повреждения конструкций силобгов нельзя.

Зерновой шрот кукурузы

Зерновой шрот относится к кормовому зернопродукту, предназначенному крупнорогатому скоту. Особенность

закладки зернового шрота на хранение — это использование свежесобранного зерна с высоким содержанием влаги до 30–32 %.

Изменения влажности зернового шрота зафиксированы в осенний период времени. Рост влаги в зерновом шроте во всех анализируемых сезонах несущественный и составил не более 1 % (Рисунок 6). Однако в аграрном сезоне 2019–2020 гг. в осенний период наблюдался рост массовой доли воды до 1,5 %. Мы предполагаем, что это связано с процессом несанкционированной разгерметизации силобга нелокального характера.

Согласно данным, представленным в Таблице 2, результаты изменений массовой доли влаги имеет допустимое случайное отклонение в аграрном сезоне 2018–2019 гг., где **d** меньше **< НСР (0,46)**. Все остальные изучаемые сезоны имеют существенную разницу между выборками, этому способствовал характер повреждений силобгов. Определена степень повреждения силобгов (низкая и средняя). Установлен единый период времени года регистрации первых повреждений, который приходится на осень.

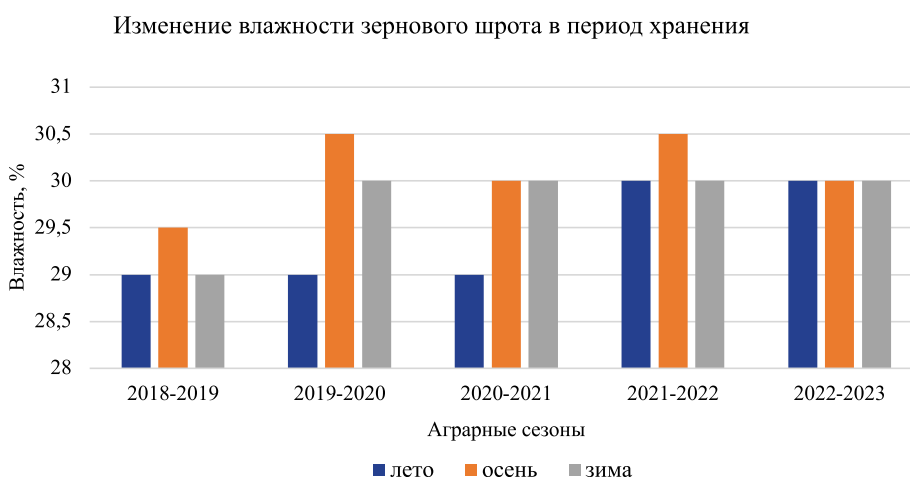
Таким образом, анализируя количество и характер повреждений, можно сделать вывод о низкой средней степени повреждения силобгов по сравнению с хранением в силобгах, где хранилось сухое зерно. Наличие несанкционированной разгерметизации создает повышенные риски роста общей влажности товарной продукции, что влияет на все показатели качества и способствует его ухудшению.

Рисунок 6

Колебания массовой доли влаги зернового шрота в процессе полевого хранения по аграрным сезонам

Figure 6

Variations in the Moisture Content of Grain Meal During Field Storage Across Agricultural Seasons



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что в процессе хранения зерна во всех силосах идет нарушение герметичности, основные периоды разгерметизации — это лето и осень. Определены два фактора несанкционированной разгерметизации силосов: 1. Нарушение агротехнологии размещения силосов на производственной площадке; 2. Вредоносное влияние грызунов и птиц.

При хранении сырого зернового кукурузного шрота степень повреждений полиэтиленовых конструкций низкая, при хранении сухой пшеницы степень повреждений преимущественно высокая. Установлено, что степень и характер разгерметизации силосов зависят от исходной влажности закладываемого на хранение зерна, при этом в силосах с сухим зерном количество повреждений

выше в 2 раза по сравнению с хранением сырого кукурузного шрота.

Ежемесячный мониторинг физико-химических показателей хранимой товарной продукции в силосах позволил установить взаимосвязь разгерметизации силосов с изменениями влажности зернового сырья в полиэтиленовых рукавах. Такие изменения приводят к ухудшению технологических показателей зерна, это необходимо учитывать при его дальнейшей переработке.

Для решения проблем несанкционированной разгерметизации полиэтиленовых рукавов необходимо разработать комплексный подход по организации хранения зерна, включая программы дератизационных мероприятий, применимых при полевом хранении зерна различных культур.

ЛИТЕРАТУРА

- Бахарев, Г. Ф., Дролова, Л. И., & Синицын, В. А. (2019). Оценка вариантов технологий механизированного хранения зерна в Сибири. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 6(176), 138–142.
- Голохвастова, С. С. (2016). Murska W-Мах эффективность гарантирована. *Животноводство России*, (1), 58–59.
- Кирпа, Н. Я. (2013). Научные принципы и промышленные технологии хранения зерновых масс. *Зерновые продукты и комбикорма*, 3(51), 11–16.
- Корнев, А. С., Корнев, С. В., Корнева, Е. С., & Панин, С. В. (2023). Организация борьбы с грызунами на животноводческой ферме. *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*, 2(21), 14–21. https://doi.org/10.53914/issn2311-6870_2023_2_14
- Кузьмин, А. В. (2023). Использование полиэтиленовых рукавов для хранения зерна. *Тенденции развития науки и образования*, 104(15), 198–200. <https://doi.org/10.18411/trnio-12-2023-867>
- Лоскутова, Г. А., Шунеева А. А., & Кольтюгина, О. В. (2015). Опыт хранения зерна пшеницы в рукавах на ХПП Акмолинской области. *Вестник алтайской науки*, 1(23), 425–428.
- Никонова Т. Ю., Исаков У. К., Сичкаренко А. В., Жаркевич О. М., Дандыбаев Е. С. (2020). Основные виды дефектов полиэтиленовых рукавов для хранения сельскохозяйственной продукции и методы их устранения. *Журнал технических исследований*, (3), 11–19.
- Новикова, А. В., Шубина, Е. Г., & Нурлыгаянова, Г. А. (2020). Актуальные проблемы хранения зерна в силосах на территории России. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана*, 3(259), 178–184. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_3_259_178
- Новикова, А. В. (2025). Полевое хранение зерна кукурузы в полиэтиленовых конструкциях. *Аграрный научный журнал*, (3), 129–135. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i3pp129-135>
- Новикова, А. В. (2025). Перспективы использования полимерных рукавов для хранения зерна в России: опыт Сибирского федерального округа. *Аграрный вестник Северного Кавказа*, 1(15), 69–80. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-1-69-80>
- Новикова, А. В., Подлипская, К. В., Виноградова, Е. А., Кожевникова, М. В., & Белоусов, В. И. (2025). Оценка микробиологических показателей зерна кукурузы при полевом способе хранения. *Комбикорма*, (9), 67–70. <https://doi.org/10.69539/2413-287X-2025-09-4-249>
- Рузманова, О., & Резяпкина, Л. (2020). Плющенное зерно в кормлении жвачных. *Животноводство России*, (7), 48–49.
- Седова, И. Б., Захарова, Л. П., Чалый, З. А., & Тутельян, В. А. (2023). Анализ загрязнения продовольственного зерна урожая 2020 года различными микотоксинами в Российской Федерации. *Иммунопатология, аллергология, инфектология*, (2), 77–85. <https://doi.org/10.14427/jipai.2023.2.77>

- Ширнина, Н. М., Суслова, М. А., & Резниченко, В. Г. (2009). Показатели консервирующей эффективности препаратов различной природы при заготовке плющенного влажного зерна кукурузы. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, 4(24), 189–190.
- Arias Barreto, A., Abalone, R., Gastón, A., & Bartosik, R. (2013). Analysis of storage conditions of a wheat silo-bag for different weather conditions by computer simulation. *Biosystems Engineering*, 116(4), 497–508. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.10.012>
- Bartosik, R., Urcola, H., Cardoso, L., Maciel, G., & Busato, P. (2023). Silo-bag system for storage of grains, seeds and by-products: A review and research agenda. *Journal of Stored Products Research*, 100, 102061. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.102061>
- Cardoso, L., Bartosik, R., de la Torre, D., Abadía, M. B., & Santa Juliana, M. (2014). *Almacenamiento de Granos en silo Bolsa. Resultados de Investigación 2009–2013*. [Storage of Grains In Silo-Bag. Research Report 2009–2013]. Ediciones INTA.
- El-Kholy, M. M., & Kamel, R. M. (2021). Performance analysis and quality evaluation of wheat storage in horizontal silo bags. *Hindawi International Journal of Food Science*, 2021, e1248391. <https://doi.org/10.1155/2021/1248391>
- Facundo, M. V., Claudia, C. I., Alejandra, Y., & Alejandra, Y. (2021). Evolution of grain microbiota during hermetic storage of corn. *Journal of Stored Products Research*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101788> ISBN: 0022–474X
- González-torralba, J., Arazuri, S., Jarén, C., & Arregui, L. M. (2013). Influence of temperature and r.h. during storage on wheat bread making quality. *Journal of Stored Products Research*, 55, 134–144.
- Vellaichamy, Ch., White, N. D. G., Jayas, D., & Manickavasagan, A. (2016). Quality changes in 12 % moisture content canola stored in silo bags under Canadian Prairie conditions. *Fuji Jian Journal of Stored Products Research*, 68(2), 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.04.002>

REFERENCES

- Arias Barreto, A., Abalone, R., Gastón, A., & Bartosik, R. (2013). Analysis of storage conditions of a wheat silo-bag for different weather conditions by computer simulation. *Biosystems Engineering*, 116(4), 497–508. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.10.012>
- Bakharev, G. F., Drolova, L. I., & Sinitsyn, V. A. (2019). Evaluation of options for mechanized grain storage technologies in Siberia. *Bulletin of the Altai State Agricultural University*, 6(176), 138–142. (In Russ.)
- Bartosik, R., Urcola, H., Cardoso, L., Maciel, G., & Busato, P. (2023). Silo-bag system for storage of grains, seeds and by-products: A review and research agenda. *Journal of Stored Products Research*, 100, 102061. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2022.102061>
- Cardoso, L., Bartosik, R., de la Torre, D., Abadía, M. B., & Santa Juliana, M. (2014). *Almacenamiento de Granos en silo Bolsa. Resultados de Investigación 2009–2013*. [Storage of Grains In Silo-Bag. Research Report 2009–2013]. Ediciones INTA.
- El-Kholy, M. M., & Kamel, R. M. (2021). Performance analysis and quality evaluation of wheat storage in horizontal silo bags. *Hindawi International Journal of Food Science*, 2021, e1248391. <https://doi.org/10.1155/2021/1248391>
- Facundo, M. V., Claudia, C. I., Alejandra, Y., & Alejandra, Y. (2021). Evolution of grain microbiota during hermetic storage of corn. *Journal of Stored Products Research*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101788> ISBN: 0022–474X
- Golokhvastova, S. S. (2016). Murska W-Max efficiency guaranteed. *Animal Husbandry of Russia*, (1), 58–59. (In Russ.)
- González-torralba, J., Arazuri, S., Jarén, C., & Arregui, L. M. (2013). Influence of temperature and r.h. during storage on wheat bread making quality. *Journal of Stored Products Research*, 55, 134–144.
- Kirpa, N. Ya. (2013). Scientific principles and industrial technologies for storing grain masses. *Grain Products and Compound Feed*, 3(51), 11–16. (In Russ.)
- Kornev, A. S., Kornev, S. V., Korneva, E. S., & Panin, S. V. (2023). Organization of rodent control on a livestock farm. *Tekhnologii i Tovarovedenie Sel'skohozyajstvennoj Produkcii*, 2(21), 14–21. https://doi.org/10.53914/issn2311-6870_2023_2_14 (In Russ.)
- Kuzmin, A. V. (2023). Use of polyethylene sleeves for grain storage. *Tendencii Razvitiya Nauki i Obrazovaniya*, 104(15), 198–200. <https://doi.org/10.18411/trnio-12-2023-867> (In Russ.)

- Loskutova, G. A., Shunekeeva A. A., & Koltugina, O. V. (2015). Experience of storing wheat grain in sleeves at a grain processing station in Akmola region. *Vestnik Altajskoj Nauki*, 1(23), 425–428. (In Russ.)
- Nikonova T. Yu., Iskakov U. K., Sichkarenko A. V., Zharkevich O. M., Dandybaev E. S. (2020). The main types of defects in polyethylene sleeves for storing agricultural products and methods for their elimination. *Journal of Technical Research*, (3), 11–19. (In Russ.)
- Novikova, A. V., Shubina, E. G., & Nurlygayanova, G. A. (2020). Current issues of grain storage in silo storage facilities in Russia. *Scientific Notes of the Kazan Academy of Veterinary Medicine named after N.E. Bauman*, 3(259), 178–184. https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_3_259_178 (In Russ.)
- Novikova, A. V. (2025). Field storage of corn grain in polyethylene structures. *The Agrarian Scientific Journal*, (3), 129–135. <https://doi.org/10.28983/asj.y2025i3pp129-135> (In Russ.)
- Novikova, A. V. (2025). Prospects for using polymer sleeves for grain storage in Russia: experience of the Siberian federal district. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*, 1(15), 69–80. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2025-15-1-69-80> (In Russ.)
- Novikova, A. V., Podlinskaya, K. V., Vinogradova, E. A., Kozhevnikova, M. V., & Belousov, V. I. (2025). Evaluation of microbiological parameters of corn grain under field storage. *Kombikorma*, (9), 67–70. <https://doi.org/10.69539/2413-287X-2025-09-4-249> (In Russ.)
- Ruzmanova, O., & Rezyapkina, L. (2020). Crumpled grain in ruminant feeding. *Animal Husbandry of Russia*, (7), 48–49. (In Russ.)
- Sedova, I. B., Zakharova, L. P., Chaly, Z. A., & Tutelyan, V. A. (2023). Analysis of Contamination of 2020 Food Grain Harvest with Various Mycotoxins in the Russian Federation. *Immunopathology, Allergology, Infectology*, (2), 77–85. <https://doi.org/10.14427/jipai.2023.2.77> (In Russ.)
- Shirina, N. M., Suslova, M. A., & Reznichenko, V. G. (2009). Indicators of the preservative efficiency of various preparations in the harvesting of crumpled wet corn grain. *Bulletin of the Orenburg State Agrarian University*, 4(24), 189–190. (In Russ.)
- Vellaichamy, Ch., White, N. D. G., Jayas, D., & Manickavasagan, A. (2016). Quality changes in 12 % moisture content canola stored in silo bags under Canadian Prairie conditions. *Fuji Jian Journal of Stored Products Research*, 68(2), 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2016.04.002>

Возможности использования бактериоцинов лактобактерий в клинической практике (систематический обзор предметного поля)

М. С. Каночкина^{1,2}, Л. А. Иванова¹, И.Р. Соколов¹,
А. Д. Коновалова¹, О. Н. Левин³

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

² Общество с ограниченной ответственностью «Микробные нутриенты иммунокорректоры», Москва, Россия

³ Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

Корреспонденция:

Каночкина Мария Сергеевна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: kanoch@yandex.ru

Конфликт интересов:

авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 19.03.2025

Поступила после

рецензирования: 07.07.2025

Принята: 30.09.2025

Copyright: © 2025 Автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Молочнокислые бактерии широко используются в пищевой и фармацевтической индустрии благодаря синтезу технологически значимых веществ и выраженным пробиотическим свойствам. Роды *Lactiplantibacillus* и *Lactobacillus* интересны как продуценты бактериоцинов, обладающих антимикробным действием и перспективных для контроля нежелательной микрофлоры, а также потенциальной замены антибиотиков в пищевых продуктах. Однако их широкое практическое использование ограничено нестабильностью бактериоцинов.

Цель исследования – систематический анализ литературы для выявления молекулярных механизмов действия бактериоцинов, областей применения в клинической практике и лечебном питании, а также источников новых штаммов-продуцентов.

Методы. Анализ выполнен по PRISMA. В результате двухэтапного скрининга, включавшего применение критериев включения и исключения, а также удаление дубликатов, было отобрано 89 публикаций из 127, охвачен период 2014–2024 гг., источниками данных послужили PubMed, РИНЦ и др.

Результаты и обсуждение. Определены потенциальные направления применения бактериоцинов лактобактерий в клинической практике и лечебном питании: борьба с инфекциями желудочно-кишечного тракта; использование бактериоцинов в качестве замены антибиотиков, а также как антибиопленочное средство. Систематизированы актуальные данные по характеристике и механизму действия бактериоцинов. Такие бактериальные культуры, как *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactobacillus gasseri*, *Lactobacillus crispatus*, *Latilactobacillus sakei* являются бактериоциногенными и могут успешно применяться. Показана корреляция между течением соответствующих воспалительных заболеваний желудочно-кишечного тракта, дозой применяемых антибиотиков и приемом очищенных бактериоцинов или пробиотических микроорганизмов, продуцирующих бактериоцины *in situ*. Доказана возможность использования бактериоцинов в качестве альтернатив антибиотикам и/или средств, уменьшающих дозу применяемых антибиотиков, и/или средств лечения и профилактики заболеваний желудочно-кишечного тракта. Определены основные перспективные источники выделения высокоактивных штаммов-продуцентов бактериоцинов. Дальнейшие направления исследований включают целенаправленный скрининг высокоактивных бактериоцин-продуцирующих штаммов лактобактерий с пробиотическими свойствами, разработку схемы снижения дозы антибиотиков за счет использования полученных бактериоцинов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

бактериоцины, молочнокислые бактерии, *Lactobacillus*, *Lactiplantibacillus*, антибактериальная активность, применение, свойства

Для цитирования: Каночкина, М. С., Иванова, Л. А., Соколов, И. Р., Коновалова, А. Д., & Левин, О.Н. (2025). Возможности использования бактериоцинов лактобактерий в клинической практике (систематический обзор предметного поля). *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 63-86. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s261>



<https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s261>

Potential for the Use of *Lactobacilli* Bacteriocins in Clinical Practice (A Systematic Scoping Review)

Marya S. Kanochkina^{1,2}, Ludmila A. Ivanova¹, Ilya R. Sokolov¹, Anastasiya D. Konovalova¹, Oleg N. Levin³

¹ Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russia

² Limited Liability Company «Microbial Nutrients Immunocorrectors», Moscow, Russia

³ University of Tyumen, Tyumen, Russia

Correspondence:

Maria S. Kanochkina,
Russian Biotechnological University, 11,
Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia
E-mail: kanoch@yandex.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 19.03.2025

Received in revised form: 07.07.2025

Accepted: 30.09.2025

Copyright: © 2025 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Lactic acid bacteria are widely used in the food and pharmaceutical industries due to the synthesis of technologically significant substances and pronounced probiotic properties. The genera *Lactiplantibacillus* and *Lactobacillus* are interesting as producers of bacteriocins with antimicrobial effects and promising for the control of undesirable microflora, as well as a potential replacement for antibiotics in food products. However, their widespread practical use is limited by the instability of bacteriocins.

The purpose of the study is a systematic analysis of the literature to identify the molecular mechanisms of the action of bacteriocins, the areas of application in clinical practice and in therapeutic nutrition, as well as the sources of new producing strains.

Materials and Methods. The analysis followed PRISMA guidelines and resulted in a two-stage screening, which included the application of inclusion and exclusion criteria, as well as the removal of duplicates. 89 publications out of 127 from PubMed, RSCI and others were selected, covering the period 2014–2024.

Results and Discussion. Potential applications of lactobacillus bacteriocins in clinical practice and therapeutic nutrition have been identified: the fight against infections of the gastrointestinal tract; the use of bacteriocins as a substitute for antibiotics, as well as an antibiotic agent. The current data on the characteristics and the mechanism of the action of bacteriocins are systematized. Bacterial cultures such as *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactobacillus gasseri*, *Lactobacillus crispatus*, and *Latilactobacillus sakei* are bacteriocinogenic and can be successfully used. A correlation has been shown between the course of the corresponding inflammatory diseases of the gastrointestinal tract, the dose of antibiotics used and the intake of purified bacteriocins or probiotic microorganisms producing bacteriocins in situ. The possibility of using bacteriocins as alternatives to antibiotics and/or drugs that reduce the dose of antibiotics used, and/or drugs for the treatment and prevention of diseases of the gastrointestinal tract has been proven. The main promising sources of the isolation of highly active bacteriocin-producing strains have been identified. Further research areas include targeted screening of highly active bacteriocin-producing lactobacilli strains with probiotic properties, and the development of a scheme to reduce the dose of antibiotics using the obtained bacteriocins.

KEYWORDS

bacteriocins; lactic acid bacteria; *Lactobacillus*; *Lactiplantibacillus*; antibacterial activity; application; properties



To cite: Kanochkina, M. S., Ivanova, L. A., Sokolov, I. R., Konovalova, A. D., & Levin, O. N. (2025). Potential for the use of lactobacilli bacteriocins in clinical practice (a systematic review of the subject field). *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 63–86. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s261>

ВВЕДЕНИЕ

Молочнокислые бактерии (далее — МКБ) известны за счет своей способности продуцировать ценные соединения и проявлять пробиотические свойства, поэтому они активно используются в пищевой и фармацевтической промышленности. Группа молочнокислых бактерий представлена несколькими родами, среди которых велика значимость родов *Lactobacillus* и *Lactiplantibacillus*. К этим родам относятся факультативно анаэробные молочнокислые микроорганизмы, которые по идентификационным признакам являются грамположительными, каталазоотрицательными, неспорообразующими, неподвижными палочками (Гусева, Солдатова, & Караньян, 2021; Babatunde et al, 2014; De Vuyst et al., 2007); растут в анаэробных или микроаэрофильных условиях (Zheng et al., 2020).

Особое внимание исследователей сосредоточено на веществах с антимикробной активностью, проду-

цируемых молочнокислыми бактериями, что является целесообразным и необходимым в борьбе с условно-патогенными и патогенными микроорганизмами (Солдатова, Бутова, & Голованова, 2016). За антимикробную активность штаммов МКБ ответственны различные ингибирующие вещества (Рисунок 1) с разнообразными механизмами действия (Zawistowska-Rojek et al., 2022).

Наиболее интересным является изучение бактериоцинов и механизмов их действия в связи с проблемой растущей антибиотикорезистентности штаммов условно-патогенных и патогенных микроорганизмов, способных вызывать заболевания желудочно-кишечного тракта (далее — ЖКТ).

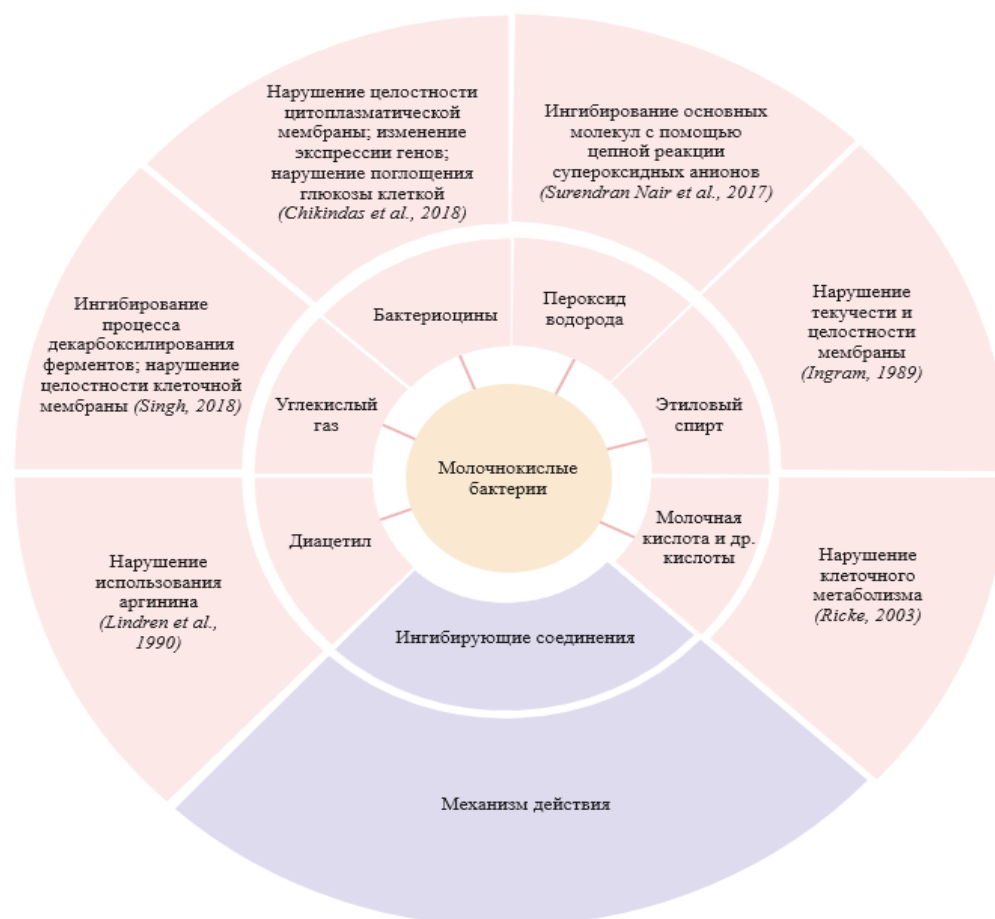
Таким образом, **целью** исследования является анализ актуальных литературных данных для определения основных механизмов действия бактериоцинов, выявления направлений их использования в клинической

Рисунок 1

Ингибирующие соединения молочнокислых бактерий

Figure 1

Lactic Acid Bacteria Inhibitory Compounds



практике (с учетом конкретных примеров) и оценки возможных источников выделения новых высокоактивных штаммов-продуцентов бактериоцинов. Задачи:

1. Провести целенаправленный поиск и отбор литературных источников для данного исследования в достаточном объеме для достижения цели.
2. Систематизировать данные с целью описания основ механизма действия бактериоцинов в зависимости от их классификации.
3. Определить взаимосвязи и корреляции приема очищенных бактериоцинов или пробиотических бактериоцин-продуцирующих штаммов при заболеваниях ЖКТ с улучшением клинических показателей (облегчением течения заболевания, уменьшением дозы антибиотиков, ингибированием роста инфекционных агентов или иными положительными эффектами), используя конкретные примеры. Отрастить потенциал и ограничения внедрения бактериоцинов в клиническую практику.
4. Сформулировать перспективные направления использования пробиотических бактериоцин-продуцирующих микроорганизмов с ориентацией на разработку лечебно-профилактических биопрепаратов, определить перспективные источники выделения бактериоциногенных штаммов.

Lactiplantibacillus. Слова второго уровня: антибактериальная активность, применение, свойства. Второй этап: анализ отобранных источников, изъятие источников, которые соотносятся с критериями исключения. Третий этап: подробный критический анализ отобранных источников, соответствующих критериям включения, систематизирование информации по следующим разделам. Это включает молекулярно-генетический механизм действия бактериоцинов в зависимости от их классификации; перспективные источники выделения бактериоциногенных штаммов МКБ; функциональные свойства бактериоцинов, такие как 1) возможности применения бактериоцинов для борьбы с инфекциями желудочно-кишечного тракта, 2) возможности использования бактериоцинов в качестве альтернативы антибиотикам, 3) антибиопленочный потенциал бактериоцинов, 4) противовоспалительное действие бактериоцинов, 5) противораковая активность бактериоцинов; факторы, препятствующие внедрению бактериоцинов в клиническую практику, и пути их преодоления.

Для обзора предметного поля проведенного исследования был использован протокол PRISMA (Тихонова et al., 2021) и составлена схема, Рисунок 2.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

Проведен поиск иностранной и российской научной литературы с использованием баз данных, поисковых платформ (PubMed, Google Scholar, Web of Science, КиберЛенинка, Elibrary, сайта Федерального института интеллектуальной собственности) по ключевым словам первого и второго уровня. Научная и патентная литература отобрана в соответствии с критериями включения: соответствие теме исследования; период публикации с 2014 по 2024 г. включительно (некоторые работы имели значимость по данному направлению и были использованы, невзирая на обозначенный временной интервал); совпадение минимум одного ключевого слова с ключевыми словами, выбранными для данного исследования. Критерии исключения были следующими: тематика статьи, имеющая отношение к использованию бактериоцинов как биоконсервантов.

Методы

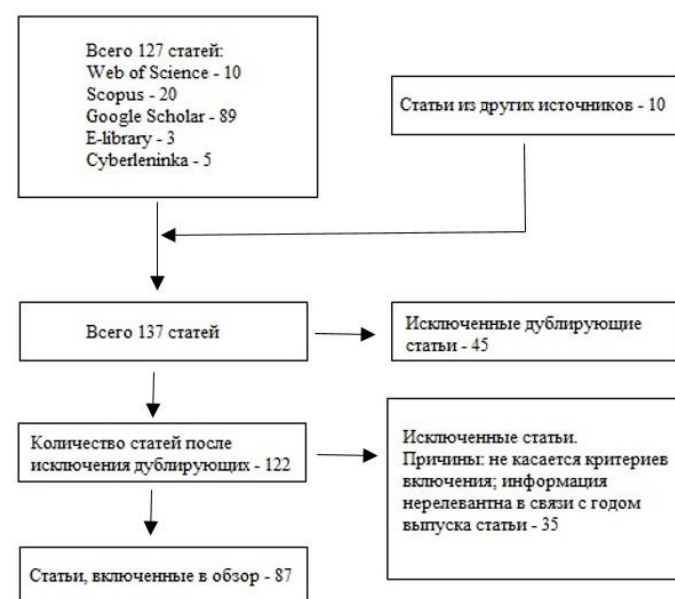
Первый этап: определение ключевых слов первого и второго уровня, поиск литературы по ключевым словам, отбор источников. Слова первого уровня: бактериоцины, молочнокислые бактерии, *Lactobacillus*,

Рисунок 2

Блок-схема, описывающая процесс выбора исследования в соответствии с протоколом PRISMA

Figure 2

PRISMA Protocol Flow Chart Including the Process of Selecting Bibliographic Sources



РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Молекулярные основы действия бактериоцинов в зависимости от классификации

Бактериоцины — это вещества пептидной природы, оказывающие токсическое действие по отношению к близкородственным и неродственным бактериям. Многие годы бактериоцины изучаются с точки зрения внедрения в пищевую промышленность и клиническую практику, поскольку показали свой потенциал в качестве эффективного биотехнологического инструмента. Они состоят не более чем из 60 аминокислотных остатков, проявляют чувствительность к протеазам, некоторые отличаются устойчивостью к высоким температурам (Zawistowska-Rojek et al., 2022).

Бактериоцины синтезируются специфическим путем: синтез происходит на рибосомах, в результате чего образуются биологически инертные пептиды (пре-бактериоцины), содержащие на N-конце лидерную последовательность; пре-бактериоцин расщепляется с удалением лидерной последовательности в результате процессинга; образованный про-бактериоцин транспортируется через цитоплазматическую мембрану

клетки (Soltani et al., 2021). Гены, обуславливающие перемещение и модификацию пре-пептидов, как правило, располагаются вблизи генов биосинтеза. Штаммы, продуцирующие антимикробные пептиды, остаются невосприимчивыми к собственным веществам, поскольку имеют гены иммунитета, располагающиеся в кластерах оперонов (Kumariya et al., 2019) и отвечающие за синтез специфических белков (Todorov, 2009). Возможно расположение данных генов на плазмиде, хромосоме в составе транспозонов (Mokoena et al., 2017). Механизм действия некоторых бактериоцинов заключается в воздействии на цитоплазматическую мембрану восприимчивых клеток, при этом целостность мембраны нарушается за счет образования пор, происходит потеря жизненно важных соединений. Другие антимикробные пептиды могут проникать в цитоплазму и изменять экспрессию генов и, следовательно, синтез белка, а также могут приводить к нарушению поглощения глюкозы клеткой (Рисунок 3) (Hernández-González et al., 2021; Swe et al., 2009).

Классификация бактериоцинов подвергается изменениям по мере появления новых данных. Бактериоцины грамположительных бактерий разделены на три класса, внутри каждого класса выделяют подклассы (Рисунок 4) (Alvarez-Sieiro et al., 2016). Изначально опи-

Рисунок 3

Механизм действия бактериоцинов молочнокислых бактерий (Hernández-González et al., 2021)

Figure 3

Lactic Acid Bacteria Bacteriocins Mechanism of Action (Hernández-González et al., 2021)

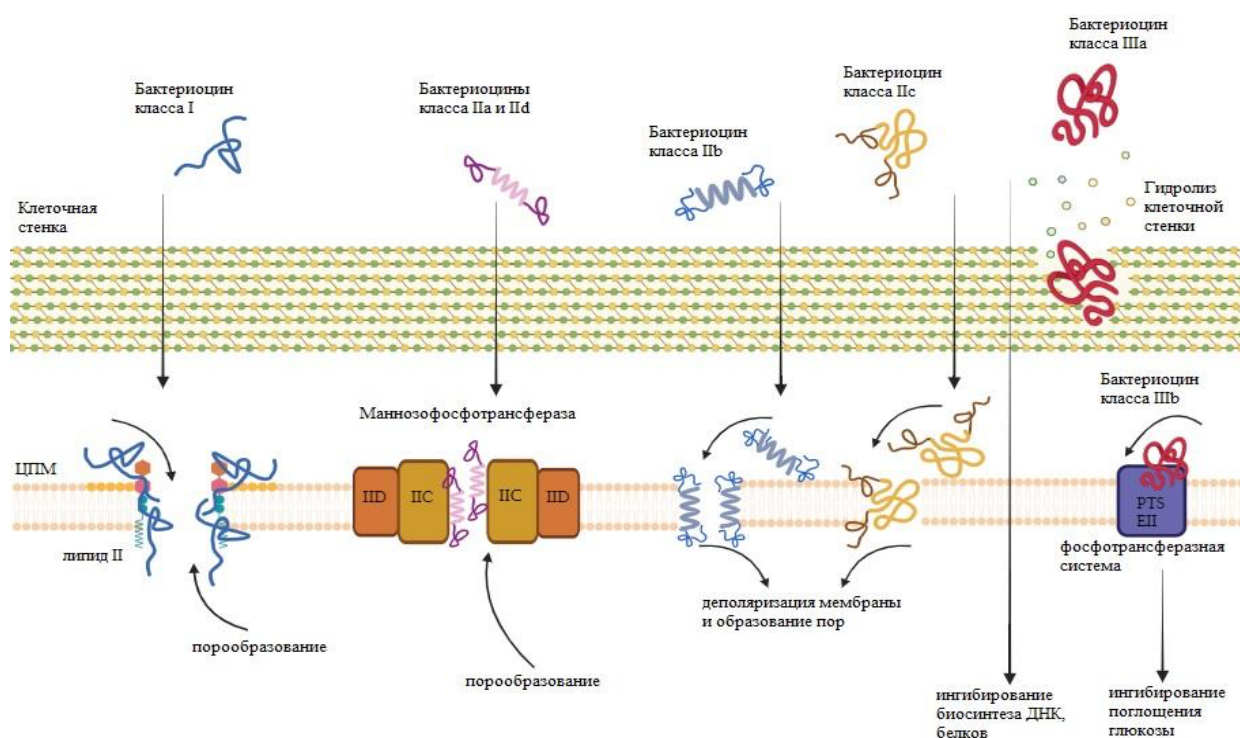
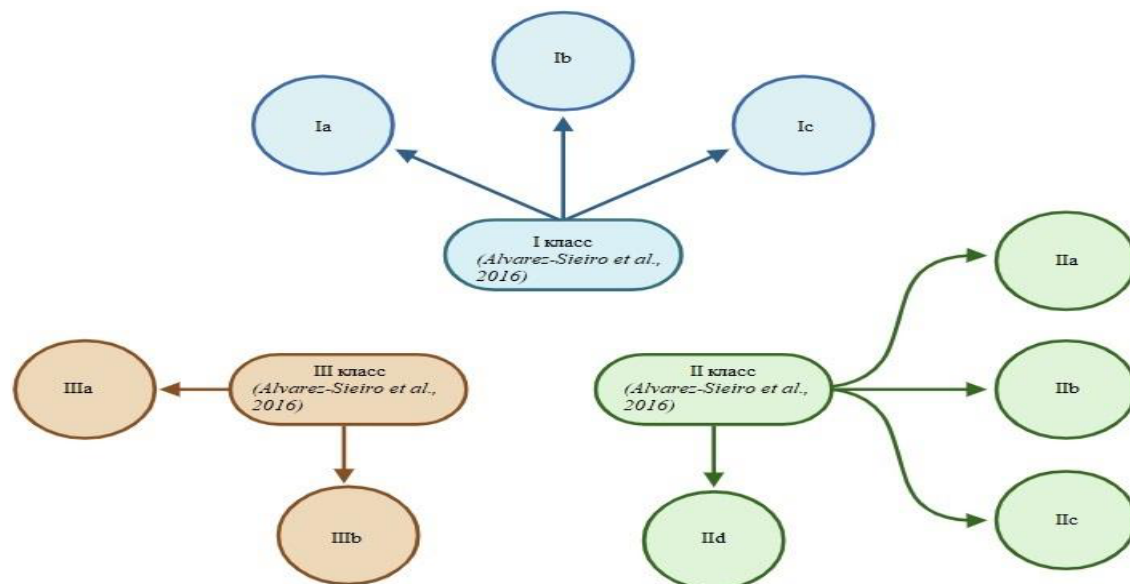


Рисунок 4

Классификация бактериоцинов молочнокислых бактерий

Figure 4

Classification of Lactic Acid Bacteria Bacteriocins



сывали еще четвертый класс, представители которого содержали углеводные и/или липидные компоненты, но впоследствии класс убрали, а входящие в него пептиды были переклассифицированы как бактериолизины (Kumariya et al., 2019).

Бактериоцины I класса называют лантибиотиками. Это посттрансляционно модифицированные пептиды с небольшой молекулярной массой (менее 5 кДа). Способны сохранять свою стабильность при высокой температуре (Johnson et al., 2018). Лантибиотики содержат неканонические аминокислоты (лантионин и метиллантионин) (Zimina et al., 2020). Класс I разделен на три подкласса. К подклассу Ia относятся линейные, положительно заряженные, гидрофобные лантипептиды. Подкласс Ib представлен глобулярными бактериоцинами, имеющими отрицательный заряд или не имеющими вовсе суммарного заряда (Alvarez-Sieiro et al., 2016). Подкласс Ic имеет отличительные черты — наличие серы в α-углероде и шпилькообразной структуры (Alvarez-Sieiro et al., 2016).

Бактериоцины класса II подразделяют на подклассы IIa, IIb и IIc (Bamgbose et al., 2021), также есть информация о подклассе IId (Kumariya et al., 2019). Молекулярная масса небольшая, менее 10 кДа. Они не имеют в своей структуре модифицированных аминокислот, при этом устойчивы к высокой температуре и изменению вели-

чины pH (Alvarez-Sieiro et al., 2016). Бактериоцины подкласса IIa — это пептиды (педииоциноподобные), содержащие на N-конце консенсусную последовательность Tyr-Gly-Asn-Gly-Val-Xaa-Cys (Soltani et al., 2021). Имеют дисульфидный мостик, образованный цистеиновыми остатками в их N-концевой области. Также некоторые пептиды имеют дополнительную дисульфидную связь вблизи C-конца. Бактериоцины подкласса IIb представлены двумя немодифицированными пептидами, которые необходимы для проявления антимикробной активности. Эти пептиды состоят из 30–60 аминокислотных остатков, имеют суммарный положительный заряд (Johnson et al., 2018). Подкласс IIc представлен пептидами кольцевой структуры, имеющими в составе один или два остатка цистеина (Alvarez-Sieiro et al., 2016). Пептиды подкласса IId линейные, немодифицированные. По структуре они не схожи с другими бактериоцинами класса II, т. е. не являются педииоциноподобными (Kumariya et al., 2019).

Бактериоцины класса III отличаются высокой молекулярной массой (более 30 кДа), термолабильностью. В составе пептидов только стандартные аминокислоты. Класс делят на 2 подкласса. Бактериоцины подкласса IIIa обладают бактериолитическим действием, а подкласса IIIb — нелитическим действием. Данный класс требует дополнительного изучения (Zhilan et al., 2018).

Перспективные источники выделения бактериоциногенных штаммов МКБ

Лактобактерии являются продуцентами практически всех видов бактериоцинов (Таблица 1), которые многие научные группы активно идентифицируют и характеризуют (De Giani et al., 2019; Jiang et al., 2018; Pu et al., 2022; Wang et al., 2020). Продолжается работа по выделению новых бактериоцинов и определению их применимости в качестве антимикробных средств.

Важным шагом при идентификации бактериоциногенных штаммов является выбор источника выделения микроорганизмов и подбор дальнейших методик селективного выделения. Возможными источниками выделения высокоактивных штаммов, продуцирующих бактериоцины, может быть кишечная микрофлора (Lakshminarayanan et al., 2013; Therdtatha et al., 2016),

женское молоко (Garcia-Gutierrez et al., 2020), козье молоко (Avaiyarasi et al., 2016), а также ферментированные продукты (Миралимова и соавт., 2016; Hassan et al., 2020; Jiang et al., 2022; Peng et al., 2021).

Распространенным продуцентом антимикробных пептидов среди лактобактерий является *Lactiplantibacillus plantarum* (De Giani et al., 2019; Jiang et al., 2018; Pu et al., 2022; Peng et al., 2021; Wang et al., 2020; Xiangpeng et al., 2023). Однако наиболее известным бактериоцином стал низин, который производится *Lactococcus lactis* (Field et al., 2023). Низин последние десятилетия применяется как биоконсервант (Favaro et al., 2015), при этом активно исследуется его возможность биомедицинского применения (Field et al., 2023; Shin et al., 2016). Также изучают антимикробные способности бактерий рода *Pediococcus* в отношении патогенной микрофлоры (Lee et al., 2020; Todorov et al.,

Таблица 1
Примеры бактериоцинов лактобактерий
Table 1
Examples of Lactobacilli Bacteriocins

Класс	Характеристика класса	Молекулярная характеристика подкласса	Пример используемых бактериоцинов лактобактерий	Источники
I	Посттрансляционно модифицированные пептиды с небольшой молекулярной массой (менее 5 кДа), термостабильные, содержат неканонические аминокислоты	Ia — линейные, положительно заряженные, гидрофобные лантипептиды	Лактоцин S (<i>Latilactobacillus sakei</i> L45)	Mørtvedt et al, 1991
		Ib — глобулярные бактериоцины, имеющие отрицательный заряд или не имеющие вовсе суммарного заряда	—	
		Ic — характеризуются присутствием серы в α-углероде и наличием шпилькообразной структуры	—	
II	Молекулярная масса менее 10 кДа, термостабильные, устойчивые к изменению величины pH	IIa содержат на N-конце консенсусную последовательность Tyr-Gly-Asn-Gly-Val-Xaa-Cys	Плантарицин BM-1 (<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> BM-1)	Wang et al., 2020
		IIb представлены двумя немодифицированными пептидами, имеют суммарный положительный заряд	Плантарицин NC8 (<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> ZJ316)	Jiang et al., 2018, Pu et al., 2022
		IIc — пептиды кольцевой структуры	Гассерицин A (<i>Lactobacillus gasseri</i> LA39)	Garcia-Gutierrez et al., 2020
		IId — линейные, немодифицированные пептиды	Бактериоцин LP 21–2 (<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SHY 21–2)	Peng et al., 2021
III	Молекулярная масса более 30 кДа, термолабильные	IIIa характеризуются бактериолитическим действием	Гельветицин-M (<i>Lactobacillus crispatus</i> K313)	Zhilan et al., 2018
		IIIb характеризуются нелитическим действием	—	

2023) за счет продукции педиоцинов — бактериоцинов класса IIa, что приводит к быстрому увеличению экспериментальных исследований.

Изолированные штаммы оценивают на предмет их потенциальной способности продуцировать бактериоцины методами, включающими диффузию бесклеточного супернатанта в лунки агара (Hassan et al., 2020), анализ на микротитровальном планшете (Ratsep et al., 2014), анализ с применением бумажного диска, метод «точка на газоне» (Soomro et al., 2007). На основании полученных результатов целенаправленного скрининга отбирают высокоактивные бактериоциногенные штаммы, далее переходят к выделению, идентификации антибактериального соединения и изучению его свойств.

Функциональные свойства бактериоцинов

Наиболее ценными функциональными свойствами бактериоцинов считаются антибактериальная и антибиопленочная активность, а также противовоспалительное, противораковое действие (Huang et al., 2021) (Рисунок 5).

Возможности использования бактериоцинов для борьбы с инфекциями желудочно-кишечного тракта

Бактериоцины — это соединения белковой природы, что объясняет их низкую стабильность *in vivo* вследствие воздействия пищеварительных ферментов (Dicks et al., 2018). В таком случае использование бактериоцинов для борьбы с инфекциями желудочно-кишечного тракта (далее — ЖКТ) становится неэффективным. Это одно из основных ограничений применения очищенных бактериоцинов в клинической практике. Для предотвращения ферментативного расщепления прибегают к технологиям наноинкапсулирования (Amer et al., 2021; Flynn et al., 2021; Lelis et al., 2021). Однако наиболее результативным способом использования бактериоцинов, по нашему мнению, является применение бактериоцин-продуцирующих лактобактерий в качестве пробиотиков.

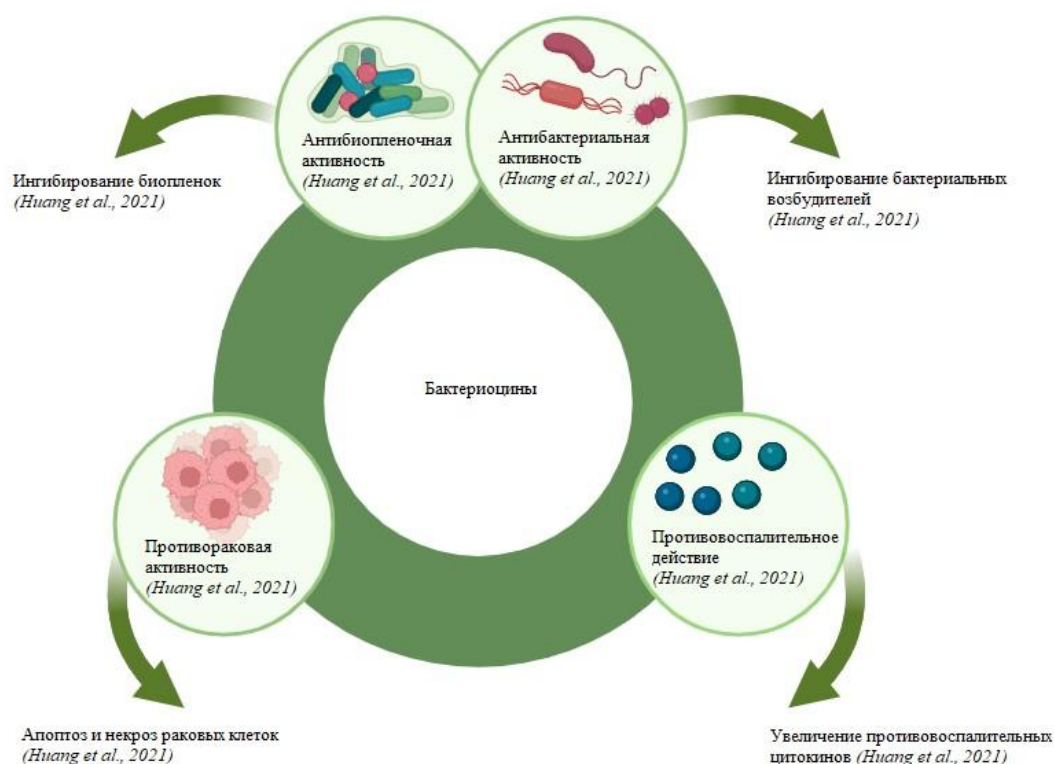
Пробиотики представляют собой непатогенные штаммы, способные выживать и поддерживать метаболическую активность в кишечной среде, оказывать благоприятное действие на организм человека (Iqbal et al., 2021). Тактика использования пробиотиков, про-

Рисунок 5

Функциональные свойства бактериоцинов

Figure 5

Functional Properties of Bacteriocins



дуцирующих бактериоцины, способствует ингибированию бактериальных возбудителей инфекций ЖКТ: *Salmonella enterica*, *Shigella sonnei*, энтеропатогенных штаммов *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter jejuni* и *Clostridioides difficile* (Markowiak et al., 2017). В таком случае бактериоцины могут продуцироваться *in situ* (Umu et al., 2016).

Учитывая негативное влияние патогенов на микробиоту кишечника и последствия желудочно-кишечных инфекций для здоровья человека, а также серьезное распространение антибиотикорезистентных штаммов, стоит острая необходимость в дальнейшей работе, направленной на внедрение бактериоцинов в клиническую практику. Анализ существующего уровня техники свидетельствует о высоком потенциале бактериоцинов (Таблица 2) в лечении антибиотикорезистентных инфекций ЖКТ, подавлении канцерогенеза, контроле инфекции *H. pylori*, модуляции полезной индигенной микрофлоры индивида.

Тип выделяемых сигнальных молекул и их влияние на состояние здоровья организма-хозяина зависит от типа бактерий, колонизирующих ЖКТ, в связи с этим микробное разнообразие жестко регулируется (Cesa-Luna et al., 2021). Примером является действие плантарицина P1053, продуцируемого *Lactiplantibacillus plantarum* PBS067, с бактерицидной активностью в отношении *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*. К тому же действие плантарицина P1053 на канцерогенные эпителиальные клеточные линии снижало их жизнеспособность на 30 % (De Giani et al., 2019). Действие плантарицина NC8, продуцируемого *Lactiplantibacillus plantarum* ZJ316 (Jiang et al., 2018), приводило к увеличению численности полезных бактерий в образцах разных энтеротипов (Pu et al., 2022).

Известно, что *Helicobacter pylori* — этиологический агент как желудочных (злокачественные новообразования желудка, пептическая язва, хронический гастрит), так и внежелудочных заболеваний (Keikha, 2020;

Таблица 2
Примеры бактериоцинов, имеющих потенциал в клинической практике
Table 2
Examples of Bacteriocins with Potential in Clinical Practice

Бактериоцин	Штамм-продуцент	Целевой микроорганизм	Эффект от воздействия	Практическое применение	Источники
Плантарицин P1053	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> PBS067	<i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> , канцерогенные клетки кишечника человека	Нарушение целостности мембраны. Снижение пролиферации канцерогенных клеток кишечника человека	Для лечения инфекций, подавления канцерогенеза	De Giani et al., 2019
Плантарицин NC8	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> ZJ316	<i>Micrococcus luteus</i>	Разрушение клеточной мембраны	Для модуляции полезной микрофлоры	Jiang et al., 2018; Pu et al., 2022
Плантарицин BM-1	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> BM-1	<i>Escherichia coli</i> K12	Воздействие на поверхность клеточной стенки, ведущее к ее коллапсу	Основа для более широкого использования в качестве альтернативы антибиотикам	Wang et al., 2020
Бактериоцин GLB	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>	<i>Helicobacter pylori</i>	Изменение проницаемости клеточной мембраны	В качестве лечебного адъюванта для контроля инфекции <i>H. pylori</i>	Boyanova et al., 2017
Казеицин m2163; Казеицин m2386	<i>Lactocaseibacillus casei</i> ATCC 334	Линия клеток коло-ректального рака человека SW480	Апоптоз клеток	Для профилактики и лечения рака	Tsai et al., 2015
Бактериоцин L34	<i>Lactocaseibacillus rhamnosus</i> L34	<i>Staphylococcus aureus</i>	Уменьшение воспаления при повреждении ткани	Профилактика инфекции после фиксации перелома	Fu et al., 2018

Youssefi et al., 2021). Для борьбы с *Helicobacter pylori* возможно применение бактериоциногенных штаммов (Boyanova et al., 2017), при этом изменяется клеточная проницаемость мембраны инфекционных микроорганизмов и возможно достижение контроля течения заболевания.

Инфекция, причиной которой является *Escherichia coli*, как правило, вызывает диарею и воспаление кишечника, ведущие к нарушению кишечной флоры и разрушению кишечного барьера (Huang et al., 2021). Исследовательской группой из Пекинского сельскохозяйственного университета было показано, что плантарицин BM-1, продуцируемый *Lactiplantibacillus plantarum* BM-1, вызывает разрыв клеток, ведущий к ингибированию роста *Escherichia coli* K12 (Wang et al., 2020).

Возможности использования бактериоцинов как альтернативы антибиотикам, определение совместных схем применения с целью сокращения их дозировки

Применение антибиотиков имеет важное значение для медицины, но противомикробные агенты становятся менее эффективными из-за увеличения числа устойчивых к антибиотикам бактерий (De Vuyst et al., 2007).

Формирование у бактерий резистентности к антибиотикам представляет собой серьезную проблему, ведущую к уменьшению эффективности лечения, повышению заболеваемости и смертности (Michael et al., 2014; Андрюков и соавт., 2018). К тому же существует проблема уменьшения разнообразия микробиоты кишечника после антибиотикотерапии (Michael et al., 2014; Schwartz et al., 2020).

В настоящее время обсуждается вопрос использования бактериоцинов в качестве замены антибиотикам (Cotter et al., 2013; Flynn et al., 2021; Андрюков и соавт., 2018; Заславская и соавт., 2018). По сравнению с антибиотиками бактериоцины менее лабильны при действии повышенных температур и в условиях экстремального pH. Такая стабильность объясняется разнообразной структурой и уровнем посттрансляционных модификаций (Parada et al., 2007). Бактериоцины за счет своего узкого спектра действия могут выступать в качестве высокоспецифичных антибактериальных соединений в борьбе со специфическими возбудителями (Zimina et al., 2020). Наиболее значимым достоинством бактериоцинов по сравнению с антибиотиками является их простой механизм биосинтеза (Soltani et al., 2021). Бактериоцины – это первичные метаболиты, синтезированные на рибосомах, тогда как антибиотики – вторичные метаболиты. Существует ряд других различий между бактериоцинами и антибиотиками (Таблица 3).

Таблица 3
Различия между бактериоцинами молочнокислых бактерий и традиционными антибиотиками
Table 3
Differences between Lactic Acid Bacteria Bacteriocins and Traditional Antibiotics

Показатель	Бактериоцины	Антибиотики	Источники
Биосинтез	Первичные метаболиты, синтезированные на рибосомах	Вторичные метаболиты	Han et al., 2013; Soltani et al., 2021; Sharma et al., 2021
Ингибирующая активность	Чаще всего узкий спектр действия	Чаще всего широкий спектр действия	Boyanova et al., 2017; Lima et al., 2020; Michael et al., 2014; Wang et al., 2020
Механизм формирования резистентности у целевых микроорганизмов	Имитация естественного защитного иммунитета; результат спонтанной мутации генов; формирование резистентности из-за ферментативной инактивации внеклеточными пептидазами	Естественная резистентность вследствие отсутствия/присутствия клеточных структур; формирование резистентности в результате генетических мутаций; формирование резистентности по причине горизонтального переноса генов	Bastos et al., 2015; Dicks et al., 2018; Huemer et al., 2020; Meade et al., 2020
Механизм действия	Образование пор в цитоплазматической мембране; изменение экспрессии генов; нарушение поглощения глюкозы клеткой	Ингибирование биосинтеза пептидогликана; ингибирование синтеза белка; ингибирование синтеза ДНК	Eyler et al., 2019; Hernández-González et al., 2021; Swe et al., 2009

Первостепенное значение имеют бактериоцины, которые можно использовать отдельно или в сочетании с антибиотиками, снижая дозу, необходимую для их действия.

Совместное применение бесклеточного супернатанта, содержащего бактериоцин (от 25 до 12800 Ед/мл) *Lactiplantibacillus plantarum* ST8SH, и ванкомицина (от 0,015 до 1,0 мкг/мл) было более эффективным в ингибировании образования биопленок *L. monocytogenes* Scott A, *L. monocytogenes* ATCC 7644, *L. monocytogenes* 211, *L. monocytogenes* 211, *L. monocytogenes* 506 по сравнению с комбинацией бактериоцина и прополиса (коммерческий продукт, разведенный до 16 раз), а также бактериоцина и ЭДТА (0,15–10 мМ) (Todorov et al., 2018).

На основе плантарицина А (PlnA1), полученного из *Lactiplantibacillus plantarum*, разработан аналог бактериоцина, в котором изменена структура, гидрофобность и заряд для усиления мембранопроницаемой способности. Бактериоцин PlnA1 OP4 (аналог плантарицина А) усиливал эффективность гидрофобных антибиотиков в отношении *E. coli* ATCC 35218: эритромицина в 62,5 раза при концентрации PlnA1 OP4 0,78 мкг/мл, клиндамицина в 128 раз при концентрации PlnA1 OP4 1,56 мкг/мл, ципрофлоксацина и норфлоксацина в 5–7 раз и триметоприма в 16 раз. При этом лечение PlnA1 OP4 повышало эффективность эритромицина в 20–80 раз против различных грамотрицательных патогенов, таких как энтерогеморрагическая *E. coli*, *Yersinia pseudotuberculosis*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Salmonella*

spp. с множественной лекарственной устойчивостью, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens* и *Klebsiella pneumoniae* (Meng et al., 2020).

Бактериоцины имеют потенциал в этом контексте, поскольку они проявляют множественные способы действия, образуя поры в мембранах, ингибируя биосинтез клеточной стенки и влияя на клеточное дыхание (Meade et al., 2020).

Развитие и распространение антибиотикорезистентности можно подавить, используя бактериоцины в сочетании с низкими дозами антибиотиков. *Staphylococcus spp.* вызывает трудно поддающиеся лечению инфекции у людей, поэтому важно найти иные методы лечения, включающие новые противомикробные соединения. Шведские ученые изучали действие двухпептидного бактериоцина (класс IIb) плантарицина NC8 αβ (PLNC8 αβ) в отношении различных видов *Staphylococcus spp.* PLNC8 α и β представляют собой короткие пептиды, состоящие из 29 и 34 аминокислот соответственно, и проявляют структурную устойчивость к повышенной температуре и изменению величины pH. Исследование показало, что бактериоцин NC8 αβ имеет высокую эффективность против развития *Staphylococcus aureus* и *Staphylococcus epidermidis*. Важно, что антимикробный эффект PLNC8 αβ существенно усиливает действие различных антибиотиков (ванкомицин (0,097–50 мкг/мл), тейкоплагин (0,097–50 мкг/мл), рифампицин (0,0019–1 мкг/мл), гентамицин (0,0097–5 мкг/мл)) аддитивным или синергическим образом, даже при снижении конечной концен-

Таблица 4

Схема возможного совместного применения бактериоцин-продуцирующих штаммов лактобактерий с антибиотиками

Table 4

Scheme of Possible Combined Use of Bacteriocin-Producing Lactobacilli Strains with Antibiotics

Штамм-продуцент	Целевой микроорганизм	МПК (в комбинации):		Источники
		антибиотик	бактериоцин	
<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> ST8SH	<i>Listeria monocytogenes</i> (штаммы Scott A; ATCC 7644; 211; 506)	Ванкомицин, от 0,015 до 1,0 мкг/мл	Плантарицин ST8SH, от 25 до 12800 Ед/мл	Todorov et al., 2018
<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	<i>E. coli</i> ATCC 35218	Эритромицин, 8 мкг/г	Бактериоцин PlnA1 OP4, 0,78 мкг/г	Meng et al., 2020
		Клиндамицин, 1, 95 мкг/г		
		Триметоприм, 0,5 мкг/г		
		Ципрофлоксацин, 0,008 мкг/г		
		Норфлоксацин, 0,008 мкг/г		
<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Staphylococcus epidermidis</i>	Ванкомицин, 0,097–50 мкг/мл	Плантарицин NC8 αβ, от 1,5 мкМ до 2 мкМ	Bengtsson et al., 2020
		Тейкоплагин, 0,097–50 мкг/мл		
		Рифампицин, 0,0019–1 мкг/мл		
		Гентамицин, 0,0097–5 мкг/мл		

трации пептидов до 2 мкМ и 1,5 мкМ. Таким образом, показан многообещающий потенциал для использования PLNC8 αβ в клинической практике (Bengtsson et al., 2020). Кроме того, использование синергетической функции бактериоцинов экономически более эффективно, чем производство дорогих антибиотиков.

Проявление ингибирующей активности в отношении патогенных микроорганизмов (метициллин-резистентный *Staphylococcus aureus*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Listeria monocytogenes*, ванкомицин-резистентные энтерококки (VRE), *Clostridium difficile*, *Escherichia coli*, *Salmonella enterica*) свидетельствует о том, что бактериоцины могут стать альтернативным вариантом лечения микробных инфекций (Cintas et al., 2001). Таким образом, на основе имеющихся данных разработана схема возможного совместного применения бактериоцин-продуцирующих штаммов лактобактерий с антибиотиками, представленная в Таблица 4.

Антибиопленочный потенциал бактериоцинов

Патогенные микроорганизмы обладают способностью образовывать биопленки (микроорганизмы, прикрепленные к поверхности и заключенные во внеклеточные полимеры), которые представляют собой защитный механизм против антимикробных препаратов и являются серьезной проблемой для клиник (Duraismy et al., 2020; Jacquier et al., 2020). Удаление возбудителя затруднено, поскольку нет быстродействующих и хорошо проникающих антибиотиков. Бактериоцины благодаря своей небольшой молекулярной массе могут быстро диффундировать через биопленки и ингибировать их образование (Duraismy et al., 2020). Плантарицин Z057, продуцируемый *Lactiplantibacillus plantarum* Z057, обладает ингибирующим действием по отношению к *Vibrio parahaemolyticus* и его биопленки, а также антибактериальной активностью против *Staphylococcus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* (Xiangpeng et al., 2023). *Ligilactobacillus salivarius* является продуцентом саливарицина LHM. Этот пептид ингибирует рост и образование биопленки *Pseudomonas aeruginosa* (Mahdi et al., 2019).

Противораковая активность бактериоцинов

Рак возникает, когда клетки, выстилающие ткань, становятся аномальными и бесконтрольно разрастаются (Ren et al., 2020). Бактериоцины показали цитотоксическую активность в отношении раковых клеток, поэтому необходимы дальнейшие исследования для разработ-

ки новых противоопухолевых препаратов (Baindara et al., 2018). Механизм действия бактериоцинов по отношению к раковым клеткам заключается в их ингибировании за счет увеличения текучести мембраны, образования ионных каналов, нарушения митохондриального энергетического метаболизма и гликолиза. Изменения в структуре раковых клеток ведет к апоптозу и некрозу (Huang et al., 2021). При изучении двух антимикробных пептидов (m2163 и m2386), синтезируемых рибосомами, продуцируемых *Lactocaseibacillus casei* ATCC 334 было выявлено, что воздействие пептидов приводит к апоптозу линии клеток колоректального рака человека SW480 (Tsai et al., 2015). Тактика подавления пролиферации, миграции раковых клеток — эффективный способ профилактики и лечения рака.

Противовоспалительное действие бактериоцинов

У бактериоцинов отмечено противовоспалительное действие, способность модулировать уровни цитокинов (Huang et al., 2021). Бактериоцины, продуцируемые *Lactocaseibacillus rhamnosus* L34 (Fu et al., 2018) и *Lactocaseibacillus rhamnosus* ATCC 53103 (Zhou et al., 2018), уменьшали воспаление при повреждении ткани. Также была зафиксирована антимикробная активность в отношении *Staphylococcus aureus*. То есть бактериоцины могут выступать средствами, например, для профилактики ортопедических послеоперационных инфекций. У саливарицина LHM отмечена иммуномодулирующая активность за счет увеличения противовоспалительных цитокинов (Mahdi et al., 2019).

Проблемы, препятствующие внедрению бактериоцинов в клиническую практику, и пути их решения

Несмотря на преимущества применения бактериоцинов в качестве альтернативы антибиотикам и средствам поддержания микробиоты кишечника, некоторые ограничения бактериоцинов, такие как высокая стоимость выделения и очистки, протеолитическое расщепление, недостаточно изученные аспекты безопасности, препятствуют внедрению бактериоцинов и бактериоцин-продуцирующих штаммов в клиническую практику. Для установления полной безопасности бактериоцинов различными научными коллективами проводятся тесты:

- оценка цитотоксичности на эукариотических клеточных линиях,
- анализ способности к индукции апоптоза и ингибированию клеточного роста,
- исключение наличия гемолитической активности,

- исследование механизмов формирования резистентности у бактерий к бактериоцину,
- изучение влияния на иммунную систему хозяина и развитие аллергии (Dicks et al., 2018; Flynn et al., 2021; Noroozi et al., 2019).

В рамках оценки безопасности бактериоцинов важно не наблюдать неблагоприятного воздействия на целостность плотных контактов и межклеточную адгезию (Belguesmia et al., 2011; Di Cagno et al., 2010). При этом необходимо проводить исследования на животных моделях и испытания на людях для подтверждения заявлений о благотворном влиянии на состояние организма человека (Flynn et al., 2021; Mokoena et al., 2017), а также для обоснования безопасного и эффективного использования бактериоцинов в клинической практике.

Применение бактериоцинов в клинической практике осложнено трудоемкостью и высокой стоимостью получения высокоочищенных бактериоцинов, а также многоступенчатым характером схемы проведения клинических испытаний. В качестве основного решения рассматривается целенаправленный скрининг штаммов-суперпродуцентов бактериоцинов (преимущественно родов *Lactobacillus* и *Lactiplantibacillus*), способных к синтезу действующих веществ в условиях *in situ*

с последующим применением их для создания инновационной продукции, в том числе биопрепаратов для лечения и профилактики заболеваний ЖКТ и состояний, связанных с изменением микробиома кишечника.

Разработана модель технологической блок-схемы получения биопрепаратов на базе бактериоциногенных штаммов лактобактерий (Рисунок 6).

Блок-схема разработки технологии получения биопродукта на основе бактериоциногенного штамма лактобактерий состоит из нескольких этапов:

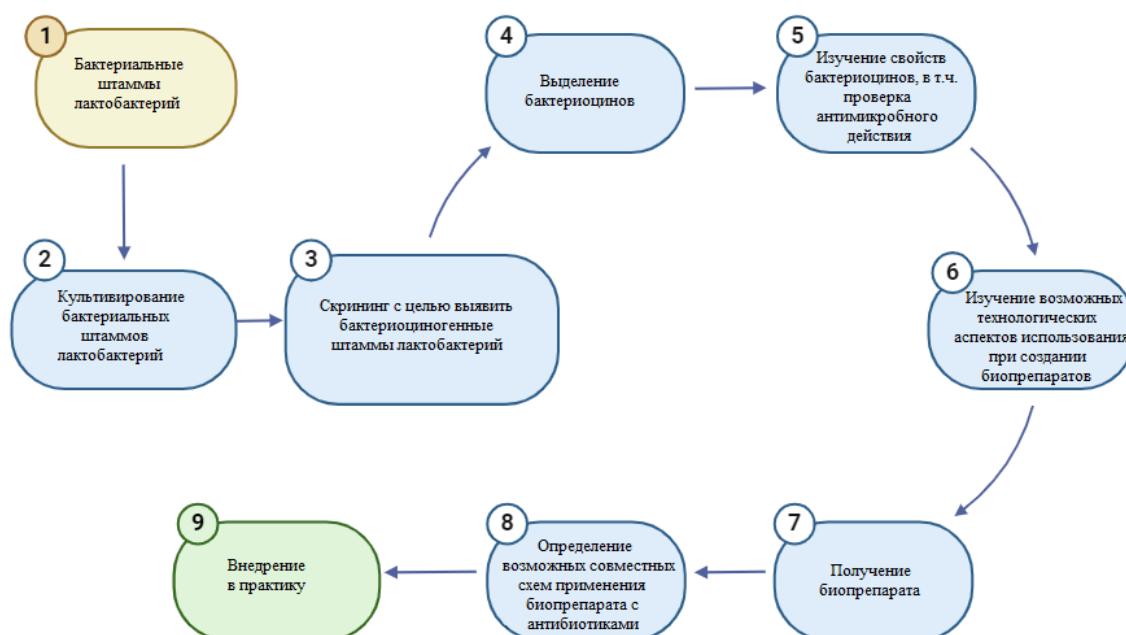
- бактериальные штаммы лактобактерий культивируют в среде, предпочтительной для стимуляции синтеза бактериоцинов (Миралимова и соавт., 2016; Wayah et al., 2018; Zhang et al., 2020);
- проводят скрининг с целью выявить бактериоциногенные штаммы (Миралимова и соавт., 2016; Boyanova et al., 2017; De Giani et al., 2019; Garcia-Gutierrez et al., 2020; Hassan et al., 2020; Wang et al., 2023);
- выделяют бактериоцины (De Giani et al., 2019; Hassan et al., 2020; Noroozi et al., 2019; Jiang et al., 2018; Peng et al., 2021; Wang et al., 2020; Wang et al., 2023);
- изучают свойства бактериоцинов (анализ термостабильности (Hassan et al., 2020; Jiang et al., 2022; Noroozi et al., 2019; Wang et al., 2023); тест на кис-

Рисунок 6

Модель технологической блок-схемы получения биопрепаратов на базе бактериоциногенных штаммов лактобактерий

Figure 6

Technological Flow Chart Model for Obtaining Biopreparations Based on Bacteriocinogenic Strains of *Lactobacilli*



- лотно-щелочную стабильность (Hassan et al., 2020; Jiang et al., 2022; Wang et al., 2023); определение влияния ферментов, органических растворителей на стабильность бактериоцинов (Hassan et al., 2020; Wang et al., 2023); в отдельных случаях проводят ряд других тестов), в том числе проводят проверку антимикробного действия (Миралимова и соавт., 2016; Boyanova et al., 2017; De Giani et al., 2019; Garcia-Gutierrez et al., 2020; Hassan et al., 2020; Wang et al., 2023);
- изучают возможные технологические аспекты использования при создании биопрепаратов (Hassan et al., 2020; Jiang et al., 2022; Noroozi et al., 2019; Wayah et al., 2018; Wang et al., 2023);
 - получают биопрепарат;
 - определяют возможные совместные схемы применения биопрепаратов с антибиотиками (Bengtsson et al., 2020; Meng et al., 2020; Todorov et al., 2018);
 - внедряют в практику.

Дальнейшие научные исследования направлены на внедрение представленной блок-схемы и получение соответствующего биопродукта с заявленными антимикробными характеристиками при продуцировании бактериоцинов *in situ*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основываясь на множестве опубликованных работ по исследуемой теме, можно отметить, что многообещающими направлениями изучения бактериоцинов являются: использование биоактивных пептидов в качестве альтернативы антибиотикам, сдерживание антибиотикорезистентности и разработка схемы снижения дозы антибиотика за счет использования бактериоцинов, отбор высокоактивных бактериоцин-продуцирующих штаммов лактобактерий с пробиотическими свойствами. При этом необходимо продолжать всесторонние исследования бактериоцинов и разрабатывать пути снятия ограничений.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают подлинную благодарность за помощь в проведении исследований, а также за организационную и методическую поддержку кафедре биотехнологии и биоорганического синтеза РОСБИОТЕХ и научно-исследовательской организации ООО «Микробные нутриенты иммунокорректоры».

ВКЛАД АВТОРОВ

Каночкина М. С.: научное руководство, предоставление ресурсов, разработка методологии, разработка концепции.

Иванова Л. А.: научное руководство, административное руководство исследовательским проектом.

Соколов И. Р.: написание рукописи-рецензирование и редактирование, валидация результатов, проведение исследования.

Коновалова А. Д.: написание черновика рукописи, визуализация, проведение исследования, курирование данных.

Левин О. Н.: написание черновика рукописи, формальный анализ, курирование данных.

AUTHORS CONTRIBUTION STATEMENT

Maria S. Kanochkina: supervision, resources, methodology, conceptualization.

Ludmila A. Ivanova: supervision, project administration.

Ilya R. Sokolov: writing — review & editing, validation, investigation.

Anastasiya D. Konovalova: writing — original draft preparation, visualization, investigation, data curation.

Oleg N. Levin: writing — original draft preparation, formal analysis, data curation.

ЛИТЕРАТУРА

- Андрюков, Б. Г., & Недашковская, Е. П. (2018). Вступая в пост-антибиотиковую эру: перспективные стратегии поиска новых альтернативных стратегий борьбы с инфекционными заболеваниями. *Здоровье. Медицинская экология. Наука*, (3(75)), 36–50. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1488026>
- Гусева, Т. Б., Солдатова, С. Ю., & Караньян О. М. (2021). Органолептическая оценка молочных консервов: особенности проведения и интерпретации результатов. *Товаровед продовольственных товаров*, (10), 726–729. <https://doi.org/10.33920/igt-01-2110-01>
- Заславская, М. И., Махрова, Т. В., Александрова, Н. А., Игнатова Н. И. & et al. (2019). Перспективы использования бактериоцинов нормальной микробиоты в антибактериальной терапии (обзор). *Современные технологии медицины*, (3), 136–145. <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.3.17>
- Миралимова, Ш. М., Огай, Д. К., Кутлиева, Г. Д., Ибрагимова, А. Д. & et al. (2016). Синтез бактериоциноподобного вещества штаммом *Lactobacillus plantarum* 42, выделенным из квашеной капусты. *Научные результаты биомедицинских исследований*, (3), 56–63. <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2016-2-3-56-63>
- Солдатова, С. Ю., Бутова, С. Н., & Голованова, К. Ю. (2016). Разработка рецептуры биологически активной добавки для нормализации работы желудочно-кишечного тракта. *Бюллетень науки и практики*, 5(6). С. 27–33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.54823>
- Тихонова, Е. В., & Шленская, Н.М. (2021). Обзор предметного поля как метод синтеза научных данных. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 11–25. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.257>
- Alvarez-Sieiro, P., Montalbán-López, M., Mu, D., & Kuipers, O.P. (2016). Bacteriocins of lactic acid bacteria: extending the family. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(7), 2939–2951. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7343-9>
- Amer, S. A., Abushady, H. M., Refay, R. M., & Mailam, M. A. (2021). Enhancement of the antibacterial potential of plantaricin by incorporation into silver nanoparticles. *Journal, Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s43141-020-00093-z>
- Avaiyarasi, N. D, Ravindran, A. D, Venkatesh, P., & Arul, V. (2016). In vitro selection, characterization and cytotoxic effect of bacteriocin of *Lactobacillus sakei* GM3 isolated from goat milk. *Food Control*, (69), 124–133. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2016.04.036>
- Babatunde, D. A., & Oladejo, P. O. (2014). Identification of lactic acid bacteria isolated from Nigerian foods. Medical importance and comparison of their bacteriocins activities. *Journal of Natural Sciences Research*, (4), 76–87.
- Boyanova, L., Gergova, G., Markovska, R., & Yordanov, D. (2017). Bacteriocin-like inhibitory activities of seven *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* strains against antibiotic susceptible and resistant *Helicobacter pylori* strains. *Letters in Applied Microbiology*, 65(6), 469–474. <https://doi.org/10.1111/lam.12807>
- Belguesmia, Y., Naghmouchi, K., Chihib, N.E., & Drider, D. (2011). Class IIa bacteriocins: Current knowledge and perspectives. *Prokaryotic Antimicrobial Peptides*, 171–195. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7692-5_10
- Bengtsson, T., Selegård, R., Musa, A., Hulténby, K., Utterström, J., Sivilér, P., Skog, M., Nayeri, F., Hellmark, B., Söderquist, B., Aili, D., & Khalaf, H. (2020). Plantaricin NC8 αβ exerts potent antimicrobial activity against *Staphylococcus* spp. and enhances the effects of antibiotics. *Scientific reports*, 10(1), 3580. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60570-w>
- Bastos, Mdo. C., Coelho, M. L., & Santos, O. C. (2015). Resistance to bacteriocins produced by Gram-positive bacteria. *Microbiology (Reading)*, 161(4), 683–700. <https://doi.org/10.1099/mic.0.082289-0>
- Baindara, P., Korpole, S., & Grover, V. (2018). Bacteriocins: perspective for the development of novel anticancer drugs. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(24), 10393–10408. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9420-8>
- Bamgbose, T., Habiba, I. A., & Anvikar, A. R. (2021). Bacteriocins of lactic acid bacteria and their industrial application. *Current Topic in Lactic Acid Bacteria and Probiotics*, (7), 1–13. <https://doi.org/10.35732/ctlabp.2021.7.1.1>
- Cesa-Luna, C., Alatorre-Cruz, J. M., Carreño-López, R., Quintero-Hernández, V., & Baez, A. (2021). Emerging applications of bacteriocins as antimicrobials, anticancer drugs, and modulators of the gastrointestinal microbiota. *Polish Journal of Microbiology*, 70(2), 143–159. <https://doi.org/10.33073/pjm-2021-020>
- Cotter, P. D., Ross, R. P., & Hill, C. (2013). Bacteriocins — a viable alternative to antibiotics? *Nature Reviews. Microbiology*, 11(2), 95–105. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2937>

- Cintas, L. M., Casaus, M. P, Herranz, C., Nes, I. F., & Hernández, P. E. (2001). Review: Bacteriocins of Lactic Acid Bacteria. *Food Science and Technology International*, (7), 281–305.
- Chikindas, M. L., Weeks, R., Drider, D., Chistyakov, V. A., & Dicks, L. M. (2018). Functions and emerging applications of bacteriocins. *Current Opinion in Biotechnology*, (49), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.07.011>
- De Giani, A., Bovio, F., Forcella, M., Fusi, P., Sello, G., & Di Gennaro, P. (2019). Identification of a bacteriocin-like compound from *Lactobacillus plantarum* with antimicrobial activity and effects on normal and cancerogenic human intestinal cells. *AMB Express*, 9(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0813-6>
- De Vuyst, L., & Leroy, F. (2007). Bacteriocins from lactic acid bacteria: production, purification, and food applications. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 13(4), 194–199. <https://doi.org/10.1159/000104752>
- Di Cagno, R., De Angelis, M., Calasso, M., & Vincentini O. (2010). Quorum sensing in sourdough *Lactobacillus plantarum* DC400: Induction of plantaricin A (PlnA) under co-cultivation with other lactic acid bacteria and effect of PlnA on bacterial and Caco-2 cells. *PROTEOMICS*, 10(11), 2175–2190. <https://doi.org/10.1002/pmic.200900565>
- Dicks, L. M. T., Dreyer, L., Smith, C., & van Staden, A. D. (2018). A review: The fate of bacteriocins in the human gastrointestinal tract: do they cross the gut-blood barrier? *Frontiers in Microbiology*, (9), 2297. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02297>
- Duraisamy, S., Balakrishnan, S., Ranjith, S., Husain, F., Sathyan, A., Peter, A. S., Prahalathan, C., & Kumarasamy, A. (2020). Bacteriocin-a potential antimicrobial peptide towards disrupting and preventing biofilm formation in the clinical and environmental locales. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(36), 44922–44936. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10989-5>
- Eyler, R. F., & Shvets, K. (2019). Clinical pharmacology of antibiotics. *Clinical journal of the American Society of Nephrology: CJASN*, 14(7), 1080–1090. <https://doi.org/10.2215/CJN.08140718>
- Flynn, J., Ryan, A., & Hudson, S. P. (2021). Pre-formulation and delivery strategies for the development of bacteriocins as next generation antibiotics. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics: Official Journal of Arbeitsgemeinschaft fur Pharmazeutische Verfahrenstechnik*, 165, 149–163. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2021.05.015>
- Fu, T., Yu, M., Yan, Q., & Liu, Y. M. (2018). Bacteriocin isolated from *Lactobacillus Rhamnosus* L34 has antibacterial effects in a rabbit model of infection after mandible fracture fixation. *Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, (24), 8009–8014. <https://doi.org/10.12659/MSM.909630>
- Field, D., Fernandez de Ullivarri, M., Ross, R. P., & Hill, C. (2023). After a century of nisin research — where are we now? *FEMS Microbiology Reviews*, 47(3), fuad023. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuad023>.
- Favaro, L., Barretto Penna, A. L., & Todorov, S. D. (2014). Bacteriocinogenic LAB from cheeses — Application in biopreservation. *Trends in Food Science & Technology*, 41(1), 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.001>
- Garcia-Gutierrez, E., O'Connor, P. M, Colquhoun, I. J, Vior, N. M. Rodríguez, J. M., Mayer, M. J., Cotter, P. D., & Narbad, A. (2020). Production of multiple bacteriocins, including the novel bacteriocin gassericin M, by *Lactobacillus gasseri* LM19, a strain isolated from human milk. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(9), 3869–3884. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10493-3>
- Hernández-González, J. C., Martínez-Tapia, A., Lazcano-Hernández, G., García-Pérez, B. E., & Castrejon-Jimenez, N. S. (2021). Bacteriocins from lactic acid bacteria. A powerful alternative as antimicrobials, probiotics, and immunomodulators in veterinary medicine. *Animals*, 11(4), 979. <https://doi.org/10.3390/ani11040979>
- Huang, F., Teng, K., Liu, Y., Cao, Y., Wang, T., Ma, C., Zhang, J., & Zhong, J. (2021). Bacteriocins: Potential for human health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021, 5518825. <https://doi.org/10.1155/2021/5518825>
- Hassan, M. U., Nayab, H., Rehman, T. U., Williamson, M. P, Haq, K. U., Shafi, N., & Shafique, F. (2020). Characterisation of bacteriocins produced by *Lactobacillus* spp. isolated from the traditional Pakistani yoghurt and their antimicrobial activity against common foodborne pathogens. *BioMed Research International*, 2020, 54–60. <https://doi.org/10.1155/2020/8281623>
- Han, L., & Madduri, K. (2013). Exploring antibiotic biosynthesis: Leo Vining's insights lead to new strategies in the quest for 'The 10 × '20 Initiative. *The Journal of Antibiotics*, 66(7), 365–369. <https://doi.org/10.1038/ja.2013.46>
- Huemer, M., Mairpady Shambat, S., Brugger, S. D., & Zinkernagel, A. S. (2020). Antibiotic resistance and persistence—Implications for human health and treatment perspectives. *EMBO Reports*, 21(12). <https://doi.org/10.15252/embr.202051034>
- Iqbal, Z., Ahmed, S., Tabassum, N., Bhattacharya, R., & Bose, D. (2021). Role of probiotics in prevention and treatment of enteric infections: a comprehensive review. *Biotechnology*, 11(5), 242. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02796-7>

- Jiang, H., Tang, X., Zhou, Q., Zou, J., Li, P., Breukink, E., & Gu, Q. (2018). Plantaricin NC8 from *Lactobacillus plantarum* causes cell membrane disruption to *Micrococcus luteus* without targeting lipid II. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(17), 7465–7473. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9182-3>.
- Johnson, E. M., Jung, D. Y., Jin, D. Y., Jayabalan, D. R., Yang, D. S. H., & Suh, J. W. (2018). Bacteriocins as food preservatives: Challenges and emerging horizons. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(16), 2743–2767. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1340870>.
- Jiang, Y., Xin, W., Yang, L., Ying, J. P., Zhao, Z. S., Lin, L. B., Li, X. Z., & Zhang, Q. L. (2022). A novel bacteriocin against *Staphylococcus aureus* from *Lactobacillus paracasei* isolated from Yunnan traditional fermented yogurt: Purification, antibacterial characterization, and antibiofilm activity. *Journal of Dairy Science*, 105(3), 2094–2107. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21126>
- Jacquier, H., Vironneau, P., Dang, H., Verillaud, B., Lamers, G., Herman, P., Vicaut, E., Tessier, N., Bidet, P., Varon, E., Van Den Abbeele, T., Cambau, E., Bercot, B., & Kania, R. (2020). Bacterial biofilm in adenoids of children with chronic otitis media. Part II: a case-control study of nasopharyngeal microbiota, virulence, and resistance of biofilms in adenoids. *Acta Otolaryngologica*, 140(3), 220–224. <https://doi.org/10.1080/00016489.2020.1718749>
- Keikha, M. (2020). Is there a relationship between *Helicobacter pylori* vacA i1 or i2 alleles and development into peptic ulcer and gastric cancer? A meta-analysis study on an Iranian population. *New Microbes New Infect*, (36), 100726. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2020.100726>
- Kumariya, R., Garsa, A. K., Rajput, Y. S., & Sood, S. K. (2019). Bacteriocins: Classification, synthesis, mechanism of action and resistance development in food spoilage causing bacteria. *Microbial Pathogenesis*, (128), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.01.002>
- Lima, L. M., Silva, B. N. M. D., Barbosa, G., & Barreiro, E. J. (2020). β -lactam antibiotics: An overview from a medicinal chemistry perspective. *European Journal of Medicinal Chemistry*, (208), 112829. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112829>
- Lelis, C. A., de Carvalho, A. P. A., & Conte Junior, C. A. A. (2021). Systematic review on nanoencapsulation natural antimicrobials in foods: In vitro versus in situ evaluation, mechanisms of action and implications on physical-chemical quality. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 12055. <https://doi.org/10.3390/ijms222112055>
- Lee, D. H., Kim, B. S., & Kang, S. S. (2020). Bacteriocin of *Pediococcus acidilactici* HW01 inhibits biofilm formation and virulence factor production by *Pseudomonas aeruginosa*. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 12(1), 73–81. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09623-9>
- Lakshminarayanan, B., Guinane, C. M., O'Connor, P. M., Coakley, M., Hill, C., Stanton, C., O'Toole, P. W., & Ross, R. P. (2013). Isolation and characterization of bacteriocin-producing bacteria from the intestinal microbiota of elderly Irish subjects. *Journal of Applied Microbiology*, 114 (3), 886–898. <https://doi.org/10.1111/jam.12085>
- Lonnie, O. (1989). Ingram. Ethanol tolerance in bacteria. *Critical Reviews in Biotechnology*, 305–319. <https://doi.org/10.3109/07388558909036741>
- Lindgren, S. E., & Dobrogosz, W. J. (1990). Antagonistic activities of lactic acid bacteria in food and feed fermentations. *FEMS Microbiology Reviews*, 7 (1–2), 149–163. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1990.tb04885.x>
- Markowiak, P., & Śliżewska, K. (2017). Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. *Nutrients*, 9(9), 1021. <https://doi.org/10.3390/nu9091021>
- Meade, E., Slattery, M. A., & Garvey, M. (2020). Bacteriocins, potent antimicrobial peptides and the fight against multi drug resistant species: Resistance is futile? *Antibiotics*, 9(1), 32. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9010032>
- Mokoena, M. P. (2017). Lactic acid bacteria and their bacteriocins: Classification, biosynthesis and applications against uropathogens: A mini-review. *Molecules*, 22(8), 1255. <https://doi.org/10.3390/molecules22081255>
- Mørtvedt, C. I., Nissen-Meyer, J., Sletten, K., & Nes, I. F. (1991). Purification and amino acid sequence of lactocin S, a bacteriocin produced by *Lactobacillus sake* L45. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(6), 1829–1834. <https://doi.org/10.1128/AEM.57.6.1829-1834.1991>
- Michael, C. A., Dominey-Howes, D., & Labbate, M. (2014). The antimicrobial resistance crisis: causes, consequences, and management. *Frontiers in Public Health*, (2), 145. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2014.00145>
- Mahdi, L. H., Jabbar, H. S., & Auda, I. G. (2019). Antibacterial immunomodulatory and antibiofilm triple effect of Salivaricin LHM against *Pseudomonas aeruginosa* urinary tract infection model. *International Journal of Biological Macromolecules*, (134), 1132–1144. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.181>

- Meng, F., Liu, Y., Nie, T., Tang, C., Lyu, F., Bie, X., Lu, Y., Zhao, M., & Lu, Z. (2022). Plantaricin A, derived from *Lactiplantibacillus plantarum*, reduces the intrinsic resistance of gram-negative bacteria to hydrophobic antibiotics. *Applied and Environmental Microbiology*, 88(10), e0037122. <https://doi.org/10.1128/aem.00371-22>
- Noroozi, E., Mojgani, N., Motevaseli, E., Modarressi, M. H., & Tebianian, M. (2019). Physico-chemical and cytotoxic analysis of a novel large molecular weight bacteriocin produced by *Lactobacillus casei* TA0021. *Iranian Journal of Microbiology*, 11(5), 397–405.
- Parada, J. L., Caron, C. R., Medeiros, A. B. P., & Socol, C. R. (2007). Bacteriocins from lactic acid bacteria: Purification, properties and use as biopreservatives. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50(3), 512–542. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000300018>
- Pu, J., Hang, S., Liu, M., & Chen, Z. A. (2022). Class IIb bacteriocin Plantaricin NC8 modulates gut microbiota of different enterotypes *in vitro*. *Frontiers in nutrition*, (9), 877948. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.877948>
- Peng, S., Song, J., Zeng, W., Wang, H., Zhang, Y., Xin, J., & Suo, H. (2021). A broad-spectrum novel bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* SHY 21–2 from yak yogurt: Purification, antimicrobial characteristics and antibacterial mechanism. *LWT*, (142), 110955. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110955>
- Ren, Z. H., Hu, C. Y., He, H. R., Li, Y. J., & Lyu, J. (2020). Global and regional burdens of oral cancer from 1990 to 2017: Results from the global burden of disease study. *Cancer communications*, 40(2–3), 81–92. <https://doi.org/10.1002/cac2.12009>
- Ricke, S. C. (2003). Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. *Poultry science*, 82(4), 632–639. <https://doi.org/10.1093/ps/82.4.632>
- Ratsep, M., Naaber, P., Koljalg, S., Smidt, I., Shkut, E., & Sepp, E. (2014). Effect of *Lactobacillus plantarum* strains on clinical isolates of *Clostridium difficile* *in vitro*. *Journal of Probiotics Health*, (2), 119.
- Soltani, S., Hammami, R., Cotter, P. D., Rebuffat, S., Said, L. B., Gaudreau, H., Bédard, F., Biron, E., Drider, D., & Fliss, I. (2021). Bacteriocins as a new generation of antimicrobials: toxicity aspects and regulations. *FEMS Microbiology Review*, 45(1), fuaa039. doi: <https://doi.org/10.1093/femsre/fuaa039>
- Sharma, B. R., Halami, P. M., & Tamang, J. P. (2021). Novel pathways in bacteriocin synthesis by lactic acid bacteria with special reference to ethnic fermented foods. *Food science and biotechnology*, 31(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00986-w>
- Schwartz, D. J., Langdon, A. E., & Dantas, G. (2020). Understanding the impact of antibiotic perturbation on the human microbiome. *Genome medicine*, 13(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s13073-020-00782-x>
- Swe, P. M., Cook, G. M., Tagg, J. R., & Jack, R. W. (2009). Mode of action of dysgalactin: a large heat-labile bacteriocin. *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 63(4), 679–686. <https://doi.org/10.1093/jac/dkn552>
- Singh, V. P. (2018). Recent approaches in food bio-preservation – a review. *Open Veterinary Journal*, 8(1), 104–111. <https://doi.org/10.4314/ovj.v8i1.16>
- Surendran, Nair M., Amalaradjou, M. A., & Venkitanarayanan, K. (2017). Antivirulence properties of probiotics in combating microbial pathogenesis. *Advances in Applied Microbiology*, (98), 1–29. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2016.12.001>
- Soomro, A.H., Musad, T., Sammiand, S., & Rathore, H.A. (2007). Comparison of different methods for detection of antimicrobial activity of *Lactobacillus spp.* *Pakistan Journal of Zoology*, 39 (4), 265–268.
- Todorov, S. D. (2009). Bacteriocins from *Lactobacillus plantarum* – Production genetic organization. *Brazilian Journal of Microbiology*, (40), 209–221.
- Todorov, S. D., de Paula, O. A. L., Camargo, A. C., Lopes, D. A., & Nero, L. A. (2018). Combined effect of bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* ST8SH and vancomycin, propolis or EDTA for controlling biofilm development by *Listeria Monocytogenes*. *Revista Argentina de Microbiologia*, 50(1), 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.011>
- Todorov, S. D., Wachsmann, M., Tomé, E., Vaz-Velho, M., & Ivanova, I. V. (2023). Plasmid-associated bacteriocin produced by *Pediococcus pentosaceus* isolated from smoked salmon: Partial characterization and some aspects of his mode of action. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, (16), 394–412. <https://doi.org/10.1007/s12602-023-10059-5>
- Tsai, T. L., Li, A. C., Chen, Y. C., Liao, Y. S., & Lin, T. H. (2015). Antimicrobial peptide m2163 or m2386 identified from *Lactobacillus casei* ATCC 334 can trigger apoptosis in the human colorectal cancer cell line SW480. *Tumour Biology*, 36(5), 3775–3789. <https://doi.org/10.1007/s13277-014-3018-2>
- Therdthatha, P., Tandumrongpong, C., Pilasombut, K., Matsusaki, H., Keawsompong, S., & Nitisinprasert, N. (2016). Characterization of antimicrobial substance from *Lactobacillus salivarius* KL-D4 and its application as biopreservative for creamy filling. *SpringerPlus*, 5(1), 1060. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2693-4>

- Umu, Ö. C., Bäuerl, C., Oostindjer, M., Pope, P. B., Hernández, P. E., Pérez-Martínez, G., & Diep, D. B. (2016). The potential of class ii bacteriocins to modify gut microbiota to improve host health. *PLoS One*, 11(10), e0164036. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164036>
- Wang, H., Xie, Y., Zhang, H., & Jin, J. (2020). Quantitative proteomic analysis reveals the influence of plantaricin BM-1 on metabolic pathways and peptidoglycan synthesis in *Escherichia coli* K12. *PLoS One*, 15(4), e0231975. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231975>
- Wayah, S. B., & Philip, K. (2018). Purification, characterization, mode of action, and enhanced production of Salivaricin mmaye1, a novel bacteriocin from *Lactobacillus salivarius* SPW1 of human gut origin. *Electronic Journal of Biotechnology*, 35, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2018.08.003>
- Wayah, S. B., & Philip, K. (2018). Characterization, yield optimization, scale up and biopreservative potential of fermencin SA715, a novel bacteriocin from *Lactobacillus fermentum* GA715 of goat milk origin. *Microbial Cell Factories*, 17(1), 125. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0972-1>
- Wang, Z., Zhang, Y., Chen, C., Fan, S., Deng, F., & Zhao, L. A. (2023). A novel bacteriocin isolated from *Lactobacillus plantarum* W3–2 and its biological characteristics. *Frontiers in Nutrition*, (9), 1111880. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1111880>
- Han X, Zhang, M., Peng, J., Wu, J., & Zhong, Q. (2023). Purification and characterization of a novel bacteriocin from *Lactiplantibacillus plantarum* Z057, and its antibacterial and antibiofilm activities against *Vibrio parahaemolyticus*. *LWT*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114358>
- Youssefi, M., Tafaghodi, M., Farsiani, H., Ghazvini, K., & Masoud, K. (2021). *Helicobacter pylori* infection and autoimmune diseases; Is there an association with systemic lupus erythematosus, rheumatoid arthritis, autoimmune atrophy gastritis and autoimmune pancreatitis? *Journal of Microbiology, Immunology, and Infection*, 54(3), 359–369. <https://doi.org/10.1016/j.jmii.2020.08.011>
- Zawistowska-Rojek, A., Kociszewska, A., Zaręba, T., & Tyski, S. (2022). New potentially probiotic strains isolated from humans – Comparison of properties with strains from probiotic products and ATCC Collection. *Polish Journal of Microbiology*, 71(3), 395–409. <https://doi.org/10.33073/pjm-2022-035>
- Zawistowska-Rojek, A., & Tyski, S. (2022). How to improve health with biological agents-narrative review. *Nutrients*, 14(9), 1700. <https://doi.org/10.3390/nu14091700>
- Zhilan, S., Wang, X., Zhang, X., & Wu, H. (2018). Class III bacteriocin Helveticin-M causes sublethal damage on target cells through impairment of cell wall and membrane. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 45(3), 213–227. <https://doi.org/10.1007/s10295-018-2008-6>
- Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M. A. P., Harris, H. M. B., Mattarelli, P., O'Toole, P. W., Pot, B., Vandamme, P., Walter, J., Watanabe, K., Wuyts, S., Felis, G. E., Gänzle, M. G., & Lebeer, S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(4), 2782–2858. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>
- Zimina, M., Babich, O., Prosekov, A., & Sukhikh, S. (2020). overview of global trends in classification, methods of preparation and application of bacteriocins. *Antibiotics*, 9(9), 553. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9090553>
- Zhang, J., Bu, Y., Zhang, C., Yi, H., Liu, D., & Jiao, J. (2020). Development of a low-cost and high-efficiency culture medium for bacteriocin Lac-B23 production by *Lactobacillus plantarum* J23. *Biology*, 9(7), 171. <https://doi.org/10.3390/biology9070171>
- Zhou, B., & Zhang, D. (2018). Antibacterial effects of bacteriocins isolated from *Lactobacillus rhamnosus* (ATCC 53103) in a rabbit model of knee implant infection. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 15(3), 2985–2989. <https://doi.org/10.3892/etm.2018.5790>

REFERENCES

- Andriukov, B. G., & Nedashkovskaya, E. P. (2018). Entering the post-antibiotic era: promising strategies for finding new alternative strategies to combat infectious diseases. *Health. Medical ecology. Nauka*, 75(3), 36–50. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1488026> (In Russ.)
- Alvarez-Sieiro, P., Montalbán-López, M., Mu, D., & Kuipers, O.P. (2016). Bacteriocins of lactic acid bacteria: extending the family. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100(7), 2939–2951. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7343-9>
- Amer, S. A., Abushady, H. M., Refay, R. M., & Mailam, M. A. (2021). Enhancement of the antibacterial potential of plantaricin by incorporation into silver nanoparticles. *Journal, Genetic Engineering and Biotechnology*, 19(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s43141-020-00093-z>
- Avaiyarasi, N. D, Ravindran, A. D, Venkatesh, P., & Arul, V. (2016). In vitro selection, characterization and cytotoxic effect of bacteriocin of *Lactobacillus sakei* GM3 isolated from goat milk. *Food Control*, (69), 124–133. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2016.04.036>
- Babatunde, D. A., & Oladejo, P. O. (2014). Identification of lactic acid bacteria isolated from Nigerian foods. Medical importance and comparison of their bacteriocins activities. *Journal of Natural Sciences Research*, (4), 76–87.
- Baindara, P., Korpole, S., & Grover, V. (2018). Bacteriocins: perspective for the development of novel anticancer drugs. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(24), 10393–10408. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9420-8>
- Bamgbose, T., Habiba, I. A., & Anvikar, A. R. (2021). Bacteriocins of lactic acid bacteria and their industrial application. *Current Topic in Lactic Acid Bacteria and Probiotics*, (7), 1–13. <https://doi.org/10.35732/ctlabp.2021.7.1.1>
- Bastos, Mdo. C., Coelho, M. L., & Santos, O. C. (2015). Resistance to bacteriocins produced by Gram-positive bacteria. *Microbiology (Reading)*, 161(4), 683–700. <https://doi.org/10.1099/mic.0.082289-0>
- Belguesmia, Y., Naghmouchi, K., Chihib, N.E., & Drider, D. (2011). Class IIa bacteriocins: Current knowledge and perspectives. *Prokaryotic Antimicrobial Peptides*, 171–195. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7692-5_10
- Bengtsson, T., Selegård, R., Musa, A., Hulténby, K., Utterström, J., Sivilér, P., Skog, M., Nayeri, F., Hellmark, B., Söderquist, B., Aili, D., & Khalaf, H. (2020). Plantaricin NC8 αβ exerts potent antimicrobial activity against *Staphylococcus* spp. and enhances the effects of antibiotics. *Scientific Reports*, 10(1), 3580. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60570-w>
- Boyanova, L., Gergova, G., Markovska, R., & Yordanov, D. (2017). Bacteriocin-like inhibitory activities of seven *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* strains against antibiotic susceptible and resistant *Helicobacter pylori* strains. *Letters in Applied Microbiology*, 65(6), 469–474. <https://doi.org/10.1111/lam.12807>
- Cesa-Luna, C., Alatorre-Cruz, J. M., Carreño-López, R., Quintero-Hernández, V., & Baez, A. (2021). Emerging applications of bacteriocins as antimicrobials, anticancer drugs, and modulators of the gastrointestinal microbiota. *Polish Journal of Microbiology*, 70(2), 143–159. <https://doi.org/10.33073/pjm-2021-020>
- Chikindas, M. L., Weeks, R., Drider, D., Chistyakov, V. A., & Dicks, L. M. (2018). Functions and emerging applications of bacteriocins. *Current Opinion in Biotechnology*, (49), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.07.011>
- Cintas, L. M., Casaus, M. P, Herranz, C., Nes, I. F., & Hernández, P. E. (2001). Review: Bacteriocins of lactic acid bacteria. *Food Science and Technology International*, (7), 281–305.
- Cotter, P. D., Ross, R. P, & Hill, C. (2013). Bacteriocins – a viable alternative to antibiotics? *Nature reviews. Microbiology*, 11(2), 95–105. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2937>
- De Giani, A., Bovio, F., Forcella, M., Fusi, P., Sello, G., & Di Gennaro, P. (2019). Identification of a bacteriocin-like compound from *Lactobacillus plantarum* with antimicrobial activity and effects on normal and cancerogenic human intestinal cells. *AMB Express*, 9(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0813-6>
- De Vuyst, L., & Leroy, F. (2007). Bacteriocins from lactic acid bacteria: production, purification, and food applications. *Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology*, 13(4), 194–199. <https://doi.org/10.1159/000104752>
- Di Cagno, R., De Angelis, M., Calasso, M., & Vincentini O. (2010). Quorum sensing in sourdough *Lactobacillus plantarum* DC400: Induction of plantaricin A (PlnA) under co-cultivation with other lactic acid bacteria and effect of PlnA on bacterial and Caco-2 cells. *PROTEOMICS*, 10(11), 2175–2190. <https://doi.org/10.1002/pmic.200900565>
- Dicks, L. M. T., Dreyer, L., Smith, C., & van Staden, A. D. (2018). A Review: The Fate of Bacteriocins in the Human Gastro-Intestinal Tract: Do They Cross the Gut-Blood Barrier? *Frontiers in Microbiology*, (9), 2297. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02297>

- Duraisamy, S., Balakrishnan, S., Ranjith, S., Husain, F., Sathyan, A., Peter, A. S., Prahalathan, C., & Kumarasamy, A. (2020). Bacteriocin-a potential antimicrobial peptide towards disrupting and preventing biofilm formation in the clinical and environmental locales. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(36), 44922–44936. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10989-5>
- Eyler, R. F., & Shvets, K. (2019). Clinical Pharmacology of Antibiotics. *Clinical journal of the American Society of Nephrology: CJASN*, 14(7), 1080–1090. <https://doi.org/10.2215/CJN.08140718>
- Favaro, L., Barretto Penna, A. L., & Todorov, S. D. (2014). Bacteriocinogenic LAB from cheeses – Application in biopreservation. *Trends in Food Science & Technology*, 41(1), 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.001>
- Field, D., Fernandez de Ullivarri, M., Ross, R. P., & Hill, C. (2023). After a century of nisin research – where are we now? *FEMS Microbiology Reviews*, 47(3), fuad023. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuad023>.
- Flynn, J., Ryan, A., & Hudson, S. P. (2021). Pre-formulation and delivery strategies for the development of bacteriocins as next generation antibiotics. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 165, 149–163. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2021.05.015>
- Fu, T., Yu, M., Yan, Q., & Liu, Y. M. (2018). Bacteriocin Isolated from *Lactobacillus rhamnosus* L34 has antibacterial effects in a rabbit model of infection after mandible fracture fixation. *Medical Science Monitor*, 24, 8009–8014. <https://doi.org/10.12659/MSM.909630>
- Garcia-Gutierrez, E., O'Connor, P. M., Colquhoun, I. J., Vior, N. M., Rodríguez, J. M., Mayer, M. J., Cotter, P. D., & Narbad, A. (2020). Production of multiple bacteriocins, including the novel bacteriocin gassericin M, by *Lactobacillus gasseri* LM19, a strain isolated from human milk. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 104(9), 3869–3884. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10493-3>
- Guseva, T. B., Soldatova, S. Yu., & Karanian O. M. (2021). Organoleptic evaluation of canned milk products: features of conducting and interpreting the results. *Commodity specialist of Food Products*, (10), 726–729. <https://doi.org/10.33920/igt-01-2110-01> (In Russ.)
- Han X, Zhang, M., Peng, J., Wu, J., & Zhong, Q. (2023). Purification and characterization of a novel bacteriocin from *Lactiplantibacillus plantarum* Z057, and its antibacterial and antibiofilm activities against *Vibrio parahaemolyticus*. *LWT*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114358>
- Han, L., & Madduri, K. (2013). Exploring antibiotic biosynthesis: Leo Vining's insights lead to new strategies in the quest for 'The 10 × '20 Initiative. *The Journal of Antibiotics*, 66(7), 365–369. <https://doi.org/10.1038/ja.2013.46>
- Hassan, M. U., Nayab, H., Rehman, T. U., Williamson, M. P., Haq, K. U., Shafi, N., & Shafique, F. (2020). Characterisation of bacteriocins produced by *Lactobacillus* spp. isolated from the traditional Pakistani yoghurt and their antimicrobial activity against common foodborne pathogens. *BioMed Research International*, 2020, 54–60. <https://doi.org/10.1155/2020/8281623>
- Hernández-González, J. C., Martínez-Tapia, A., Lazcano-Hernández, G., García-Pérez, B. E., & Castrejon-Jimenez, N. S. (2021). Bacteriocins from lactic acid bacteria. A powerful alternative as antimicrobials, probiotics, and immunomodulators in veterinary medicine. *Animals*, 11(4), 979. <https://doi.org/10.3390/ani11040979>
- Huang, F., Teng, K., Liu, Y., Cao, Y., Wang, T., Ma, C., Zhang, J., & Zhong, J. (2021). Bacteriocins: Potential for human health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, (2021), 5518825. <https://doi.org/10.1155/2021/5518825>
- Huemer, M., Mairpady Shambat, S., Brugger, S. D., & Zinkernagel, A. S. (2020). Antibiotic resistance and persistence-Implications for human health and treatment perspectives. *EMBO Reports*, 21(12). <https://doi.org/10.15252/embr.202051034>
- Iqbal, Z., Ahmed, S., Tabassum, N., Bhattacharya, R., & Bose, D. (2021). Role of probiotics in prevention and treatment of enteric infections: a comprehensive review. *Biotechnology*, 11(5), 242. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02796-7>
- Jacquier, H., Vironneau, P., Dang, H., Verillaud, B., Lamers, G., Herman, P., Vicaut, E., Tessier, N., Bidet, P., Varon, E., Van Den Abbeele, T., Cambau, E., Bercot, B., & Kania, R. (2020). Bacterial biofilm in adenoids of children with chronic otitis media. Part II: a case-control study of nasopharyngeal microbiota, virulence, and resistance of biofilms in adenoids. *Acta Otolaryngologica*, 140(3), 220–224. <https://doi.org/10.1080/00016489.2020.1718749>
- Jiang, H., Tang, X., Zhou, Q., Zou, J., Li, P., Breukink, E., & Gu, Q. (2018). Plantaricin NC8 from *Lactobacillus plantarum* causes cell membrane disruption to *Micrococcus luteus* without targeting lipid II. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(17), 7465–7473. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9182-3>.
- Jiang, Y., Xin, W., Yang, L., Ying, J. P., Zhao, Z. S., Lin, L. B., Li, X. Z., & Zhang, Q. L. (2022). A novel bacteriocin against *Staphylococcus aureus* from *Lactobacillus paracasei* isolated from Yunnan traditional fermented yogurt: Purification,

- antibacterial characterization, and antibiofilm activity. *Journal of Dairy Science*, 105(3), 2094–2107. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21126>
- Johnson, E. M., Jung, D. Y., Jin, D. Y., Jayabalan, D. R., Yang, D. S. H., & Suh, J. W. (2018). Bacteriocins as food preservatives: Challenges and emerging horizons. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(16), 2743–2767. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1340870>.
- Keikha, M. (2020). Is there a relationship between *Helicobacter pylori* vacA i1 or i2 alleles and development into peptic ulcer and gastric cancer? A meta-analysis study on an Iranian population. *New Microbes New Infect*, 36, 100726. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2020.100726>
- Kumariya, R., Garsa, A. K., Rajput, Y. S., & Sood, S. K. (2019). Bacteriocins: Classification, synthesis, mechanism of action and resistance development in food spoilage causing bacteria. *Microbial Pathogenesis*, 128, 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.01.002>
- Lakshminarayanan, B., Guinane, C. M., O'Connor, P. M., Coakley, M., Hill, C., Stanton, C., O'Toole, P. W., & Ross, R. P. (2013). Isolation and characterization of bacteriocin-producing bacteria from the intestinal microbiota of elderly Irish subjects. *Journal of Applied Microbiology*, 114(3), 886–898. <https://doi.org/10.1111/jam.12085>
- Lee, D. H., Kim, B. S., & Kang, S. S. (2020). Bacteriocin of *Pediococcus acidilactici* HW01 inhibits biofilm formation and virulence factor production by *Pseudomonas aeruginosa*. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 12(1), 73–81. <https://doi.org/10.1007/s12602-019-09623-9>
- Lelis, C. A., de Carvalho, A. P. A., & Conte Junior, C. A. A. (2021). Systematic review on nanoencapsulation natural antimicrobials in foods: In vitro versus in situ evaluation, mechanisms of action and implications on physical-chemical quality. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 12055. <https://doi.org/10.3390/ijms222112055>
- Lima, L. M., Silva, B. N. M. D., Barbosa, G., & Barreiro, E. J. (2020). β -lactam antibiotics: An overview from a medicinal chemistry perspective. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 208, 112829. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112829>
- Lindgren, S. E., & Dobrogosz, W. J. (1990). Antagonistic activities of lactic acid bacteria in food and feed fermentations. *FEMS Microbiology Reviews*, 7(1–2), 149–163. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1990.tb04885.x>
- Lonnie, O. (1989). Ingram. Ethanol tolerance in bacteria. *Critical Reviews in Biotechnology*, 305–319. <https://doi.org/10.3109/07388558909036741>
- Mahdi, L. H., Jabbar, H. S., & Auda, I. G. (2019). Antibacterial immunomodulatory and antibiofilm triple effect of Salivaricin LHM against *Pseudomonas aeruginosa* urinary tract infection model. *International Journal of Biological Macromolecules*, 134, 1132–1144. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.181>
- Markowiak, P., & Śliżewska, K. (2017). Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. *Nutrients*, 9(9), 1021. <https://doi.org/10.3390/nu9091021>
- Meade, E., Slattery, M. A., & Garvey, M. (2020). Bacteriocins, potent antimicrobial peptides and the fight against multi drug resistant species: Resistance is futile? *Antibiotics*, 9(1), 32. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9010032>
- Meng, F., Liu, Y., Nie, T., Tang, C., Lyu, F., Bie, X., Lu, Y., Zhao, M., & Lu, Z. (2022). Plantaricin A, derived from *Lactiplantibacillus plantarum*, reduces the intrinsic resistance of gram-negative bacteria to hydrophobic antibiotics. *Applied and Environmental Microbiology*, 88(10), e0037122. <https://doi.org/10.1128/aem.00371-22>
- Michael, C. A., Dominey-Howes, D., & Labbate, M. (2014). The antimicrobial resistance crisis: causes, consequences, and management. *Frontiers in Public Health*, (2), 145. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2014.00145>
- Miralimova, Sh. M., Ogai, D. K., Kutlieva, G. D., Ibragimova, A. D. & Sohibnazarova, H. (2016). Synthesis of a bacteriocin-like substance by *Lactobacillus plantarum* 42 strain isolated from sauerkraut. *Scientific Results of Biomedical Research*, (3), 56–63. <https://doi.org/10.18413/2313-8955-2016-2-3-56-63> (In Russ.)
- Mokoena, M. P. (2017). Lactic acid bacteria and their bacteriocins: Classification, biosynthesis and applications against uropathogens: A mini-review. *Molecules*, 22(8), 1255. <https://doi.org/10.3390/molecules22081255>
- Mørtvedt, C. I., Nissen-Meyer, J., Sletten, K., & Nes, I. F. (1991). Purification and amino acid sequence of lactocin S, a bacteriocin produced by *Lactobacillus sake* L45. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(6), 1829–1834. <https://doi.org/10.1128/AEM.57.6.1829-1834.1991>
- Noroozi, E., Mojgani, N., Motevaseli, E., Modarressi, M. H., & Tebianian, M. (2019). Physico-chemical and cytotoxic analysis of a novel large molecular weight bacteriocin produced by *Lactobacillus casei* TA0021. *Iranian Journal of Microbiology*, 11(5), 397–405.

- Parada, J. L., Caron, C. R., Medeiros, A. B. P., & Soccol, C. R. (2007). Bacteriocins from lactic acid bacteria: Purification, properties and use as biopreservatives. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50(3), 512–542. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000300018>
- Peng, S., Song, J., Zeng, W., Wang, H., Zhang, Y., Xin, J., & Suo, H. (2021). A broad-spectrum novel bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* SHY 21–2 from yak yogurt: Purification, antimicrobial characteristics and antibacterial mechanism. *LWT*, 142, 110955. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.110955>
- Pu, J., Hang, S., Liu, M., & Chen, Z. A. (2022). Class IIb bacteriocin Plantaricin NC8 modulates gut microbiota of different enterotypes in vitro. *Frontiers in Nutrition*, (9), 877948. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.877948>
- Ratsep, M., Naaber, P., Koljalg, S., Smidt, I., Shkut, E., & Sepp, E. (2014). Effect of *Lactobacillus plantarum* strains on clinical isolates of *Clostridium difficile* in vitro. *Journal of Probiotics Health*, (2), 119.
- Ren, Z. H., Hu, C. Y., He, H. R., Li, Y. J., & Lyu, J. (2020). Global and regional burdens of oral cancer from 1990 to 2017: Results from the global burden of disease study. *Cancer Communications*, 40(2–3), 81–92. <https://doi.org/10.1002/cac2.12009>
- Ricke, S. C. (2003). Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. *Poultry Science*, 82(4), 632–639. <https://doi.org/10.1093/ps/82.4.632>
- Schwartz, D. J., Langdon, A. E., & Dantas, G. (2020). Understanding the impact of antibiotic perturbation on the human microbiome. *Genome Medicine*, 13(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s13073-020-00782-x>
- Sharma, B. R., Halami, P. M., & Tamang, J. P. (2021). Novel pathways in bacteriocin synthesis by lactic acid bacteria with special reference to ethnic fermented foods. *Food Science and Biotechnology*, 31(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00986-w>
- Singh, V. P. (2018). Recent approaches in food bio-preservation – a review. *Open Veterinary Journal*, 8(1), 104–111. <https://doi.org/10.4314/ovj.v8i1.16>
- Soldatova, S. Y., Butova, S. N., & Golovanova, K. Y. (2016). Development of a formulation of a biologically active additive for normalization of the gastrointestinal tract. *Bulletin of Science and Practice*, 5(6), 27–33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.54823> (In Russ.)
- Soltani, S., Hammami, R., Cotter, P. D., Rebuffat, S., Said, L. B., Gaudreau, H., Bédard, F., Biron, E., Drider, D., & Fliss, I. (2021). Bacteriocins as a new generation of antimicrobials: toxicity aspects and regulations. *FEMS Microbiology Review*, 45(1), fuaa039. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuaa039>
- Soomro, A. H., Musad, T., Sammiand, S., & Rathore, H. A. (2007). Comparison of different methods for detection of antimicrobial activity of *Lactobacillus* spp. *Pakistan Journal of Zoology*, 39(4), 265–268.
- Surendran, Nair M., Amalaradjou, M. A., & Venkitanarayanan, K. (2017). Antivirulence properties of probiotics in combating microbial pathogenesis. *Advances in Applied Microbiology*, 98, 1–29. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2016.12.001>
- Swe, P. M., Cook, G. M., Tagg, J. R., & Jack, R. W. (2009). Mode of action of dysgalactacin: a large heat-labile bacteriocin. *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 63(4), 679–686. <https://doi.org/10.1093/jac/dkn552>
- Therdthatha, P., Tandumrongpong, C., Pilasombut, K., Matsusaki, H., Keawsompong, S., & Nitisinprasert, N. (2016). Characterization of antimicrobial substance from *Lactobacillus salivarius* KL-D4 and its application as biopreservative for creamy filling. *SpringerPlus*, 5(1), 1060. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2693-4>
- Tikhonova, E. V., & Shlenskaya, N. M. (2021). A review of the subject field as a method for synthesizing scientific data. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 11–25. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.257> (In Russ.)
- Todorov, S. D. (2009). Bacteriocins from *Lactobacillus plantarum* – Production genetic organization. *Brazilian Journal of Microbiology*, 40, 209–221.
- Todorov, S. D., de Paula, O. A. L., Camargo, A. C., Lopes, D. A., & Nero, L. A. (2018). Combined effect of bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* ST8SH and vancomycin, propolis or EDTA for controlling biofilm development by *Listeria monocytogenes*. *Revista Argentina de Microbiologia*, 50(1), 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.011>
- Todorov, S. D., Wachsmann, M., Tomé, E., Vaz-Velho, M., & Ivanova, I. V. (2023). Plasmid-associated bacteriocin produced by *pediococcus pentosaceus* isolated from smoked salmon: Partial characterization and some aspects of his mode of action. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, (16), 394–412. <https://doi.org/10.1007/s12602-023-10059-5>
- Tsai, T. L., Li, A. C., Chen, Y. C., Liao, Y. S., & Lin, T. H. (2015). Antimicrobial peptide m2163 or m2386 identified from *Lactobacillus casei* ATCC 334 can trigger apoptosis in the human colorectal cancer cell line SW480. *Tumour biology*, 36(5), 3775–3789. <https://doi.org/10.1007/s13277-014-3018-2>

- Umu, Ö. C., Bäuerl, C., Oostindjer, M., Pope, P. B., Hernández, P. E., Pérez-Martínez, G., & Diep, D. B. (2016). The potential of class II bacteriocins to modify gut microbiota to improve host health. *PLoS One*, 11(10), e0164036. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164036>
- Wang, H., Xie, Y., Zhang, H., & Jin, J. (2020). Quantitative proteomic analysis reveals the influence of plantaricin BM-1 on metabolic pathways and peptidoglycan synthesis in *Escherichia coli* K12. *PLoS One*, 15(4), e0231975. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231975>
- Wang, Z., Zhang, Y., Chen, C., Fan, S., Deng, F., & Zhao, L. A. (2023). A novel bacteriocin isolated from *Lactobacillus plantarum* W3-2 and its biological characteristics. *Frontiers in Nutrition*, (9), 1111880. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1111880>
- Wayah, S. B., & Philip, K. (2018). Characterization, yield optimization, scale up and biopreservative potential of fermencin SA715, a novel bacteriocin from *Lactobacillus fermentum* GA715 of goat milk origin. *Microbial cell Factories*, 17 (1), 125. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0972-1>
- Wayah, S. B., & Philip, K. (2018). Purification, characterization, mode of action, and enhanced production of Salivaricin mmye1, a novel bacteriocin from *Lactobacillus salivarius* SPW1 of human gut origin. *Electronic Journal of Biotechnology*, (35), 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2018.08.003>
- Youssefi, M., Tafaghodi, M., Farsiani, H., Ghazvini, K., & Masoud, K. (2021). Helicobacter pylori infection and autoimmune diseases; Is there an association with systemic lupus erythematosus, rheumatoid arthritis, autoimmune atrophy gastritis and autoimmune pancreatitis? *Journal of Microbiology, Immunology, and Infection*, 54(3), 359–369. <https://doi.org/10.1016/j.jmii.2020.08.011>
- Zaslavskaya, M. I., Makhrova, T. V., Alexandrova, N. A., Ignatova, N. I., Belova, I. V., Tochilina, A. G., & Solovyova, I. V. (2019). Prospects of using normal microbiota bacteriocins in antibacterial therapy (review). *Modern Technologies of Medicine*, (3), 136–145. <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.3.17>
- Zawistowska-Rojek, A., & Tyski, S. (2022). How to improve health with biological agents-narrative review. *Nutrients*, 14(9), 1700. <https://doi.org/10.3390/nu14091700>
- Zawistowska-Rojek, A., Kociszewska, A., Zareba, T., & Tyski, S. (2022). New potentially probiotic strains isolated from humans – Comparison of properties with strains from probiotic products and ATCC collection. *Polish Journal of Microbiology*, 71(3), 395–409. <https://doi.org/10.33073/pjm-2022-035>
- Zhang, J., Bu, Y., Zhang, C., Yi, H., Liu, D., & Jiao, J. (2020). Development of a low-cost and high-efficiency culture medium for bacteriocin Lac-B23 production by *Lactobacillus plantarum* J23. *Biology*, 9(7), 171. <https://doi.org/10.3390/biology9070171>
- Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M. A. P., Harris, H. M. B., Mattarelli, P., O'Toole, P. W., Pot, B., Vandamme, P., Walter, J., Watanabe, K., Wuyts, S., Felis, G. E., Gänzle, M. G., & Lebeer, S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(4), 2782–2858. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.004107>
- Zhilan, S., Wang, X., Zhang, X., & Wu, H. (2018). Class III bacteriocin Helveticin-M causes sublethal damage on target cells through impairment of cell wall and membrane. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 45 (3), 213–227. <https://doi.org/10.1007/s10295-018-2008-6>
- Zhou, B., & Zhang, D. (2018). Antibacterial effects of bacteriocins isolated from *Lactobacillus rhamnosus* (ATCC 53103) in a rabbit model of knee implant infection. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 15(3), 2985–2989. <https://doi.org/10.3892/etm.2018.5790>
- Zimina, M., Babich, O., Prosekov, A., & Sukhikh, S. (2020). Overview of global trends in classification, methods of preparation and application of bacteriocins. *Antibiotics*, 9(9), 553. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9090553>

Использование биоактивных компонентов проростков амаранта для улучшения потребительских свойств мясных изделий

Д.Е. Ипатов¹, Т.Н. Данильчук²

¹ ООО НИИ «Профи.Био»

² Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

Корреспонденция:

Ипатов Дмитрий Евгеньевич,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: d.ipatov@profi.bio

Конфликт интересов:

авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 07.07.2025

Поступила после
рецензирования: 19.09.2025

Принята: 30.09.2025

Copyright: © 2025 Автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Исследование посвящено изучению возможности применения экстракта проростков амаранта в технологии мясных рубленых полуфабрикатов из мяса индейки. Рассматривается влияние добавки экстракта проростков амаранта на вкусовые качества, безопасность и окислительную стабильность продукции, ориентированной на удовлетворение спроса потребителей в здоровом питании.

Цель. Оценка потребительских свойств мясных полуфабрикатов, обогащенных экстрактом проростков амаранта.

Материалы и методы. Объектами исследования явились образцы рубленых полуфабрикатов из мяса индейки, изготовленные по ГОСТ Р 32951–2014 (контроль) и с добавлением экстракта проростков амаранта в количестве 1–3 % от массы полуфабриката. В работе были использованы общепринятые методы исследования. Органолептическую оценку контрольного и экспериментальных образцов осуществляли в соответствии с ГОСТ 99959–2015 по пятибалльной шкале. Пищевую и энергетическую ценность определяли расчетным методом. Окислительную стабильность исследуемых рубленых полуфабрикатов определяли на реакторе стабильности окисления Oxitest (VELP Scientifica, Usmate Velate (MB), Италия). Перекисное число определяли по ГОСТ 34118–2017. Антиоксидантную активность определяли методом кулонометрического титрования с применением прибора «Эксперт-006».

Результаты и выводы. Установлена актуальность разработки новых мясных продуктов с улучшенными потребительскими свойствами с применением экстракта проростков амаранта. Сравнение свойств контрольных и экспериментальных образцов показало, что включение экстракта проростков амаранта в состав полуфабрикатов из мяса индейки оказывает минимальное воздействие на количество белков и липидов, но повышает содержание углеводов и энергетическую ценность. Интеграция экстракта проростков амаранта в рецептуру не оказывает негативного влияния на сенсорные показатели готовых изделий, при этом образцы с добавлением экстракта обладают более плотной структурой и получили более высокие баллы по результатам органолептической оценки. Физико-химические свойства полуфабрикатов варьировались в зависимости от дозы вводимого экстракта. Применение экстракта проростков амаранта снижает риск порчи продукции: перекисное число снижается в 3–5 раз соответственно количеству внесенного экстракта. Включение экстракта проростков амаранта в рецептуру мясных полуфабрикатов целесообразно и экономически оправдано, поскольку позволяет получать высококачественную продукцию с увеличенным сроком хранения и дополнительной пользой для здоровья потребителей. Полученные результаты открывают перспективы масштабного промышленного использования экстракта проростков амаранта в мясной отрасли, способствуя созданию конкурентоспособных продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

рубленые полуфабрикаты; мясо индейки; экстракт проростков амаранта; антиоксидантная активность; окислительная стабильность



Для цитирования: Ипатов, Д. Е., & Данильчук, Т. Н. (2025). Использование биоактивных компонентов проростков амаранта для улучшения потребительских свойств мясных изделий. *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 87–98. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s274>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s274>

The Use of Bioactive Components of Amaranth Seedlings to Improve the Consumer Properties of Meat Products

Dmitry E. Ipatov¹, Tatiana N. Danilchuk²

¹ LLC RI "Profi.Bio"

² Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Dmitry E. Ipatov,
Russian Biotechnological University, 11,
Volokolamskoe highway, Moscow,
125080, Russia
E-mail: d.ipatov@profi.bio

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 07.07.2025

Received in revised form: 19.09.2025

Accepted: 30.09.2025

Copyright: © 2025 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The paper studies the possibility of using amaranth seedling extract in the technology of minced meat semi-finished products from turkey. The effect of the addition of amaranth seedling extract on the taste, safety and oxidative stability of products aimed at meeting consumer demand for a healthy diet is considered.

Purpose: To evaluate the consumer properties of semi-finished meat products enriched with amaranth sprout extract.

Materials and Methods. The samples of chopped semi-finished turkey meat, processed according to GOST R 32951-2014 (control) and with the addition of amaranth sprout extract in an amount of 1–3 % of the semi-finished product weight were studied. Generally accepted research methods were used in the work. The organoleptic evaluation of the control and experimental samples was carried out in accordance with GOST 99959-2015, on a five-point scale. Nutritional and energy value were determined by calculation method. The oxidative stability of the studied chopped semi-finished products was determined on an Oxitest oxidation stability reactor (VELP Scientifica, Usmate Velate (MB), Italy). The peroxide value was determined according to GOST 34118-2017. The antioxidant activity was determined by coulometric titration using the Expert-006 device.

Results and Conclusions. The relevance of developing new meat products with improved consumer properties using amaranth seedling extract has been established. A comparison of the properties of control and experimental samples showed that the inclusion of amaranth sprout extract in the composition of semi-finished turkey meat products has a minimal effect on the amount of proteins and lipids, but increases the carbohydrate content and energy value. The integration of amaranth seedling extract into the formulation did not adversely affect the sensory parameters of the finished products, while the samples with the addition of the extract had a denser structure and received higher scores based on the results of organoleptic evaluation. Changes in the physico-chemical and functional-technological properties of semi-finished products varied depending on the dose of the injected extract. The use of amaranth seedling extract reduces the risk of product spoilage - the peroxide number is reduced by 3–5 times, according to the amount of extract applied. The inclusion of amaranth sprout extract in the recipe for semi-finished meat products is appropriate and economically justified, since it allows for the production of high-quality products with an extended shelf life and additional health benefits for consumers. The results obtained open up prospects for the large-scale industrial use of amaranth extract in the meat industry, contributing to the creation of competitive products that meet the criteria of a healthy diet.

KEYWORDS

chopped semi-finished products; turkey meat; amaranth seedling extract; antioxidant activity; oxidative stability



To cite: Ipatov, D. E., & Danilchuk, T. N. (2025). The use of bioactive components of amaranth seedlings to improve the consumer properties of meat products. *Health, Food & Biotechnology*, 7(3), 87-98. <https://doi.org/10.36107/hfb.2025.i3.s274>

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации принята программа, направленная на повышение качества пищевой продукции до 2030 г.¹, основной целью которой является увеличение средней продолжительности жизни россиян до 78 лет. Сегодня отмечается позитивная тенденция в решении данной проблемы. Ученые активно исследуют возможность применения различных добавок и компонентов для производства продуктов здорового питания. Политика государства сосредоточена на обеспечении жителей страны высококачественной пищей, богатой полноценным белком, полезными углеводами и полиненасыщенными жирными кислотами (Кутенков, 2009; Точеный, 2018).

Одной из важнейших проблем современного мира является недостаток потребления белка: в среднем человек получает лишь около 60 граммов белка ежедневно, тогда как суточная потребность варьируется от 70 до 120 граммов в зависимости от индивидуальных особенностей организма. Уровень потребления белка служит индикатором благосостояния нации, причем мясо и мясные изделия выступают ключевым источником полноценного белка в рационе большинства людей.

В мировом масштабе выпуск мяса ежегодно увеличивается, что обусловлено увеличением численности населения планеты. Повышается среднедушевое потребление мяса, которое к 2027 г. составит 35,4 кг (+0,3 % ежегодно). В последние годы мясоперерабатывающая отрасль стремительно развивается в России: по данным экспертно-аналитического центра агробизнеса («АБ-центр») с 2000 по 2021 г. объемы производства мяса стабильно росли. Такая тенденция сохраняется и в последние годы² (Таблица 1).

В соответствии с анализом российского мясного рынка по итогам 2024 г., проведенном Ассоциацией «Объединение Мясопереработчиков» в 2024 г., общий объем производства мяса во всех хозяйствах увеличился на 3 %. Основная доля рынка приходится на птицу и свинину (Рисунок 1).

В Российской Федерации увеличивается не только производство мяса, но и его потребление: если в 2022 г. потребление мяса составляло 79 кг на человека,

Таблица 1
Производство различных видов мяса в убойном весе на территории Российской Федерации в 2023 и 2024 гг.
Table 1
Production of Various Types of Meat in Slaughter Weight in the Russian Federation in 2023 and 2024

№ п/п	Вид мяса	Производство в убойном весе в тысячах тонн	
		2023 г., январь– сентябрь	2024 г., январь– сентябрь
1	Свинина	3400,9	3563,2
2	Говядина	1005,8	1031,1
3	Баранина и козлятина	106,7	105,0
4	Мясо птицы	3869,8	3960,8
5	Прочие виды мяса	30,3	29,0

то в 2024 г. — уже 83 кг на человека. Основную долю в структуре потребления занимают мясо птицы и свинина³. Растет спрос населения на мясо индейки. Выбор населения в пользу индейки связан с высокой биологической ценностью белкового компонента этого вида мяса, отличающегося оптимальным для усвоения соотношением аминокислот. Оно богато витаминами Е, А и группы В, фосфором и важными для организма человека микроэлементами. Мясо индейки считается диетическим и гипоаллергенным. Липидная фракция мяса индейки характеризуется низким уровнем общего содержания жира (примерно 2–8 %), доминированием мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот (преимущественно олеиновой и линолевой кислот), пониженным количеством насыщенных жирных кислот и минимальным содержанием холестерина. Данные характеристики обеспечивают высокую пищевую ценность продукта, способствуя профилактике атеросклероза и поддержанию здоровья сердечно-сосудистой системы.

Наблюдается превышение спроса на индейку над предложением, несмотря на то что доля индейки в общем объеме производства мяса птицы в России в 2024 г. составила 8 %⁴. Аналитики различных центров обращают внимание на значительные темпы роста в отечественном индейководстве. По прогнозу профильных

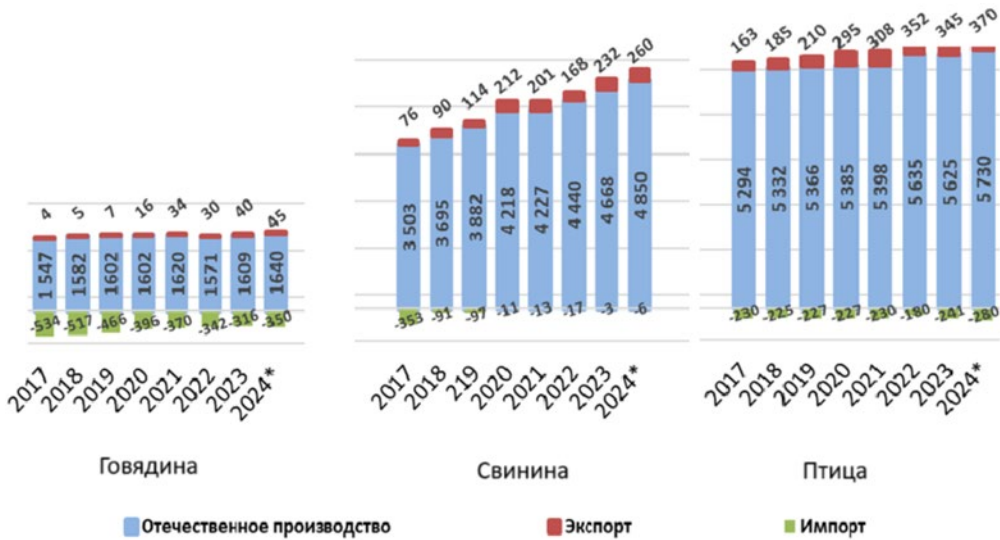
¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 года № 1364-р «Об утверждении Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года».

² <https://ab-centre.ru/news/o-roste-proizvodstva-myasa-v-rossii-v-2024-godu> (Дата обращения 04.05.2025)

³ <https://vetandlife.ru/sobytiya/potreblenie-myasa-v-rossii-vyshlo-na-rekordnye-79-kg-na-cheloveka-v-god/> (Дата обращения: 04.05.2025).

⁴ https://www.holodexpo.ru/pressa/news/rossiyskoe_indeykovoedstvo_prodolzhaet_uverennyi_rost_itogi_2024_goda_reyting_i_analiz/ (Дата обращения: 03.05.2025).

Рисунок 1
Ёмкость рынка мяса по видам в России (производство, экспорт, импорт) в тысячах тонн (включая субпродукты)⁵
Figure 1
Meat Market Capacity by Type in Russia (Production, Export, Import) in Thousands of Tons (Including Offal)



ассоциаций, к 2030 г. производство продукции индейководства достигнет 650 тыс. тонн⁶.

Наблюдаемая тенденция диктует необходимость разработки эффективных методов защиты мясных изделий от окислительного повреждения (прежде всего от свободнорадикального окисления липидов) и микробиологических изменений. Поскольку мясо представляет собой сложную мультикомпонентную систему, подверженную быстрой деструкции, особое внимание уделяется внедрению новейших биотехнологических решений, обеспечивающих сохранение качественных характеристик на протяжении всего производственного цикла — от животноводства до упаковывания готовой продукции.

Значительный интерес вызывают природные антиоксиданты и антимикробные компоненты растительного происхождения (Голубкина, 2020; Manish Kumar, 2021). Исследователи отмечают, что источники антиоксидантов в рационе важны для улучшения здоровья, увеличения продолжительности жизни человека и для повышения питательной ценности продуктов, производимых из сортов растений функционального назначения (Гончарова, 2024). Например, экстракты зеленых частей

растений, предотвращающие окисление, бактериальную контаминацию, могут использоваться в качестве натуральных пищевых добавок (Skowyr, 2014). Особо актуальным становится дальнейшее изучение потенциала ранее слабо исследованных натуральных агентов, в частности препаратов из проростков растений.

В последнее время в научной литературе усиливается направление по изучению полезных свойств пророщенных семян (Мячникова, 2012; Иванова, 2016), которые содержат в своем составе частично расщепленные биополимеры, макро- и микроэлементы, ферменты, витамины и обладают высокой антиоксидантной активностью за счет веществ, вырабатываемых семенами в процессе проращивания, также они могут проявлять функциональные свойства⁷. Интересным с научной и практической точки зрения является изучение полезных свойств амаранта и его проростков, обладающих уникальным биохимическим составом.

Амарант (*Amaranthus spp.*) — одно из популярных и высоко ценимых однолетних растений XXI в., культивируемое в различных регионах мира, включая Китай, Индию, Европу, Африку и Юго-Восточную Азию (Кононков,

⁵ https://asomp.ru/news/rossiiskii_myasnoi_rynok_itogi_2024_goda (Дата обращения: 03.05.2025).
⁶ <https://mcx.gov.ru/press-service/news/za-pyat-let-proizvodstvo-indeyki-v-rossii-uvelichilos-pochti-na-80/16.02.2023> (Дата обращения: 03.05.2025).
⁷ Данильчук, Т. Н. (2010). Способ получения крупы и муки из пророщенного ячменя. Патент RU 2 392 831 C1.

2011). Характеризуется высокой засухоустойчивостью, быстрым ростом и адаптивной способностью к различным климатическим условиям.

Семена амаранта относятся к семейству *Amaranthaceae* и выделяются значительным содержанием питательных и физиологически активных соединений, оказывающих положительное воздействие на организм человека и способствующих профилактике множества хронических заболеваний, таких как гипертония, сахарный диабет, онкологические патологии и болезни сердечно-сосудистой системы. Амарант классифицируется как псевдозерновой злак и отличается богатым составом макронутриентов: белков, жиров, углеводов, клетчатки, витаминов и микроэлементов, а также сбалансированным профилем незаменимых аминокислот. Несмотря на значительные преимущества для здоровья, этот злак утратил популярность в ряде регионов ввиду грубоватой структуры зерен и незнания потенциальных возможностей его применения в рационах развитых стран (Jan, 2023).

Анализ химического состава показывает превосходство амаранта над традиционными крупяными культурами, такими как кукуруза, пшеница и сорго, по содержанию белка (14,0–15,5 %), уровню углеводов (60–68 %) и снижению доли жира (7,5 %). Семена амаранта характеризуются не только высокой концентрацией серосодержащих аминокислот, но и присутствием широкого спектра флавоноидов, фенольных кислот, каротиноидов и прочих вторичных метаболитов, определяющих фармакологический эффект растения (Высотчина, 2013). Особо ценным веществом, входящим в состав амаранта, является сквален ненасыщенный углеводород, сильнейший иммуномодулятор. Сквален входит в состав себума (кожного сала) человека и играет важную роль в обеспечении барьерных функций кожи. Рекордное количество сквалена содержится в масле амаранта — до 8 %. Сквален считается лекарственным компонентом. Его биологическое действие заключается в способности насыщать кислородом ткани, регулировать обменные процессы в организме, оказывать мощное антиоксидантное и иммуномодулирующее действие (Исмаилова, 2023).

Благодаря своим уникальным агротехническим и питательным свойствам амарант вновь привлекает внимание исследователей и производителей. Например, доказано, что употребление экстракта амаранта повышает концентрации ионов NO_3^- и NO_2^- в крови минимум на восемь часов, что потенциально улучшает физическую выносливость и работоспособность (Deera Subramanian, 2016). В связи с этим в научно-технической литературе обсуждаются вопросы, связанные с использованием семян амаранта в производстве

продуктов питания, в том числе на мясной и молочной основе (Росляков, 2004). Амарантовую муку можно использовать в мясных технологиях для увеличения объемов производства, экономии расходования мясного сырья и получить продукцию повышенного качества (Никитин, 2020). Измельченные зерна амаранта можно использовать в технологии колбасных изделий для улучшения химического состава готового продукта. При этом частичная (50 %) или полная замена картофельного крахмала (100 %) на измельченное зерно амаранта придает изделию более насыщенные вкус и аромат, практически не повлияв на консистенцию (Ружило, 2023). Предлагается использовать амарант при производстве мягкого сыра с целью улучшения органолептических характеристик, консистенции продукта и для создания поликомпонентного белкового продукта (Кольтюгина, 2011). Препарат, полученный из проростков амаранта с использованием сублимационной сушки, эффективен в создании инновационных напитков на основе молочной сыворотки (Данильчук, 2020). Эти исследования актуальны в связи с развитием рынка функционального питания. Разработка продуктов питания, способствующих поддержанию сил и иммунитета организма человека, является одним из трендов рынка продуктов питания, так же, как и «эко», «био» и «органическая» продукция, а также продукты с содержанием белка (Молибога, 2022).

Анализ размера и доли рынка функциональных продуктов питания (тенденции роста и прогнозы на 2024–2029 гг.), проведенный специалистами Mordor Intelligence, показал, что, к 2028 г. ожидается рост объема рынка функциональных продуктов питания на 14 %⁸. Развитие рынка функционального питания будет способствовать росту пищевой промышленности. Для реализации этих возможностей и преодоления конкретных проблем, кроме усилий поставщиков пищевых ингредиентов, компаний пищевой промышленности, предприятий розничной торговли, необходимо развитие научных исследований (Бойцова, 2020).

В связи с вышеизложенным целью данного исследования является оценка потребительских свойств мясных полуфабрикатов, обогащенных экстрактом проростков амаранта. Для реализации поставленной цели проведен мониторинг научно-технической литературы, выработана партия экспериментальных образцов рубленых полуфабрикатов с добавлением экстракта проростков амаранта, проведена оценка физико-химических, органолептических свойств и показателей безопасности контрольного и экспериментальных образцов рубленых полуфабрикатов из мяса индейки.

⁸ <https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/global-functional-food-market> (Дата обращения: 03.05.2025).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы

В качестве основного сырья для приготовления мясных полуфабрикатов была выбрана тазобедренная часть индейки на основании высокого спроса на данный вид мясного сырья на рынке и его благоприятных биохимических параметров, обеспечивающих оптимальное соотношение нутриентов и структурных компонентов.

Объектами исследования явились образцы рубленых полуфабрикатов из мяса индейки, изготовленные по ГОСТ Р 32951–2014⁹ (контроль), с добавлением экстракта проростков амаранта в количестве 1 % (вариант 1), 2 % (вариант 2) и 3 % (вариант 3) от массы полуфабриката.

Процедура исследования

Первый этап. Первым этапом проведенных научных изысканий являлся детальный аналитический обзор специализированной научно-технической литературы, посвященный проблеме дефицита полноценного белка в питании населения, вопросам потребления мяса индейки, исследованию потенциальной целесообразности использования экстракта проростков амаранта в процессе изготовления рубленых мясных полуфабрикатов. Данный обзор акцентирует внимание на значимой роли сбалансированного питания в поддержании здоровья человека, подчеркивает особую важность употребления продуктов с высоким уровнем пищевой ценности, а также освещает перспективы их внедрения в производственные технологии. Дополнительно были проанализированы рыночные тенденции по вопросам производства мяса и продуктов питания функционального назначения.

Второй этап. На втором этапе осуществлено исследование антиоксидантной активности экстракта проростков амаранта в сравнении с другими объектами растительного происхождения.

Третий этап. На третьем этапе проведена выработка рубленых полуфабрикатов из индейки. В качестве контроля была принята рецептура рубленых полуфабрикатов по ГОСТ Р 32951–2014, в качестве экспериментальных образцов – рецептуры с добавлением экстракта проростков амаранта.

Четвертый этап. На четвертом этапе выполнены интегральные научные исследования органолептических, физико-химических характеристик контрольных

и опытных образцов рубленых мясных полуфабрикатов, включавшие анализ сенсорных показателей, оценку стабильности цвета и определение показателей безопасности. Основной задачей данного этапа являлся научный анализ воздействия экстракта проростков амаранта на совокупность потребительских и технологических характеристик готовых рубленых мясных изделий.

Пятый этап. На пятом, заключительном этапе проведен анализ полученных результатов и предложены рекомендации по улучшению пищевой ценности и качества рубленых полуфабрикатов.

Исследования были проведены в аккредитованной лаборатории на базе ООО Научно-исследовательский институт «Профи.Био».

Методы

Для установления соответствия органолептических показателей качества исследуемых рубленых полуфабрикатов требованиям нормативных документов осуществляли органолептическую оценку контрольного и экспериментальных образцов в соответствии с ГОСТ 99959–2015¹⁰ по пятибалльной шкале.

Энергетическую ценность разработанных полуфабрикатов определяли по химическому составу. Для расчета пользовались формулой

$$\text{ЭЦ} = 4 \cdot X_1 + 9 \cdot X_2 + 4 \cdot X_3, \quad (1)$$

где ЭЦ – энергетическая ценность продукта, ккал/100 г (1 ккал соответствует 4,186 кДж);

X_1 – массовая доля белка в продукте, г/100 г;

X_2 – массовая доля жира в продукте, г/100 г;

X_3 – массовая доля моно- и дисахаридов в продукте, г/100 г.

Окислительную стабильность исследуемых рубленых полуфабрикатов определяли на реакторе стабильности окисления Oxitest (VELP Scientifica, Usmate Velate (MB), Италия). Метод основан на ускорении процесса окисления липидов путем воздействия на образец среды с высоким окислительным стрессом. Для этого образец помещали в реактор, где он подвергался воздействию чистого кислорода при избыточном давлении 6 бар и температуре 90 °С. Результаты OXITEST выражали через индукционный период – время, необходимое для достижения исходной точки окисления, которую фиксировали на мониторе прибора по резкому изменению скорости окисления. Скорость окисления оценива-

⁹ ГОСТ Р 32951–2014. Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Дата введения 2016-01-01.

¹⁰ ГОСТ 99959–2015. Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки. Дата введения 2017-01-01.

ли по изменению давления кислорода в реакторе. Чем дольше индукционный период, тем выше устойчивость к окислению с течением времени.

Переокисное число (ПЧ) исследуемых рубленых полуфабрикатов определяли методом, основанным на окислении йодистоводородной кислоты пероксидами, содержащимися в жире, с последующим титрованием выделившегося йода тиосульфатом натрия по ГОСТ 34118–2017¹¹.

Антиоксидантную активность определяли методом кулонометрического титрования с применением прибора «Эксперт-006». Находили интегральную антиоксидантную активность с использованием электрогенерированного брома. Электрогенерацию брома осуществляли при постоянной силе тока 50 мА или 5 мА из водных 0,2 М растворов KBr в 0,1 М растворе H₂SO₄ с определением конца титрования вольтметрической индикацией с двумя поляризованными электродами из инертного металла. Результаты определения антиоксидантной активности получали в мг/1 г сухого вещества в пересчете на аскорбиновую кислоту.

Проращивание семян амаранта проводили в специально сконструированной аэропонной установке с автоматизированной системой контроля влажности и освещенности.

Водные экстракты получали с использованием электроимпульсного плазменно-динамического воздействия на смесь проростков амаранта и воды, что позволило максимально извлечь полезные вещества. Использовали электроимпульсный плазменно-динамический экстрактор компании «КоролёвФармТех»¹². В герметичной камере экстрактора, куда помещали смесь из измельченного сырья и воды, создавали электрические разряды большой силы для формирования плазменного электровзрыва среды, приводящего к генерированию мощных ударных волн. В результате такого воздействия происходит резкое ускорение экстракции за счет усиления перемешивания, интенсификации разрушения мембран растительных клеток, активации диффузных процессов. Экстракцию проводили при соотношении сырье/вода = 1/3, $t = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$, мощности импульса 34 кВт. Импульс подавали на электроды с частотой 1 Гц.

Все экспериментальные данные проводили в трехкратной повторности и обрабатывали методами математической статистики. При проверке статистических гипотез применяли уровень доверительной вероятности 0,95.

Среднее квадратичное отклонение определяли по формуле:

$$S = \pm \sqrt{\frac{\sum(x_i + x_{\text{ср}})^2}{n - 1}}, \quad (2)$$

где S — среднее квадратичное отклонение;

$\sum(x_i + x_{\text{ср}})^2$ — сумма квадратов вариаций от средней арифметической;

n — общее число вариантов (количество параллельных опытов);

$n - 1$ — число степеней свободы.

Средняя арифметическая вариаций определялась по формуле:

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x}{n}, \quad (3)$$

где $x_1, x_2, x_3 \dots x_n \dots$ — вариации (отдельные результаты опытов);

n — общее число вариантов (количество параллельных опытов).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После анализа имеющейся научно-технической литературы был проведен лабораторный эксперимент, направленный на изготовление рубленых мясных полуфабрикатов с добавлением экстракта проростков амаранта.

Для доказательства антиоксидантной активности экстракта проростков амаранта первоначально провели сравнительный анализ, позволяющий оценить степень антиоксидантных свойств указанного экстракта относительно других объектов растительного происхождения. Результаты исследования антиоксидантной активности экстракта проростков амаранта в сравнении с другими объектами растительного происхождения представлены в Таблице 2. Приведенные в таблице данные свидетельствуют о чрезвычайно высоком уровне антиоксидантной активности экстракта проростков амаранта, сопоставимом с аналогичным показателем коммерчески доступного препарата «Сок из проростков пшеницы» и существенно превосходящем антиоксидантную эффективность многих распространенных фруктов, таких как яблоки сорта «Антоновка».

На следующем этапе исследования произведена выработка образцов рубленых полуфабрикатов из бедра индейки: контроль по ГОСТ Р 32951–2014, вариант 1 (содержит 1 % экстракта проростков амаранта), вариант 2 (содержит 2 % экстракта проростков амаранта)

¹¹ ГОСТ 34118–2017. Межгосударственный стандарт. Мясо и мясные продукты. Метод определения переокисного числа. Дата введения 2018-07-01.

¹² <https://kpht.ru/publikatsii/126> (Дата обращения: 14.09.2025).

Таблица 2
Антиоксидантная активность некоторых объектов растительного происхождения

Table 2
Antioxidant Activity of Some Plant-Based Substances

Наименование объектов растительного происхождения	Антиоксидантная активность, мг/1 г сухого вещества
Яблоко сорта «Антоновка»	0,1
Сок из проростков пшеницы	9,5
Экстракт проростков амаранта	12

и вариант 3 (содержит 3 % экстракта проростков амаранта). Образцы были выработаны по общепринятой технологии.

Органолептические показатели готовых продуктов оценивались по пятибалльной шкале дегустационной комиссией ООО НИИ «Профи.Био», в состав которой входило 5 человек. Результаты органолептической оценки образцов рубленых полуфабрикатов представлены на Рисунке 2.

- Органолептическая экспертиза выявила следующее:
- запах контрольных и опытных образцов соответствовал характерным ароматическим характеристикам, присущим данному типу мясных полуфабрикатов, отсутствовали посторонние запахи, что демонстрирует пригодность экстракта проростков амаранта для применения в рецептурах мясных изделий;
 - оценивая вкусовую составляющую, все члены экспертной комиссии подтвердили идентичность вкуса контрольных и опытных образцов, отсутствие посторонних привкусов и нежелательных оттенков аромата. Добавление экстракта проростков амаранта незначительно повлияло на общий вкус продукта.

Кроме того, средний балл по органолептическим показателям продуктов, выработанных из фарша, обогащенного экстрактом проростков амаранта выше, чем у контрольного образца, что позволяет сделать заключение о целесообразности использования экстрактов проростков амаранта для создания новых мясных продуктов функциональной направленности. На Рисунке 3 представлен внешний вид контрольного и опытных образцов рубленых полуфабрикатов в разрезе.

Анализ визуальных характеристик показал вариативность окрашивания срезов образцов: вариант 1 имел более насыщенно-темный оттенок в отличие от остальных вариантов, демонстрирующих менее яркие тона красной

Рисунок 2
Профиллограмма органолептической оценки рубленых полуфабрикатов из индейки с экстрактом проростков амаранта

Figure 2
Profilogram of Organoleptic Evaluation of Chopped Semi-Finished Turkey Products with Amaranth Sprout Extract

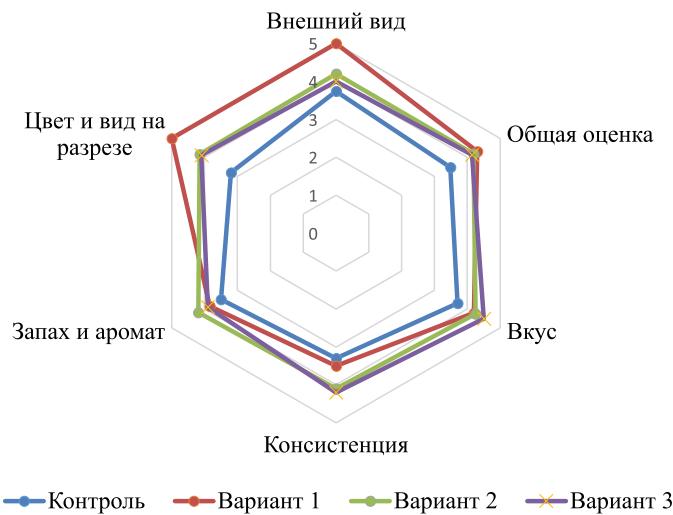
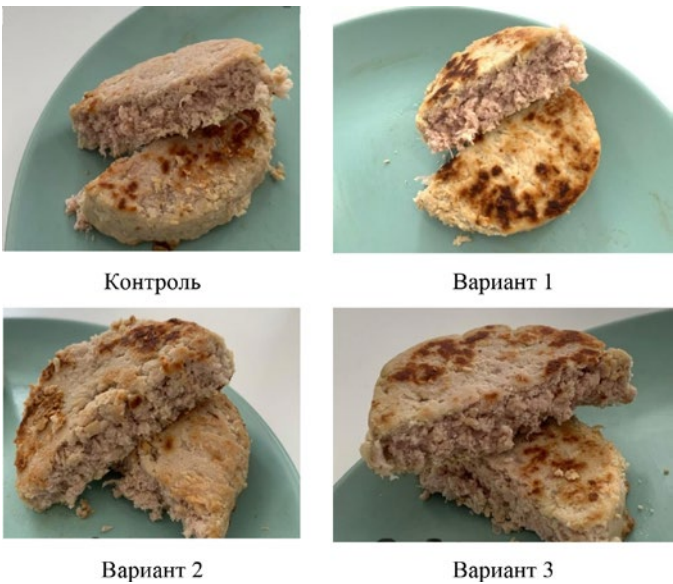


Рисунок 3
Фото исследуемых образцов полуфабрикатов из индейки с экстрактом проростков амаранта

Figure 3
Studied samples of Semi-Finished Turkey Products with Amaranth Sprout Extract



гаммы. Результаты определения пищевой и энергетической ценности, рассчитанные по уравнению (1) представлены в Таблице 3.

Таблица 3
Пищевая и энергетическая ценность полуфабрикатов из индейки с экстрактом проростков амаранта
Table 3
Nutritional and Energy Value of Semi-Finished Turkey Products with Amaranth Sprout Extract

Наименование показателей	Контроль	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Белок, г	21,64	21,68	21,76	21,79
Жир, г	5,64	5,66	5,68	5,69
Углеводы, г	0,13	0,32	0,51	0,69
Энергетическая ценность, ккал	138	139	140	142

Из таблицы видно, что включение экстракта проростков амаранта в состав полуфабрикатов оказывает минимальное воздействие на количество белков и липидов, но повышает содержание углеводов и энергетическую ценность. Результаты определения индукционного периода на приборе Oxitest представлены в Таблице 4.

Таблица 4
Результаты определения индукционного периода полуфабрикатов из индейки с экстрактом проростков амаранта
Table 4
Results of Determining the Induction Period of Semi-Finished Turkey Products with Amaranth Sprout Extract

Наименование образцов	Индукционный период
Контроль	44 мин
Вариант 1	47 мин
Вариант 2	50 мин
Вариант 3	52 мин

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что увеличение содержания в продукте экстракта проростков амаранта приводит к увеличению продолжительности индукционного периода, т. е. к повышению устойчивости к окислению с течением времени, особенно значительно (на 18 %) при добавлении в рецептуру 3 % экстракта. Полученные результаты подтверждают проявление выраженной антиоксидантной активности экстракта проростков амаранта при воздействии повышенных температур.

Результаты определения перекисного числа фарша для полуфабрикатов из индейки с экстрактом проростков амаранта на третий день хранения представлены в Таблице 5.

Таблица 5
Показатели перекисного числа образцов фарша из бедра индейки с экстрактом проростков амаранта на третий день хранения
Table 5
Peroxide Values of Minced Turkey Thigh Samples with Amaranth Sprout Extract on the Third Day of Storage

Номер образца	Содержание экстракта проростков амаранта, %	Перекисное число, мг I ₂ /100 г
Контроль	0	0,053
Вариант 1	1	0,018
Вариант 2	2	0,015
Вариант 3	3	0,011

Из данных таблицы видно, что добавление экстракта проростков амаранта приводит к значительному снижению (в 3–5 раз) перекисного числа, причем чем выше содержание экстракта в фарше, тем ниже значение перекисного числа.

Результаты микробиологического исследования фарша для полуфабрикатов из индейки с экстрактом проростков амаранта на седьмой день хранения представлены в Таблице 6. Экспериментальные данные доказывают, что добавление экстракта проростков амаранта проявляет выраженное деконтаминирующее действие, существенно снижая общую микробную обсемененность (КМАФАнМ), а готовые продукты соответствуют требованиям качества и безопасности.

Таблица 6
Результаты микробиологического исследования фарша для полуфабрикатов из индейки с экстрактом проростков амаранта на седьмой день хранения
Table 6
Results of Microbiological Testing of Minced Turkey for Semi-Finished Products with Amaranth Sprout Extract on the Seventh Day of Storage

Номер образца	КМАФАнМ, КОЕ (допустимое значение не более 1 · 10 ³)	БГКП (не допускается)	Патогенные микроорганизмы, в т. ч. сальмонеллы (не допускается)
Контроль	2,4 · 10 ²	не обнаружено	не обнаружено
Вариант 1	2,0 · 10 ²	не обнаружено	не обнаружено
Вариант 2	1,3 · 10 ²	не обнаружено	не обнаружено
Вариант 3	1,0 · 10 ²	не обнаружено	не обнаружено

Проведенные исследования показали целесообразность использования экстрактов проростков растений для обработки фарша с целью сохранения его качества и безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты, полученные в ходе выполнения исследования, являются обоснованием перспективности применения экстракта проростков амаранта для получения новых обогащенных полуфабрикатов из мяса индейки. Присутствие экстракта проростков амаранта в составе продуктов придает им антиоксидантную активность, замедляя окислительные изменения и продлевая сроки хранения; обогащает продукты скваленом, но при этом не вызывает негативного влияния на структуру и текстуру продуктов, сохраняя требуемые физико-химические характеристики и положительные органолептические свойства мясных изделий.

Таким образом, добавление экстракта проростков амаранта в рецептуру мясных полуфабрикатов целесообразно и экономически оправдано, так как позволяет производить качественную продукцию с длительным сроком реализации и дополнительными преимуществами для здоровья потребителя. Результаты исследования открывают широкие перспективы для дальнейшего промышленного применения экстракта проростков амаранта в мясопереработке, создавая основу для выпуска конкурентоспособных продуктов, соответствующих современным требованиям здорового питания.

ВКЛАД АВТОРОВ

Ипатов Д. Е.: разработка концепции; проведение исследования; визуализация; написание черновика рукописи.

Данильчук Т. Н.: разработка концепции; научное руководство; написание рукописи: рецензирование и редактирование.

AUTHORS CONTRIBUTION STATEMENT

Dmitry E. Ipatov: conceptualization; investigation; visualization; writing – original draft.

Tatiana N. Danilchuk: conceptualization; supervision; writing – review & editing.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность директору Экспериментально-производственного центра биологических экстрактов Российского биотехнологического университета (РОСБИОТЕХ) С. Э. Белкину за участие в разработке концепции научного исследования и за предоставление образцов экстракта проростков амаранта.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to Belkin S.E., the director of the Experimental and Production Center for Biological Extracts of the Russian Biotechnology University (BIOTECH University), for his contribution in the conceptualization of the study and for the provision of the amaranth sprout extract samples.

ЛИТЕРАТУРА

- Бойцова, Ю. С., & Аленин, И. П. (2020). Анализ рынка и маркетинговых возможностей в начале становления функционального питания в Европе. Вестник Алтайской академии экономики и прав, (5(1)), 19–26. <https://doi.org/10.17513/vaael.1108>
- Высотчина, Г. И. (2013). Амарант (*Amaranthus l.*): химический состав и перспективы использования (обзор). Химия растительного сырья, (2), 5–14. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1302005>
- Голубкина, Н. А., Кекина, Е. Г., Молчанова, А. В., Антошкина, М. С., Надежкин, С. М., Солдатенко, А. И. (2020). Антиоксиданты растений и методы их определения: монография. ИНФРА-М. <https://doi.org/10.12737/1045420>
- Гончарова, Ю. К., Гончаров, С. В., Харитонов, Е. М., Фотев Ю. В., Симонова В. В., & Очкас Н. А. (2024). Антиоксиданты растительного происхождения и их нетрадиционные источники (обзор). Сельскохозяйственная биология, (59), 39–53. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.39rus>
- Данильчук, Т. Н., Ефремова, Ю. Г., & Корыстина, И. В. (2020). Напитки на основе молочной сыворотки и сублиматов проростков растений. Хранение и переработка сельхозсырья, (3), 69–81. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.305>

- Иванова, М. И., Кашлева, А. И., Михайлов, В. В., & Разин О. А. (2016). Инновационная специфическая продукция: органические ростки и сеянцы. *Овощи России*, (1), 29–33. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-1-29-33>
- Исмаилова, Н. Н. к. (2023). Сквален — лекарственный компонент амаранта. *Журнал химии товаров и народной медицины*, (4(2)), 128–145. <https://doi.org/10.55475/jcgtm/vol2.iss4.2023.217> .
- Кольтюгина, О. В. (2011). Использование семян амаранта в молочных продуктах. *Ползуновский вестник. Раздел 2. Технологии производства и аппаратурное оформление новых пищевых продуктов*, (3/2), 163–166.
- Кононков, П. Ф. (2011). Амарант — ценная овощная и кормовая культура многопланового использования. *Аграрный вестник Урала*, (4 (83)), 63–64.
- Кутенков, Р. П., Андрющенко, С. А., & Васильченко, М. Я. (2009). Прогнозы обеспечения населения России отечественной мясомолочной продукцией до 2030 г. *Проблемы прогнозирования*, (5), 75–84.
- Молибога, Е. А., Сухостав, Е. В., Козлова, О. А., & Зинич, А. В. (2022). Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект. *Техника и технология пищевых производств*, (4(52)), 775–786. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>
- Мячникова, Н. И., Сорокопудов, В. Н., Биньковская, О. В., & Думачева, Е. В. (2012). Пророщенные семена как источник пищевых и биологически активных веществ для организма человека. *Современные проблемы науки и образования*, (5).
- Никитин, В. В., Титов, Е. И., & Литвинова, Е. В. (2020). О возможности использования продуктов переработки амаранта в мясных системах. *Health, Food & Biotechnology*, (2(3)), 67–77. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i3.s93>
- Росляков, Ю. Ф., Шмалько, Н. А., & Бочкова, Л. К. (2004). Перспективы использования амаранта в пищевой индустрии. *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки*, (4), 92–95.
- Ружило, Н. С. (2023). Применение измельченного зерна амаранта в производстве мясопродуктов. *Вестник КрасГАУ*, (9), 192–198. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-9-192-198>
- Точеный, Г. М. (2018). Система государственного регулирования обеспечения населения России мясом и мясопродуктами. *Вестник Российской таможенной академии*, (1), 154–161.
- Jan, N., Hussain, S. Z., Naseer, B., & Bhat, T. A. (2023). Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals: A review of anti-nutritional factors, health benefits and their applications in food, medicinal and cosmetic sectors. *Food Chemistry*, (18), Article 100687. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100687>
- Manish, K., Vinay, P., Ashwini, K. N., Brajesh, K. S., Manoj K. S., & Jalaj K. G. (2021). Plants as a source of potential antioxidants and their effective nanoformulations. *Journal of Scientific Research*, (65(3)), 57–72. <https://doi.org/10.37398/JSR.2021.650308>
- Subramanian, D., & Gupta, S. (2016). Pharmacokinetic study of amaranth extract in healthy humans: A randomized trial. *Nutrition*, (32 (7–8)), 748–753. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2015.12.041>

REFERENCES

- Boitsova, Yu. S., & Alenin, I. P. (2020). Analysis of the market and marketing opportunities at the beginning of the development of functional nutrition in Europe. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava*, (5(1)), 19–26. <https://doi.org/10.17513/vaael.1108> (In Russ.)
- Danilchuk, T. N., Efremova Yu. G., & Korystina I. V. (2020). Beverages based on milk whey and freeze-dried plant sprouts. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 69–81. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.305> (In Russ.)
- Golubkina, N. A., Kekina, E. G., Molchanova, A. V., Antoshkina, M. S., Nadezhkin, S. M., Soldatenko, A. I. (2020). Plant Antioxidants and Methods of Their Determination: A Monograph. Moscow, INFRA-M, 181 p. <https://doi.org/10.12737/1045420> (In Russ.)
- Goncharova, Yu. K., Goncharov, S.V., Kharitonov, E.M., Fotev, Yu. V., Simonova, V. V., & Ochkas, N. A. (2024). Antioxidants of plant origin and their non-traditional sources (review). *Agricultural Biology*, (59), 39–53. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.39rus> (In Russ.)
- Ivanova, M. I., Kashleva, A. I., Mikhailov, V. V., & Razin, O. A. (2016). Innovative specific products: organic sprouts and seedlings. *Vegetable Crops of Russia*, (1), 29–33. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2016-1-29-33> (In Russ.)

- Ismailova, N. N. k. (2023). Squalene is a medicinal component of amaranth. *Journal of Chemistry of Goods and Traditional Medicine*, (4(2)), 128–145. <https://doi.org/10.55475/jcgtm/vol2.iss4.2023.217> (In Russ.)
- Jan, N., Hussain, S. Z., Naseer, B., & Bhat, T. A. (2023). Amaranth and quinoa as potential nutraceuticals: A review of anti-nutritional factors, health benefits and their applications in food, medicinal and cosmetic sectors. *Food Chemistry*, (18), Article 100687. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100687>
- Koltyugina, O. V. (2011). Use of amaranth seeds in dairy products. *Polzunovsky Vestnik. Section 2. Technologies of Production and Hardware Design of New Food Products*, (3/2). (In Russ.)
- Kononkov, P. F. (2011). Amaranth is a valuable vegetable and fodder crop with multiple uses. *Agrarian Bulletin of the Urals*, (4 (83)), 63–64.
- Kutenkov, R. P., Andryushchenko, S. A., & Vasilchenko, M. Ya. (2009). Forecasts of Russian population's supply with domestic meat and dairy products until 2030. *Problemy Prognozirovaniya*, (5), 75–84. (In Russ.)
- Manish, K., Vinay, P., Ashwini, K. N., Brajesh, K. S., Manoj K. S., & Jalaj K. G. (2021). Plants as a source of potential antioxidants and their effective nanoformulations. *Journal of Scientific Research*, (65(3)), 57–72. <https://doi.org/10.37398/JSR.2021.650308>
- Moliboga, E. A., Sukhostav, E. V., Kozlova, O. A., & Zinich, A. V. (2022). Analysis of the Functional Nutrition Market: Russian and International Aspects. *Food Processing: Techniques and Technology*, (4 (52)), 775–786. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405> (In Russ.)
- Myachnikova, N. I., Sorokopudov, V. N., Binkovskaya, O. V., & Dumacheva E. V. (2012). Sprouted seeds as a source of food and biologically active substances for the human body. *Modern Problems of Science and Education*, (5). (In Russ.)
- Nikitin, V. V., Titov, E. I., & Litvinova, E. V. (2020). On the possibility of using amaranth processing products in meat systems. *Health, Food & Biotechnology*, 2(3), 67–77. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i3.s93> (In Russ.)
- Roslyakov, Yu. F., Shmalko, N. A., & Bochkova, L. K. (2004). Prospects for the use of amaranth in the food industry. *Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences*, (4), 92–95. (In Russ.)
- Ruzhilo, N. S. (2023). Application of crushed amaranth grain in the production of meat products. *Vestnik KrasGAU*, (9), 192–198. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-9-192-198> (In Russ.)
- Subramanian, D., & Gupta, S. (2016). Pharmacokinetic study of amaranth extract in healthy humans: A randomized trial. *Nutrition*, (32 (7–8)), 748–753. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2015.12.041>
- Tocheny, G. M. (2018). The system of state regulation of providing the Russian population with meat and meat products. *Bulletin of the Russian Customs Academy*, (1), 154–161. (In Russ.)
- Vysotchina, G.I. (2013). Amaranth (*Amaranthus l.*): chemical composition and prospects of use (review). *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*, (2), 5–14. <https://doi.org/10.14258/jcprm.1302005> (In Russ.)