



FOOD METAENGINEERING

Пищевая Метаинженерия

Volume 1 | Issue 1 | 2023



■ FOOD METAENGINEERING

Научный рецензируемый журнал
No 1 | 2023
Периодичность издания — 4 номера в год
Основан в 2023 г.

■ Учредитель:

Федеральное государственное автономное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности» (ФГАНУ «ВНИМИ»)

■ Главный редактор

Галстян Арам Генрихович — доктор технических наук, академик РАН, профессор РАН, директор Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (Москва, Россия)

■ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Заведующий редакцией журнала, академический редактор

Тихонова Елена Викторовна — кандидат исторических наук, доцент, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (Москва, Россия)

Ответственный секретарь

Рябова Анастасия Евгеньевна — кандидат технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (Москва, Россия)

Редактор по этике

Косычева Марина Александровна — доцент, кандидат филологических наук, доцент Российского биотехнологического университета (Москва, Россия)

- Рецензируемый научный журнал FOOD METAENGINEERING («ПИЩЕВАЯ МЕТАИНЖЕНЕРИЯ») зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 13 марта 2023 года (Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-84878 — сетевое издание).

■ Адрес:

115093, г. Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7, к. 406
Тел. +7 (499) 236-32-23
E-mail: fme@vnimi.org
Официальный сайт учредителя: vnimi.org
Официальный сайт редакции: fme-journal.org
Дата публикации: 05.07.2023

© ФГАНУ «ВНИМИ», 2023

■ FOOD METAENGINEERING

Scientific peer-reviewed journal
No 1 | 2023
Periodicity of publication — 4 issues per year
Published since 2023

■ Founder:

All-Russian Dairy Research Institute (VNIMI)

■ Editor-in-Chief

Aram G. Galstyan — Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, Professor of the Russian Academy of Sciences, Director of All-Russian Dairy Research Institute (Moscow, Russia)

■ EDITORIAL OFFICE

Head of the Editorial Team, Academic Editor

Elena V. Tikhonova — Cand. Sci. (History), Assistant professor, All-Russian Dairy Research Institute (Moscow, Russia)

Executive Secretary

Anastasiia Riabova — Cand. Sci. (Engineering), All-Russian Dairy Research Institute (Moscow, Russia)

Editor by Ethics

Marina A. Kosycheva — Cand. Sci. (Philology), Assistant professor, Russian Biotechnological University (BIOTECH University), (Moscow, Russia)

- 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 FS77-84878 dated March 13, 2023.

■ Address:

406 room, 35/7, Lyusinovskaya st., Moscow, Russian Federation, 115093
Tel. +7 (499) 236-32-23
E-mail: fme@vnimi.org
Official web site of Founder: vnimi.org
Official web site of the Editorial Office: fme-journal.org
Published: 05.07.2023

© VNIMI, 2023

- **Бабич Ольга Олеговна** —
доцент, доктор технических наук, директор Научно-образовательного центра «Промышленные биотехнологии» Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта» (Калининград, Россия)
- **Багиров Вугар Алинияз оглы** —
член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Москва, Россия)
- **Будрик Владислав Глебович** —
кандидат технических наук, директор Всероссийского научно-исследовательского института птицеперерабатывающей промышленности – филиала Всероссийского научно-исследовательского и технологического института птицеводства РАН (Ржавки, Россия)
- **Донник Ирина Михайловна** —
академик РАН, профессор, доктор биологических наук, помощник президента НИЦ «Курчатовский институт» (Москва, Россия)
- **Евдокимов Иван Алексеевич** —
член-корреспондент РАН, профессор, доктор технических наук, заведующий базовой кафедрой технологии молока и молочных продуктов Северо-Кавказского федерального университета (Ставрополь, Россия)
- **Линденбек Марио** —
доктор сельскохозяйственных наук, Business consulting Lindenbeck (Берлин, Германия)
- **Лобачевский Яков Петрович** —
академик РАН, профессор, доктор технических наук, первый заместитель директора Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (Москва, Россия)
- **Мартиросян Владимир Викторович** — профессор РАН, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе Научно-исследовательского института хлебопекарной промышленности (Москва, Россия)
- **Мельникова Елена Ивановна** — профессор, доктор технических наук, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения Воронежского государственного университета инженерных технологий (Воронеж, Россия)
- **Петров Андрей Николаевич** —
академик РАН, доктор технических наук, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (Москва, Россия)
- **Просеков Александр Юрьевич** —
член-корреспондент РАН, профессор РАН, профессор, доктор технических наук, доктор биологических наук, ректор Кемеровского государственного университета (Кемерово, Россия)
- **Семипятный Владислав Константинович** — доктор технических наук, старший научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (Москва, Россия)
- **Серба Елена Михайловна** —
член-корреспондент РАН, профессор РАН, доцент, доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе Всероссийского научно-исследовательского института пищевой биотехнологии филиала Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи (Москва, Россия)
- **Сложенкина Марина Ивановна** —
член-корреспондент РАН, профессор РАН, профессор, доктор биологических наук, директор Поволжского научно-исследовательского института производства и переработки мясомолочной продукции (Волгоград, Россия)
- **Федотова Ольга Борисовна** —
старший научный сотрудник, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник/ученый секретарь Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (Москва, Россия)
- **Чернуха Ирина Михайловна** —
академик РАН, профессор, доктор технических наук, руководитель отдела координации международных и инициативных проектов Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН (Москва, Россия)

- **Olga O. Babich** —
Associate Professor, Doctor of Engineering, Director of the Scientific and Educational Center «Industrial Biotechnologies», Immanuel Kant Baltic Federal University (Kaliningrad, Russia)
- **Vugar A. Bagirov** —
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Director of the Department for Coordinating the Activities of Organizations in the Field of Agricultural Sciences, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Moscow, Russia)
- **Vladislav G. Budrik** —
Cand. Sci. (Engineering), Director of the All-Russian Research Institute of the Poultry Processing Industry, All-Russian Research and Technological Institute of Poultry Farming of the Russian Academy of Sciences (Rzhavki, Russia)
- **Irina M. Donnik** —
Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Biological Sciences, presidential aide, National Research Center «Kurchatov Institute» (Moscow, Russia)
- **Ivan A. Evdokimov** —
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Engineering, Head of the Basic Department of Technology of Milk and Dairy Products, North Caucasian Federal University (Stavropol, Russia)
- **Mario Lindenbeck** —
Doctor of Agricultural Sciences, Business Consulting Lindenbeck (Berlin, Germany)
- **Yakov P. Lobachevsky** —
Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Engineering, First Deputy Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Moscow, Russia)
- **Vladimir V. Martirosyan** —
Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, Deputy Director for Research, Scientific Research Institute of the Baking Industry (Moscow, Russia)
- **Elena I. Melnikova** —
Professor, Doctor of Engineering, Professor of the Department of Technology of Animal Origin Products, Voronezh State University of Engineering Technologies (Voronezh, Russia)
- **Andrey N. Petrov** —
Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering, Chief Researcher, All-Russian Dairy Research Institute (Moscow, Russia)
- **Alexander Yu. Prosekov** —
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Engineering, Doctor of Biological Sciences, Rector of Kemerovo State University (Kemerovo, Russia)
- **Vladislav K. Semipyatny** —
Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, All-Russian Dairy Research Institute (Moscow, Russia)
- **Elena M. Serba** —
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Associate Professor, Doctor of Biological Sciences, Deputy Director for Research, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety (Moscow, Russia)
- **Marina I. Slozhenkina** —
Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Biological Sciences, Director of the Volga Research Institute for the Production and Processing of Meat and Dairy Products (Volograd, Russia)
- **Olga B. Fedotova** —
Senior Researcher, Doctor of Engineering, Leading Researcher / Scientific Secretary, All-Russian Dairy Research Institute (Moscow, Russia)
- **Irina M. Chernukha** —
Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Doctor of Engineering, Head of the Department for Coordinating International and Initiative Projects, Federal Scientific Center for Food Systems named after V. M. Gorbатов, Russian Academy of Science (Moscow, Russia)

РЕДАКТОРСКАЯ СТАТЬЯ

А.Г. Галстян

Вместо предисловия..... 7

ОРИГИНАЛЬНОЕ ЭМПИРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

В.А. Ермолаев

Исследование влияния низкотемпературного воздействия на активность воды пищевых продуктов..... 9

А.Г. Гришин, Д.В. Карпенко, В.А. Карагод

Влияние продолжительности волновой обработки на развитие дрожжевых популяций.....18

ОРИГИНАЛЬНОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

Способ персонализации питания с учетом генетически детерминированных факторов27

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

М.Н. Стрижко

Антинутриенты в растительных напитках на зерновом сырье:
обзор предметного поля.....63

Е.Г. Лазарева, О.Ю. Фоменко

Идентификация Bovine leukemia virus (BLV) в молоке: обзор предметного поля.....90

EDITORIAL

A.Г. Галстян

Вместо предисловия.....	7
-------------------------	---

ORIGINAL EMPIRICAL RESEARCH

V.A. Ermolaev

Investigation of the Low-temperature Exposure Effect on the Water Activity of Food Products	9
---	---

A.G. Grishin, D.V. Karpenko, V.A. Karagod

The Impact of the Duration of Wave Treatment on the Development of Yeast Populations	18
--	----

ORIGINAL THEORETICAL RESEARCH

V.V. Litvyak, V.V. Shylau, L.B. Kuzina, Yu.F. Roslyakov

Method for Nutrition Personalization According to Genetically Determinated Factors.....	27
---	----

REVIEW

M.N. Strizhko

Antinutrients in Grain-Based Plant Drinks: Scoping Review	63
---	----

E.G. Lazareva, O.Yu. Fomenko

Identification of Bovine Leukemia Virus (BLV) in Milk: Scoping Review	90
---	----

Ты находишься там, где твои мысли.

Убедись, что твои мысли там, где ты хочешь быть.

Омар Хайям

Вместо предисловия

Уважаемые авторы и читатели!

Дорогие друзья!

Перед Вами первый номер журнала «FOOD METAENGINEERING» («ПИЩЕВАЯ МЕТАИНЖЕНЕРИЯ»), учрежденный Федеральным государственным автономным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности». Это первый журнал в истории нашего института, до недавнего времени успешно занимающегося исключительно научными исследованиями в области переработки молока. Однако мировые тенденции, в частности изменения традиционных технологических, методологических и технических подходов переработки сельскохозяйственного сырья, предполагающие новые форматы производства, опосредованные изменения в культуре потребления пищевых продуктов, современные принципы работы логистики и ритейла, а также иные элементы всемирного процесса глобализации, существенно видоизменили область научных исследований, внося множество элементов междисциплинарных решений. Это стало отправной точкой для формирования институтом ряда площадок для внутреннего и международного информационного обмена и, в том числе создания независимого научного издания. От идеи, озвученной на Ученом совете еще в феврале 2020 года, до её воплощения в марте 2023 года произошло много разных событий, объективно приведших к отсрочке выпуска журнала. Но как бы то ни было — журнал зарегистрирован и начал свой путь в информационном пространстве.

Следуя известному изречению «как корабль назовешь, так он и поплывет», журнал нацелен на область знаний Food Science с выраженным приоритетом перспективных образов этого направления в будущем. Поэтому его название содержит два базовых понятия — пища и инженерия. А приставка мета лингвистически интерпретирована как постоянная переменная состояния во времени или эволюцию развития, а на логико-понятийном уровне подразумевает опосредованную интеграцию множества современных решений в технологии на границе перехода настоящее — будущее.

Именно прогностические модели будущего, соотнесенные с приоритетными направлениями исследований, априори могут обеспечить лидирующие позиции страны в мировом масштабе. При этом развитие по принципу масштабирования традиционных технологий изначально утопично. Конечно же не следует отрицать локальные решения, но они или должны быть трансформированы во времени в глобальные ценности, или же будут обречены на стагнационное развитие, поскольку эффективное развитие любого направления деятельности человека невозможно вне анализа, прогноза и интеграции в принятые мировые форматы. Сегодня априори без приме-

нения совокупности технологических, методологических и технических наукоемких решений невозможно прогнозировать эффективное развитие пищевой науки и, как следствие, стратегическое развитие страны.

Соотнося ситуацию в мире с нашими возможностями и компетенциями, а также декларируя принцип «наука без границ», журнал «FOOD METAENGINEERING» («ПИЩЕВАЯ МЕТАИНЖЕНЕРИЯ») позиционируется как международная платформа для публикаций результатов современных фундаментальных и прикладных исследований. Соответственно, основная декларируемая функция журнала — формирование некой альтернативной формы «песочницы» научных проектов для эффективного и результативного информационного обмена между учеными и/или специалистами пищевых производств. Для ее функционирования разработаны оригинальные алгоритмы отбора материала, анализа его наукоёмкости и оценки практической значимости, в том числе с применением технологий искусственного интеллекта.

Уважаемые коллеги, мы надеемся, что наш журнал займет достойное место в плеяде изданий инженерного профиля и будет включен в отечественные и международные базы данных рецензируемой научной литературы в разумно кратчайшие сроки. Приглашаем Вас принять участие в становлении нового качественного инструмента научной коммуникации!

Главный редактор

Арам Генрихович Галстян,
доктор технических наук, академик РАН

Исследование влияния низкотемпературного воздействия на активность воды пищевых продуктов

В.А. Ермолаев

Кузбасская государственная
сельскохозяйственная академия,
г. Кемерово, Россия

Корреспонденция:

Ермолаев Владимир
Александрович,
Кузбасская государственная
сельскохозяйственная академия,
650056, г. Кемерово,
ул. Марковцева, д. 5, Российская
Федерация
E-mail: ermolaevla@rambler.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 05.01.2023

Принята: 05.03.2023

Опубликована: 31.03.2023

Copyright: © 2023 Автор

АННОТАЦИЯ

Введение: Активность воды является интегральной характеристикой состояния влаги в продукте, по которой можно оценивать правильность протекания тех или иных технологических процессов, а также прогнозировать сроки хранения продукта. Существующие исследования активности воды в пищевых продуктах проводились по большей части для положительного температурного диапазона. Исследованиям влияния низкотемпературного воздействия на активность воды уделялось мало внимания.

Цель: Статья посвящена исследованию активности воды в пищевых продуктах при различной температуре. Подобный подход позволит прогнозировать сроки хранения пищевых продуктов, а также оптимизирует разработку методов контроля функционально-технологических характеристик пищевого сырья.

Материалы и методы: В качестве объектов исследований выступали: говядина охлажденная согласно ГОСТ Р 52427-2005, свинина охлажденная, баранина охлажденная, огурцы свежие, морковь свежая, томаты свежие, зелень петрушки свежей, зелень укропа, зелень лука зеленого. Для анализа активности воды в объектах исследования использовались две установки: спроектированная в Кузбасской государственной сельскохозяйственной академии и анализатор активности воды LabSwift-aw. Опыты проводили для свежих, охлажденных и замороженных продуктов при различной температуре.

Результаты: Представлена конструкция установки, которая может использоваться для измерения активности воды. Опытным путем доказана точность измерения данной установки. Активность воды свежих продуктов находилась в пределах 0,954–0,995. Обнаружено, что при одном и том же содержании влаги активность воды может несколько различаться, что обусловлено различием в химическом составе продукта и содержании солей. На основании опытных данных выведены математические зависимости активности воды от температуры замораживания для всех исследуемых продуктов.

Выводы: Полученные результаты могут быть полезны при прогнозировании сроков хранения пищевых продуктов и разработки методов контроля функционально-технологических характеристик пищевого сырья.

Ключевые слова: замораживание, активность воды, пищевые продукты, установка



Investigation of the Low-Temperature Exposure Effect on the Water Activity of Food Products

V.A. Ermolaev

Kuzbass State Agricultural
Academy, Kemerovo, Russia

ABSTRACT

Introduction: The activity of water is an integral characteristic of the moisture condition in a product, by which one can assess the correctness of various technological processes, as well as predict the shelf life of the product. Existing studies on the activity of water in food products were conducted mostly for the positive temperature range. Little attention was paid to the study of the effects of low-temperature exposure on water activity.

Purpose: The article is devoted to the study of water activity in food products at various temperatures. Such an approach will allow predicting the shelf life of food products and optimizing the development of methods for controlling the functional and technological characteristics of food raw materials.

Materials and Methods: The objects of research were: beef chilled according to GOST R 52427-2005, chilled pork, chilled mutton, fresh cucumbers, fresh carrots, fresh tomatoes, fresh parsley greens, dill greens, green onion greens. Two installations were used to analyze the water activity in the research objects: designed at the Kuzbass State Agricultural Academy, and the LabSwift-aw water activity analyzer. Experiments were conducted for fresh, chilled, and frozen products at various temperatures.

Results: A design of a homemade installation that can be used to measure water activity is presented. The accuracy of this installation's measurements is experimentally proven. An analysis of water activity in fresh, chilled, and frozen products has been conducted. The water activity of fresh products was within the range of 0.954–0.995. It was found that with the same moisture content, the water activity can vary slightly, which is due to the difference in the chemical composition of the product and the salt content. Based on experimental data, mathematical dependencies of water activity on the freezing temperature for all studied products were derived.

Conclusion: Water activity has important theoretical and practical significance, and the results of the research can be useful in predicting the shelf life of food products and developing methods to control the functional and technological characteristics of food raw materials.

Keywords: freezing, water activity, food, installation

Correspondence:

Ermolaev V. A.

Kuzbass State Agricultural Academy
5 Markovtsev ul., Kemerovo,
650056, Russian Federation
E-mail: ermolaevvia@rambler.ru

Conflict of interest:

The author report the absence of a conflict of interest.

Received: 05.01.2023

Accepted: 05.03.2023

Published: 31.03.2023

Copyright: © 2023 The Author



To cite: Ermolaev, V. A. (2023). Investigation of the low-temperature exposure effect on the water activity of food products. *FOOD METAENGINEERING*, 1(1), 9-17.
<https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.10>

ВВЕДЕНИЕ

Вода является важнейшим компонентом пищевого сырья, от которого зависят сроки годности и качество продукта. Одним из показателей воды является ее активность, которая характеризует связь влаги в продукте, она численно, равна отношению давления паров воды над данным материалом к давлению паров воды над чистой водой при одной и той же температуре (Танаков, 2021; Эрлихман, 2018). Многочисленными экспериментами было установлено, что активность воды влияет на биологические, физико-химические и микробиологические процессы, протекающие в пищевых продуктах (Макарова, 2018; Марков, 2020; Mathlouthi, 2001; Chen, 2019). В некоторых странах показатель «активность воды» является одним из обязательных при определении качества и безопасности продуктов (Сафонова, 2017; Plotnikova, 2021). Например, в США он включен в инструкцию по контролю качества пищевых продуктов (Plotnikova, 2021).

Активность воды является интегральной характеристикой состояния влаги в продукте, по которой можно оценивать правильность протекания тех или иных технологических процессов, а также прогнозировать сроки хранения продукта (Степаненко, 2020; Sandulachi, 2012; Yang, 2020; Остров, 2021). Величина активности воды показывает часть влаги, которая не связана химически с растворенными в ней веществами, то есть влагу, которая может быть вовлечена в различные процессы в пищевом сырье. При снижении активности воды замедляется жизнедеятельность микроорганизмов, вызывающих порчу продукта (Таблица 1) (Ермолаев, 2010).

Многими исследованиями авторами обоснована важность определения активности воды. Понимание того, почему одни продукты более стабильны, чем другие при одном и том же значении влагосодержания, требует изучения структуры воды и ее активности. Проводятся исследования активности тех или иных микроорганизмов при различных значениях влагосодержания (Morasi, 2022; Racchi, 2020), анализ влияния технологических режимов сушки на активность воды в пищевых продуктах (Tarafdar, 2018), совершенствуются сами методы измерения активности воды (Silva, 2018).

На активность воды влияет множество факторов: структура продукта и его химический состав, содержание влаги и ее фазовое состояние, а также температура и продолжительность хранения продукта. Исследования

Таблица 1

Пороговые значения активности воды для некоторых бактерий

Патоген	Пороговое значение активности воды
<i>Campylobacter jejuni</i>	0,99
<i>Shigella spp.</i>	0,96
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0,96
<i>Clostridium perfringens</i>	0,95
<i>Escherichia coli</i>	0,94
<i>Salmonella spp.</i>	0,94
<i>Clostridium botulinum</i>	0,94
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,92
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,86

Примечание: (Ермолаев, 2010).

нию активности воды продуктов уделяется недостаточно внимания. Например, недостаточно изучено влияние температуры и фазового состояния влаги на активность воды пищевых продуктов. Цель настоящего исследования — анализ влияния низкотемпературного воздействия на активность воды пищевых продуктов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

- (1) говядина охлажденная согласно ГОСТ Р 52427–2005 «Промышленность мясная. Продукты пищевые»;
- (2) свинина охлажденная согласно ГОСТ Р 314706–2012 «Свинина мясная охлажденная»;
- (3) баранина охлажденная согласно ГОСТ 32605–2013 «Баранина. Туши и отрубы»;
- (4) морковь свежая согласно ГОСТ 32284–2013 «Морковь столовая свежая, реализуемая в розничной торговой сети. Технические условия»;
- (5) перец болгарский зеленый согласно ГОСТ 34325–2017 «Перец сладкий свежий. Технические условия»;
- (6) томаты свежие согласно ГОСТ 34298–2017 «Томаты свежие. Технические условия»;
- (7) зелень петрушки свежей согласно ГОСТ 34212–2017 «Петрушка свежая. Технические условия»;
- (8) зелень укропа свежего согласно ГОСТ 32856–2014 «Укроп свежий. Технические условия»;
- (9) зелень лука зеленого согласно ГОСТ 34214–2017 «Лук свежий зеленый. Технические условия».

Оборудование и процедура исследования

Для анализа активности воды в объектах исследования использовались две установки. Схема первой установки, спроектированной в Кузбасской государственной сельскохозяйственной академии, представлена на Рисунке 1.

Установка работает следующим образом. Исследуемый материал помещается в верхний лоток 5, который после закрытия крышки камеры 4 поднимают (Рисунок 1а). Далее включают вентилятор 2 и воздух начинает циркулировать по замкнутой системе, начинается работа установки в режиме осушения. При этом в камере воздух не входит в контакт с исследуемым материалом, но соприкасается с поверхностью сорбента (силикагеля), размещенного в нижней лотке 8 и таким образом осушается.

После осушения воздуха, не открывая крышку камеры, лоток с продуктом перемещают вниз (Рисунок 1б) и установка начинает работать в режиме измерения. При этом нижний лоток отсекается от циркулируемого воздуха, который в данном случае входит в контакт с исследуемым материалом. Воздух поглощает влагу с поверхности продукта. На входе и выходе воздуха из камеры установлены датчики 7 измерителя влажности 1. Увлажнение воздуха происходит до тех пор, пока разность показаний датчиков влажности на входе и выходе не будет соизмерима с величиной погрешности измерительного прибора, что свидетельствует об установлении равновесной относительной влажности воздуха. После

Рисунок 2

Анализатор активности воды LabSwift-aw



этого измерение прекращают, а активность воды a_w определяют по следующей формуле (Эрлихман, 2018):

$$a_w = P_w / P_0 = W_p / 100, \quad (1)$$

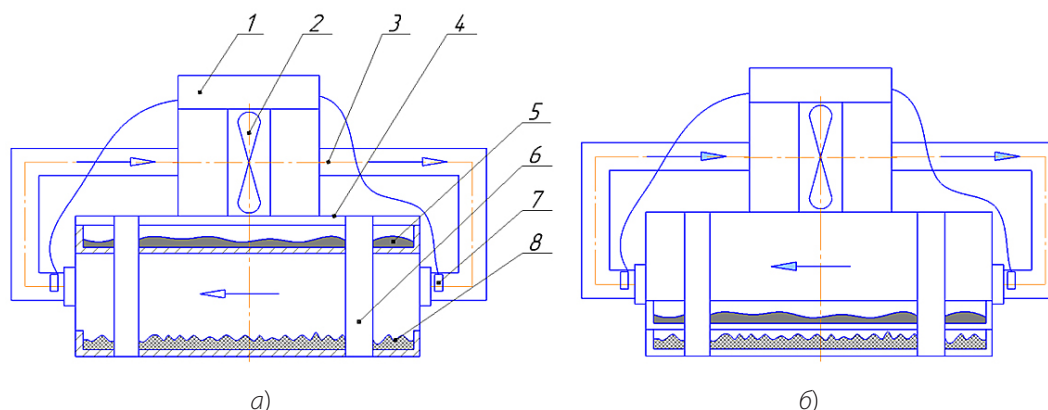
где P_w — давление водяного пара в пограничном слое над продуктом; P_0 — давление водяного пара над чистой водой; W_p — равновесная относительная влажность, %.

Фотография второй установки, которая использовалась для измерения активности воды в объектах исследования, LabSwift-aw представлена на Рисунке 2.

Охлаждение и замораживание продуктов производили в холодильных и морозильных ларях, выставленных

Рисунок 1

Схема установки для измерения показателя «активность воды» в режиме осушения (а) и измерения (б)



Примечание. 1 — измеритель влажности воздуха; 2 — вентилятор; 3 — воздухопровод; 4 — камера; 5 — лоток с исследуемым материалом; 6 — направляющие; 7 — датчики измерителя влажности; 8 — лоток с сорбентом (силикагелем)

на соответствующую температуру. Содержание влаги в продуктах определяли ускоренным методом высушивания на приборе Чижовой.

Процедура исследования

На первом этапе исследований анализировалось влагосодержание и активность воды в пищевых продуктах с использованием различных приборов. Далее проводили эксперименты по определению активности воды продуктов, охлажденных до температуры 6°C, а также замороженных до температур: -5°C, -10°C, -20°C, -30°C и -40°C. После этого были разработаны уравнения, описывающие зависимость активности воды от температуры замораживания.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Вначале был проведен анализ содержания влаги в объектах исследования и определено значение активности воды с использованием различных приборов — сконструированным (Рисунок 1) и с помощью прибора LabSwift-aw (Рисунок 2). Результаты приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Измерение содержания влаги и активности воды в свежих пищевых продуктах

Вид продукта	Содержание влаги, %	Активность воды, измеренная сконструированным прибором	Активность воды, измеренная прибором LabSwift-aw
Мясо			
Сырое мясо говядины	71,9	0,962	0,957
Сырое мясо свинины	74,5	0,971	0,976
Сырое мясо баранины	74,1	0,968	0,962
Овощи			
Огурцы свежие	94,8	0,994	0,993
Томаты свежие	94,2	0,995	0,994
Морковь свежая	88,2	0,989	0,995
Зелень			
Зелень петрушки	87,7	0,987	0,993
Зелень укропа	85,5	0,985	0,985
Зелень лука	92,0	0,992	0,990

Активность воды свежих продуктов находилась в пределах 0,962–0,995. Наибольшей активностью воды обладали продукты с наибольшим содержанием влаги — в данном случае овощи. Обнаружено, что при одном и том же содержании влаги активность воды может несколько различаться, что обусловлено различием в химическом составе продукта и содержании солей, которые связывают влагу. Представленные данные свидетельствуют о достаточно высокой точности сконструированного прибора — разность показаний между приборами не превышала 1 %. В дальнейших экспериментах использовался сконструированный прибор, представленный на Рисунке 1.

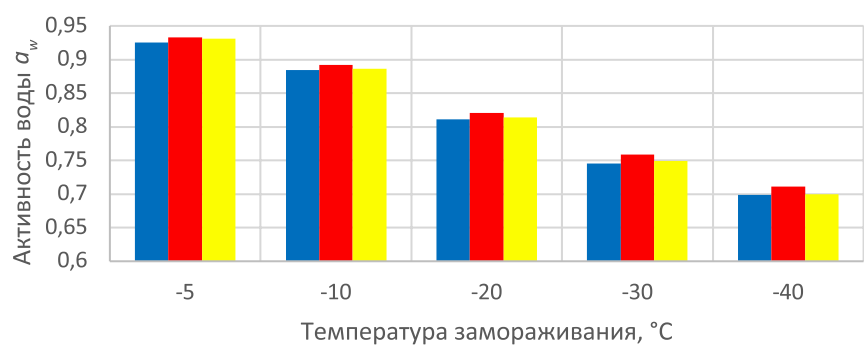
Далее проводили эксперименты по определению активности воды продуктов, охлажденных до температуры 6°C, а также замороженных до температур: -5°C, -10°C, -20°C, -30°C и -40°C. Результаты сведены в Таблице 3.

Установлено, что охлаждение продуктов с 22 до 6°C приводит к снижению активности воды в среднем на 2 %. Замораживание до температуры -5°C влечет за собой дальнейшее уменьшение активности воды в среднем на 0,03 ед. Снижение активности воды при замораживании обусловлено тем, что связанная вода в продуктах переходит в тканевые соки вследствие денатурации белков. Понижение температуры замораживания заметно влияет на активность воды, что обусловлено увеличением доли вымороженной влаги и снижением парциального давления над поверхностью продукта (Эрлихман, 2018). Понижение температуры замораживания с -5°C до -10°C, -20°C, -30°C и -40°C обуславливает уменьшение активности воды в среднем на 0,04; 0,07; 0,06 и 0,05 единиц соответственно.

Полученные результаты согласуются с проводимыми ранее исследованиями (Leugonie, 2012; Miyawaki, 2018), где также было доказано, что низкотемпературное воздействие снижает активность воды. Наблюдается нелинейная зависимость между температурой замораживания и активностью воды продуктов. Для разработки уравнений, описывающих зависимость активности воды от температуры замораживания было использовано программное обеспечение Microsoft Excel, позволяющее выводить уравнения регрессии по графикам. На Рисунке 3 приведены графики зависимости активности воды от температуры замораживания продуктов и соответствующее уравнение регрессии.

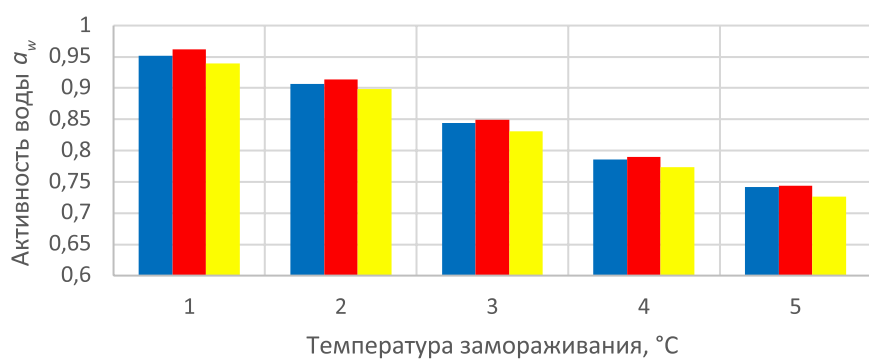
Рисунок 3

График зависимости активности воды продуктов от температуры замораживания



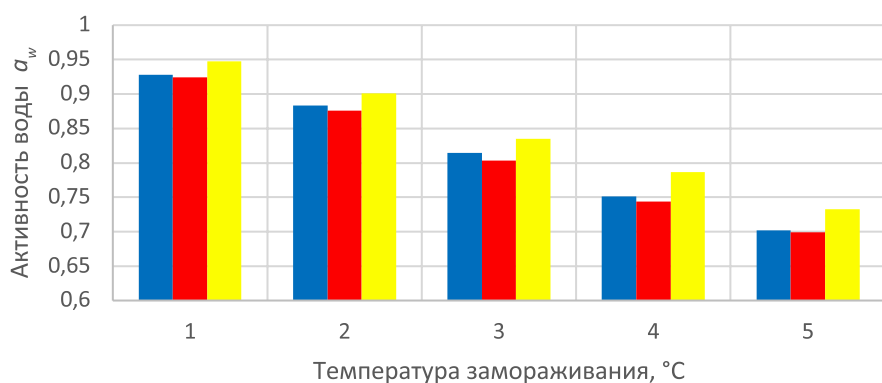
■ Сырое мясо говядины ■ Сырое мясо свинины ■ Сырое мясо баранины

Мясо



■ Огурцы свежие ■ Томаты свежие ■ Морковь свежая

Овощи



■ Зелень петрушки ■ Зелень укропа ■ Зелень лука

Зелень

Таблица 3

Измерение активности воды охлажденных и замороженных пищевых продуктов

Продукт	Активность воды					
	Охлажденные до $t = 6^{\circ}\text{C}$	Замороженные				
		$t = -5^{\circ}\text{C}$	$t = -10^{\circ}\text{C}$	$t = -20^{\circ}\text{C}$	$t = -30^{\circ}\text{C}$	$t = -40^{\circ}\text{C}$
Мясо						
Сырое мясо говядины	0,954	0,925	0,884	0,811	0,745	0,699
Сырое мясо свинины	0,962	0,933	0,892	0,821	0,759	0,711
Сырое мясо баранины	0,960	0,931	0,886	0,814	0,749	0,700
Овощи						
Огурцы свежие	0,976	0,952	0,907	0,844	0,786	0,742
Томаты свежие	0,985	0,962	0,914	0,849	0,790	0,744
Морковь свежая	0,961	0,939	0,898	0,831	0,773	0,726
Зелень						
Зелень петрушки	0,950	0,928	0,883	0,814	0,751	0,702
Зелень укропа	0,945	0,924	0,876	0,803	0,744	0,699
Зелень лука	0,970	0,947	0,901	0,835	0,787	0,733

Полученные уравнения регрессии для всех продуктов можно представить в общем виде:

$$a_w = a \cdot 10^{-5}t^2 + bt + c, \quad (2)$$

где a_w — активность воды; t — температура замораживания, $^{\circ}\text{C}$; a , b , c — эмпирические коэффициенты (Таблица 4).

Таблица 4

Эмпирические коэффициенты уравнения регрессии (2) для пищевых продуктов

Продукт	Эмпирические коэффициенты к формуле (2)		
	a	b	c
Мясо			
Сырое мясо говядины	6	0,0093	0,971
Сырое мясо свинины	6	0,009	0,976
Сырое мясо баранины	6	0,0094	0,975
Овощи			
Огурцы свежие	6	0,0087	0,992
Томаты свежие	7	0,0091	1,003
Морковь свежая	6	0,0086	0,98
Зелень			
Зелень петрушки	6	0,0091	0,971
Зелень укропа	8	0,01	0,97
Зелень лука	6	0,0084	0,984

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили полностью достигнуть поставленной цели по анализу влияния низкотемпературного воздействия на активность воды. В ходе работы была исследована активность воды в пищевых продуктах, находящихся в свежем, охлажденном и замороженном состоянии. Полученные результаты были ожидаемыми: замораживание и последующее понижение температуры замороженного продукта ведет к снижению активности воды. Выведены эмпирические зависимости активности воды от температуры замораживания. Ограничениями полученных результатов являются температурный диапазон, в котором проводилось исследование: $+6 \dots -40^{\circ}\text{C}$, а также виды пищевых продуктов, которые использовались в исследованиях.

Установлено, что разработанный прибор для измерения активности воды показывает достаточно высокую точность измерения и может использоваться в научных исследованиях. Активность воды имеет важное теоретическое и прикладное значение, а полученные результаты исследований могут быть полезны при прогнозировании сроков хранения пищевых продуктов и разработки методов контроля функционально-технологических характеристик пищевого сырья. Представленные результаты могут быть полезны работниками пищевой промышленности, технологам и научным сотрудникам, занимающимся исследованиями пищевых систем.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Ермолаев, В. А., Шушпанников, А. Б. (2010). Исследование показателя активности воды сухих молочных продуктов. *Техника и технология пищевых производств*, 2(17), 84–88.
- Yermolaev, V. A., & Shushpannikov, A. B. (2010). Study of the water activity index of dry dairy products. *Technique and Technology of Food Production*, 2(17), 84–88. (In Russ.)
- Макарова Г. В. (2018). Роль барьера «активность воды» в управлении безопасностью пищевых продуктов. *Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства*, 20, 224–227.
- Makarova, G. V. (2018). The role of the 'water activity' barrier in managing the safety of food products. *Current Issues in Improving the Technology of Production and Processing of Agricultural Products*, 20, 224–227. (In Russ.)
- Марков Ю. Ф. (2020). Показатель активности воды и его применение при оптимизации процесса холодного копчения рыбы. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, 4, 160–164.
- Markov, Y. F. (2020). The water activity index and its application in optimizing the process of cold smoking fish. *Technologies of Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex — Healthy Eating Products*, 4, 160–164. (In Russ.)
- Остров, Н. (2021). Прогнозирование сроков годности мясо-продуктов. Активность воды. *Мясной ряд*, 2(84), 48–49.
- Ostrov, N. (2021). Predicting the shelf life of meat products. Water activity. *Meat Row*, 2(84), 48–49. (In Russ.)
- Сафонова, Ю. А., Жаркова, И. М., Баринов, А. С. (2017). Влияние активности воды на свойства сырья при хранении. *Хлебопродукты*, 12, 52–55.
- Safonova, Y. A., Zharkova, I. M., Barinov, A. S. (2017). The influence of water activity on the properties of raw materials during storage. *Bread Products*, 12, 52–55. (In Russ.)
- Степаненко, Е. И., Нехамкин, Б. Л. (2017). Активность воды на страже качества рыбной продукции. *Контроль качества продукции*, 10, 50–53.
- Stepanenko, E. I., & Nekhamkin, B. L. (2017). Water activity guarding the quality of fish products. *Quality Control of Products*, 10, 50–53. (In Russ.)
- Степаненко, Е. И., Нехамкин, Б. Л. (2020). Влияние активности воды на стабилизацию качества соленой атлантической сельди в процессе хранения. *Труды АтлантНИРО*, 41(9), 187–194.
- Stepanenko, E. I., & Nekhamkin, B. L. (2020). The effect of water activity on the quality stabilization of salted Atlantic herring during storage. *Proceedings of AtlantNIRO*, 41(9), 187–194. (In Russ.)
- Танаков, Н. Т., Улугбекова, А. У. (2021). Изучение активности воды яблок сортов Кыргызской и Зарубежной селекции при хранении в условиях Ошской области. Наука. Образование. *Техника*, 1(70), 59–66.
- Tanakov, N. T., & Ulugbekova, A. U. (2021). Study of water activity of apple varieties from Kyrgyz and foreign breeding stored in the conditions of Osh region. *Science. Education. Technique*, 1(70), 59–66. (In Russ.)
- Эрлихман, В. Н., Фатыхов, Ю. А. (2018). Влияние связанной воды на ее активность при замораживании продуктов. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*, 4, 36–41.
- Erlikhman, V. N., & Fatykhov, Y. A. (2018). The influence of bound water on its activity during the freezing of products. *Scientific Journal of ITMO University. Series: Processes and Equipment of Food Production*, 4, 36–41. (In Russ.)
- Эрлихман, В. Н., Фатыхов, Ю. А. (2018). Методика расчета скорости усушки пищевого продукта в зависимости от активности воды в процессах холодильной технологии. *Вестник Международной академии холода*, 4, 10–14.
- Erlikhman, V. N., & Fatykhov, Y. A. (2018). Methodology for calculating the drying rate of a food product depending on water activity in refrigeration technology processes. *Bulletin of the International Academy of Refrigeration*, 4, 10–14. (In Russ.)
- Angamuthu, M., Shankar, V. K., & Murthy, S. N. (2018). Water activity and its significance in topical dosage forms. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 107(6), 1656–1666. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2018.02.013>
- Chen, C. (2019). Relationship between water activity and moisture content in floral honey. *Foods*, 8(30). <https://doi.org/10.3390/foods8010030>
- Leygonie, C., Britz, T. J., & Hoffman, L. C. (2012). Impact of freezing and thawing on the quality of meat: Review. *Meat Science*, 91, 93–98. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.013>
- Mathlouthi, M. (2001). Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food Control*, 12(7), 409–417. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(01\)00032-9](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(01)00032-9)

- Miyawaki, O. (2018). Water and freezing in food. *Food Science and Technology Research*, 24, 1–21. <https://doi.org/10.3136/fstr.24.1>
- Morasi, R. M., Alonso, V. P. P., Silva, N. C. C., Rall, V. L. M., & Dantas, S. T. A. (2022). Salmonella spp. in low water activity food: Occurrence, survival mechanisms, and thermoresistance. *Journal of Food Science*, 87(6), 2310–2323. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16152>
- Plotnikova, I. V., Zharkova, I. M., Magomedov, G. O., Magomedov, M. G., Khvostov, A. A., & Miroshnichenko, E. N. (2021). Forecasting and quality control of confectionery products with the use of "water activity" indicator. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials — Quality Management and Manufacturing Execution in Agricultural Processing"* (vol. 640, 062003). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/6/062003>
- Racchi I., Scaramuzza N., Hidalgo A., & Berni E. (2020). Combined effect of water activity and ph on the growth of food-related ascospore-forming molds. *Annals of Microbiology*, 70(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13213-020-01612-6>
- Sandulachi, E. (2012). Water activity concept and its role in food preservation. *Meridian Engineering*, 4, 40–48.
- Silva, S. H., Lago, A. M. T., Rivera, F. P., Prado, M. E. T., Braga, R. A., & De resende, Ja. V. (2018). Measurement of water activities of foods at different temperatures using biospeckle laser. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 2230–2239. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9839-8>
- Tarafdar, A., Shahi, N. Ch., Singh, A., & Sirohi, R. (2018). Artificial neural network modeling of water activity: A low energy approach to freeze drying. *Food and Bioprocess Technology*, 11(1), 164–171. [https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(00\)00201-3](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(00)00201-3)
- Yang, R., Guan, J., Sun, S., Sablani, S. S., & Tang, J. (2020). Understanding water activity change in oil with temperature. *Current Research in Food Science*, 14(3), 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2020.04.001>

Влияние продолжительности волновой обработки на развитие дрожжевых популяций

А.Г. Гришин, Д.В. Карпенко, В.А. Карагод

Российский биотехнологический университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: Научная литература не содержит исследований о влиянии обработки монохроматическим светом на развитие популяций пивных дрожжей низового брожения.

Цель: Исследовать возможность активации развития популяции пивных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* за счет предварительной обработки светом с длинами волн видимого спектра, обеспечивающей технологическую и экономическую эффективность такого способа воздействия в производственном масштабе.

Материалы и методы: Объектом исследований являлся процесс культивирования популяции пивных дрожжей Saflager S-189 (Fermentis) низового брожения, предметом — влияние на этот процесс предварительной обработки засевных дрожжей монохроматическим светом с длиной волны 980 нм, результативность которого оценивали по убыли веса среды культивирования, приросту общего титра клеток, доле нежизнеспособных и «упитанных» клеток; в качестве источника монохроматического света с длинами волн видимого диапазона использовали фотоэлектроколориметр КФК-2; засев сред и подготовку проб к анализу проводили в боксе антибактериальной воздушной среды БАВнп-01-«Ламинар-С.»-1,2; бродильную активность дрожжей оценивали по убыли веса питательной среды; общий титр клеток устанавливали подсчетом в камере Горяева; процент нежизнеспособных клеток определяли с использованием красителя метиленовый синий; процент «упитанных» клеток дрожжей устанавливали окрашиванием гликогена раствором йода.

Результаты: Предварительная обработка засевных дрожжей монохроматическим светом (980 нм) позволила повысить бродильную активность пивных дрожжей низового брожения на 10–15 % по сравнению с контролем, что согласуется с результатами других исследований групп в отношении популяций микроорганизмов других родов и видов. Величины прочих определяемых показателей — доли «упитанных» и нежизнеспособных клеток, общий титр клеток дрожжей — в опытных вариантах были на уровне таковых в контрольных образцах или незначительно уступали им. представлены данные о влиянии продолжительности облучения засевных дрожжей в течение 60, 120 или 180 мин на перечисленные контролируемые показатели, авторами высказано мнение о целесообразности ее проведения в течение 60 мин.

Выводы: Обоснована принципиальная возможность активации развития популяции пивных дрожжей низового брожения с помощью предварительной обработки засевных дрожжей светом с длиной волны 980 нм, что может дать экономический эффект в промышленном масштабе; отмечена необходимость апробации изучаемого технологического приема в условиях, близких к производственным.

Ключевые слова: пивные дрожжи низового брожения; активация развития популяции; волновые воздействия; монохроматический свет

Корреспонденция:

Карпенко

Дмитрий Валерьевич,

Российский биотехнологический университет,
125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11.

E-mail: KarpenkoDV@mgup.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 11.01.2023

Принята: 05.03.2023

Опубликована: 30.03.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Гришин, А. Г., Карпенко, Д. В., Карагод, В. А. (2023). Влияние продолжительности волновой обработки на развитие дрожжевых популяций. FOOD METAENGINEERING, 1(1), 18–26. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.11>

The Impact of the Duration of Wave Treatment on the Development of Yeast Populations

Artem G. Grishin, Dmitriy V. Karpenko, Victoria A. Karagod

Russian Biotechnological University,
Moscow, Russia

ABSTRACT

Introduction: The scientific literature does not contain research on the influence of monochromatic light treatment on the development of bottom-fermenting beer yeast populations.

Purpose: To test the possibility of activating the development of the beer yeast *Saccharomyces cerevisiae* population through preliminary treatment with light of visible spectrum wavelengths, providing technological and economic efficiency of such an impact method on a production scale.

Materials and Methods: The object of research was the process of cultivating a population of bottom-fermenting beer yeast Saflager S-189 (Fermentis). The subject was the influence of preliminary treatment of the seed yeast with monochromatic light with a wavelength of 980 nm on this process. Its effectiveness was assessed by the weight loss of the cultivation medium, the increase in the total cell titre, the proportion of unviable and “fed” cells. A KFK-2 photoelectrocolorimeter was used as a source of monochromatic light with wavelengths of the visible range. Seeding of mediums and sample preparation for analysis were performed in a BAVnp-01-“Laminar-S.”-1.2 antibacterial air medium box. The yeast’s fermenting activity was assessed by the weight loss of the nutrient medium; the total cell titre was established by counting in a Goryaev’s chamber; the percentage of unviable cells was determined using methylene blue dye; the percentage of “fed” yeast cells was established by staining glycogen with iodine solution.

Results: Preliminary treatment of the seed yeast with monochromatic light (980 nm) allowed increasing the fermenting activity of bottom-fermenting beer yeast by 10–15% compared to the control, which is consistent with the results of other research groups concerning populations of microorganisms of other genera and species. The values of other determined indicators — the proportion of “fed” and unviable cells, the total yeast cell titre — in the experimental variants were at the level of those in the control samples or slightly inferior to them. Data on the influence of the duration of seed yeast irradiation for 60, 120 or 180 minutes on the listed controlled indicators are presented, and the authors express the opinion about the appropriateness of its conduction for 60 minutes.

Conclusion: The principle possibility of activating the development of a population of bottom-fermenting beer yeast by preliminary treatment of seed yeast with light with a wavelength of 980 nm, which can give an economic effect on an industrial scale, is substantiated; the necessity of testing the technological method under study in conditions close to production ones is noted.

Keywords: bottom-fermenting beer yeast; population development activation; wave effects; monochromatic light

Correspondence:

Karpenko Dmitry Valer'evich,
Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe shosse, Moscow,
125080, Russian Federation.
E-mail: KarpenkoDV@mgupp.ru

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 11.01.2023

Accepted: 05.03.2023

Published: 30.03.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Grishin, A. G., Karpenko, D. V., & Karagod, V. A. (2023). The impact of the duration of wave treatment on the development of yeast populations. *FOOD METAENGINEERING*, 1(1), 18–26. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.11>

ВВЕДЕНИЕ

Культивирование дрожжевых популяций является ключевым процессом в производстве напитков брожения, дрожжей различного назначения, белково-витаминных концентратов, хлебопечении и ряде других. От физиологического состояния дрожжевых клеток и их популяции в целом зависит технологическая и экономическая эффективность производственного цикла. При этом нередко технолог ведет процесс культивирования в неоптимальных для дрожжевой популяции условиях: температуре, концентрации питательных веществ и сбалансированности их состава.

Это делает особенно актуальной проблему активации развития дрожжевой популяции. Предлагается использовать для ее решения внесение химических соединений-активаторов (Гернет, 2019; Гернет, 2020; Помозова, 2002). Однако такой подход может вызвать обоснованные возражения, так как приводит к большему или меньшему изменению химического состава готового пищевого продукта/напитка, что не всегда допустимо. Упомянутые изменения побудили исследователей разрабатывать способы активирующего воздействия, не приводящие к прямому и непосредственному изменению химического состава технологической среды, а впоследствии и готовой продукции.

Способы, прямо не изменяющие состав технологических сред, базируются на физических воздействиях различных типов, направленных непосредственно на микробные клетки или на приготовленную для них питательную среду до ее засева. Наибольшее внимание уделяется разработке методов и параметров ультразвуковой обработки, которая широко применяется, в том числе, в производственной практике, для деструкции объектов воздействия — матрикса сырья для интенсификации экстракции, борьбы с биопленками и т.д. Однако установлено, что обработка этого же типа может активировать развитие микробных популяций (Слепян, 2014; Choi, 2015; Бойко, 2018; Huang, 2019; Калужина, 2020; Al Daccache, 2020; Kalugina, 2021; Yang & Xiang, 2020; He, 2021; Yang, Ren, 2021; Kajarekar, 2022; Xiang, 2022). Показана целесообразность применения с той же целью лазерного излучения (Данилова, 2017; Шабурова, 2019), магнитных полей различной интенсивности и характера (Ikehata, 2003; Iwasaka, 2005; Мамарасулов, 2017), а также электрического поля (Мирошников, 2007). Выявлена возможность активации микробных популяций с помощью электронно-ионной обработки

(Глуценко, 2010; Глуценко, 2013). Перспективным признано воздействие звука слышимого диапазона с фиксированной частотой (Karpenko, 2019).

Каждый из перечисленных выше способов обладает своими преимуществами и недостатками. Например, ультразвуковое излучение требует усиления мероприятий по охране труда и, что еще важнее, вызывает повреждение облучаемых поверхностей технологического оборудования (Bredihin, 2021). Другие способы обработки, в частности, лазерной, требуют достаточно дорогостоящего оборудования. Все это сделало целесообразным изучение эффективности такой разновидности волнового излучения, как свет видимого диапазона. Супрунюк с соавторами (2016) установили выраженное влияние света с фиксированными длинами волн видимого спектра на состояние и развитие популяции пивных дрожжей верхового брожения, направление которого зависело от длины волны. Аналогичные эффекты были показаны для культивирования популяций бактерий и микроскопических грибов (Valadon, 2006; Тихонов, 2021; Тихонов, 2022) после облучения при фиксированных длинах волн, а также при обработке дрожжевых и грибных клеток синим (с длинами волн из диапазона 420–460 нм) и красным светом (620–640 нм) (Кобелев, 2013; Кобелев, 2014). Однако информация о результатах обработки пивных дрожжей низового брожения монохроматическим светом видимого спектра в литературе нами не обнаружена, поэтому было признано целесообразным начать исследования в этой области.

Целью данного исследования являлась оценка воздействия света видимого диапазона с фиксированными длинами волн на показатели популяции пивных дрожжей, культивируемой периодическим способом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

В качестве объекта облучения светом видимого спектра использовали сухие пивные дрожжи Saflager S-189 (Fermentis) низового брожения.

Модельная питательная среда представляла собой 5 %-ный раствор сахарозы в дистиллированной воде, подвергнутый автоклавированию при избыточном давлении 0,5 атм в течение 40 мин.

Оборудование

В качестве источника монохроматического света (длины волн 315, 364, 400, 440, 490, 540, 590, 670, 750, 870, 980 нм) использовали фотоэлектроколориметр КФК-2.

Засев стерильных питательных сред и разбавление образцов перед определением микробиологических показателей вели в боксе антибактериальной воздушной среды БАНп-01-«Ламинар-С.»-1,2.

Методы

Обработку сухих дрожжей светом для формирования опытных вариантов проводили при температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение определенного времени (60, 120 или 180 мин), помещая три равные навески в контейнер, расположенный в пятне света, созданном отражателем.

Засев равных объемов питательной среды осуществляли обработанными (опыт) и необработанными (контроль) навесками дрожжей при начальной норме задачи 15 млн кл/см³.

Культивирование опытных и контрольных дрожжевых популяций вели в течение 3 суток при температуре $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$ при перемешивании 1 раз в сутки (перед отбором проб для анализа).

Пробы для определения значений контролируемых показателей осуществляли сразу после засева питательной среды (0 сутки), затем по окончании процесса культивирования, кроме убыли веса, которую фиксировали ежедневно.

Результаты брожения (утилизации питательных веществ клетками дрожжевой популяции) определяли весовым методом¹. Для учета потерь на испарение в рамках каждого эксперимента ставили три образца, представлявших собой объемы модельной среды без внесения дрожжей, равные объему питательных сред в контрольных и опытных вариантах. Их вес определяли параллельно с определением этого показателя в других образцах. Потери на испарение учитывали при расчете убыли веса в контрольных и опытных вариантах.

Общий титр клеток определяли подсчетом в камере Горяева².

Число (процент) нежизнеспособных дрожжевых клеток определяли с использованием красителя метиленовый синий (Давыденко, 2011).

Долю «упитанных» клеток дрожжей определяли окрашиванием гликогена раствором йода³.

Перечисленные выше показатели для каждого варианта определяли в трех повторностях. В таблице приведены средние значения, они же использованы при построении графиков (Рисунки 1 и 2).

Процедура исследования

На предварительном этапе исследований (данные не приведены) сухие дрожжи обрабатывали светом с длинами волн из диапазона 315–980 нм в течение 60 мин при комнатной температуре. Обработанными дрожжами засеивали опытные варианты питательной среды, необработанными — контрольные. Культивирование вели как указано выше, контролируя показатели, указанные в предыдущем разделе. Анализ полученных результатов позволил выбрать две длины волны (670 и 980 нм), при которых был выявлен наибольший положительный эффект волновой обработки.

При этих длинах волн обработку проводили в течение 3 часов для выбора рациональной продолжительности волнового воздействия, обеспечивающей наибольший прирост титра клеток и/или наибольшую убыль сухих веществ (степень сбраживания) питательной среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе исследований была проведена серия однотипных экспериментов, отличавшихся только длиной волны света, который использовали для обработки в течение 60 мин трех навесок сухих дрожжей (опытные образцы), которыми затем засеивали питательные среды. В каждом эксперименте анализировали указанные в предыдущем разделе показатели, приоритетным являлась бродильная активность (убыль веса питательной среды). По этому критерию лучшие результаты были достигнуты при 670 и 980 нм. Более выраженный активирующий эффект был зафиксирован во втором случае. Поэтому именно при этой длине волны (несмотря на то, что она

¹ Качмазов, Г. С. (2021). *Дрожжи бродильных производств. Практическое руководство: учебное пособие для СПО*. 2-е изд. Лань.

² Там же.

³ Там же.

относится к ближней инфракрасной, а не видимой области спектра) решено было провести эксперимент, в котором продолжительность обработки сухих дрожжей составляла 60, 120 или 180 мин. В Таблице 1 приведены результаты определения контролируемых показателей, полученные в ходе экспериментов двух разных серий, в опытных вариантах, засеянных дрожжами после их 60-минутной обработки монохроматическим светом. Для облегчения сопоставления приведенных значений решено было указать их только для опытных образцов, выразив в процентах по отношению к величинам в соответствующих контрольных вариантах.

Результаты определения убыли веса в образцах, полученных с использованием обработанных светом дрожжей, облученных монохроматическим светом с длиной волны 980 нм в течение разного времени представлены на Рисунке 1. Значения выражены в процентах к величинам в контрольных вариантах (здесь и на следующем рисунке).

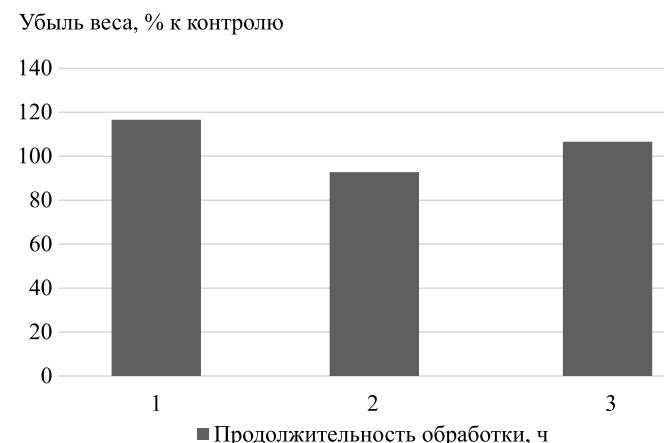
Результаты определения микробиологических показателей, характеризующих состояние дрожжевых популяций после обработки светом в течение разного времени приведены на Рисунке 2.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленные результаты подтверждают, по нашему мнению, гипотезу о возможности повышения метаболической активности клеток дрожжевой популяции за счет облучения светом определенной длины волны. Подтверждено, что при культивировании в модельной среде обработанные световым излучением (980 нм) в течение 60 мин клетки более интенсивно утилизируют питательные вещества: убыль веса в опытных вариантах была достоверно, на 10–15 % больше, чем в контрольных об-

Рисунок 1

Влияние продолжительности обработки сухих дрожжей светом с длиной волны 980 нм на бродильную активность (убыль веса питательной среды)



разцах. Значения остальных определяемых показателей были на уровне контрольных или незначительно хуже.

Еще одним заслуживающим внимания положительным фактом является воспроизводимость полученных результатов. Значения аналогичных показателей в таблице не идентичны, что, очевидно, объясняется неизбежными различиями в характере развития дрожжевых популяций в разных циклах культивирования, однако тенденции, зафиксированные в первом эксперименте, подтвердились во втором, за исключением доли нежизнеспособных клеток, величины которой разнонаправленно колебались относительно контроля.

Данные Рисунка 1 позволяют предположить нелинейное влияние продолжительности обработки светом с длиной волны 980 нм на убыль веса питательной среды. Установлено, что после 1 часа облучения засеваемых

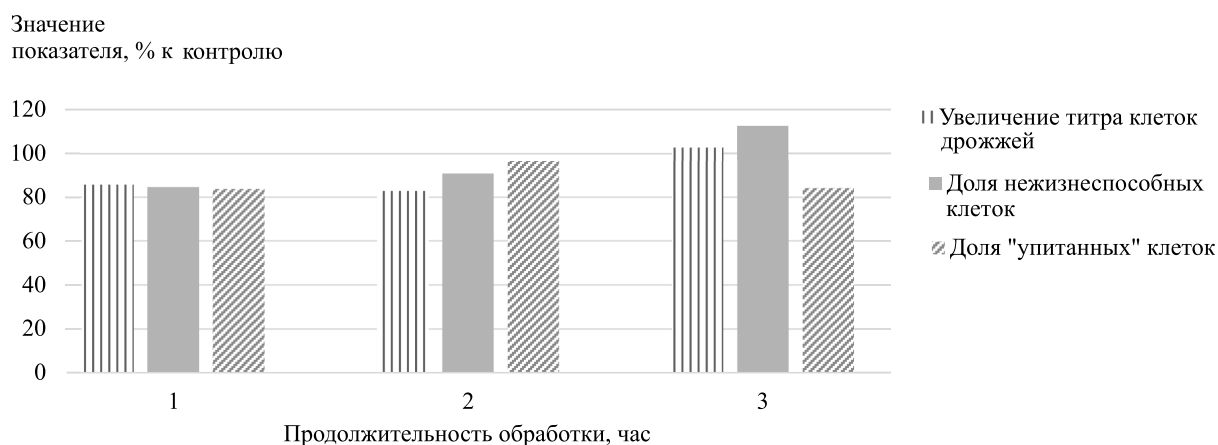
Таблица 1

Влияние обработки светом с длиной волны 980 нм на результаты развития популяции пивных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*

Величина показателя в опытном варианте, % к контролю				
Эксперимент	Убыль веса среды культивирования	Титр дрожжевых клеток	% «упитанных» клеток	% нежизнеспособных клеток
1	110,68 ± 3,81	98,95 ± 4,67	95,89 ± 6,03	105,34 ± 8,21
2	116,59 ± 2,99	85,16 ± 5,82	83,60 ± 6,48	84,57 ± 7,44

Рисунок 2

Влияние продолжительности обработки сухих дрожжей светом с длиной волны 980 нм на состояние популяции по окончании культивирования



дрожжей в условиях эксперимента убыль веса увеличилась на 16 % по сравнению с контролем, а после 3 ч — на 6 %. При этом обработка двухчасовой продолжительности привела к снижению величины убыли веса примерно на 7 %, что превышает погрешность определения использованного нами метода. Механизм воздействия монохроматического света видимого спектра и ближних ультрафиолетового и инфракрасного диапазонов пока не вполне ясен, но можно предположить, что определенную роль играет энергия, вводимая облучением в среду культивирования. В этом случае именно ее количество может определять результат обработки рассматриваемого типа, влияя на метаболические системы клеток засевных дрожжей и, как следствие, на результаты культивирования их популяции. С точки зрения интенсивности потребления дрожжевыми клетками компонентов питательной среды наиболее целесообразно предварительное облучение засевных дрожжей светом с длиной волны 980 нм в течение 60 мин.

Судя по данным Рисунка 2, облучение засевных дрожжей светом с длиной волны 980 нм при продолжительности, равной 1 и 2 часам, привело в условиях эксперимента к незначительному снижению интенсивности накопления микробной биомассы: прирост титра клеток в опытных вариантах был на 15–17 % меньше, чем в контрольных; воздействие в течение 3 часов не повлияло на обсуждаемый показатель.

Доля нежизнеспособных клеток по окончании культивирования дрожжевой популяции оказалась наибо-

лее чувствительной к продолжительности облучения: после воздействия света в течение 1 часа ее величина была на 15 % ниже, чем в контроле, в течение 2 часов — на 10 %, тогда как после 3 часов обработки значение этого показателя было на 12,5 % выше контрольного, что превышает обычную погрешность определения.

Доля «упитанных клеток» по всех опытах обсуждаемого эксперимента была ниже, чем контрольных вариантах на 3–17 %, таким образом, мало зависела от продолжительности волнового воздействия.

Информация о результатах обработки пивных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* монохроматическим светом видимого диапазона в научной литературе нами не обнаружена, в силу чего имеется возможность сравнить полученные нами данные только с результатами обработки иными типами волн или микроорганизмов других родов и видов. Можно заключить, что снижение доли нежизнеспособных клеток, достигаемое в результате облучения светом, несколько меньше, чем в результате электронно-ионной обработки при рациональных экспозиции и напряженности электрического поля в межэлектродном пространстве (Глуценко, 2013). Лазерное излучение обеспечило 11-кратный прирост титра клеток молочнокислых бактерий (Данилова, 2017), но в нашей работе задача интенсификации накопления дрожжевой биомассы не ставилась, поэтому незначительное снижение числа клеток при повышении степени утилизации питательных веществ в результате обработки светом можно считать положительным результатом. Обработка ультразвуком в условиях, при-

знанных оптимальными (при частоте колебаний 44 кГц в течение 2 мин) (Калужина, 2020) обеспечила увеличение бродильной активности пивных дрожжей на 36 %, тогда как в лучшем варианте после воздействия светом оно составило 16 %. По нашему мнению, это объясняется, с одной стороны, меньшим количеством энергии, вводимой в обрабатываемую среду, а с другой стороны тем, что оптимальные параметры облучения видимым светом нами пока еще не установлены, так как наши исследования находятся на начальном этапе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате оценки воздействия света видимого диапазона выявлены длины волн, позволяющие повысить бродильную активность пивных дрожжей при периодическом способе культивирования их популяции, что соответствует выдвинутой гипотезе исследований. Выявлено, что на эффективность обработки дрожжей светом влияет как длина волны, так и продолжительность воздействия.

Производство в Российской Федерации пива низового брожения является высоко конкурентным, поэтому необходимо интенсифицировать каждую из ключевых технологических стадий, включая главное брожение. Одним из эффективных способов решения такой задачи является засев сусла дрожжами с высокой бродильной активностью. На основании проводимых исследований можно предположить, что она может быть повышена за счет предварительной обработки засевных дрожжей монохроматическим светом с длиной волны 980 нм. Важно подчеркнуть, что в результате такого воздействия увеличивается степень утилизации компонентов

питательной среды, но прирост биомассы ниже, чем при традиционной технологии. Это выгодно с точки зрения уменьшения объема вторичного ресурса пивоваренного производства — избыточных дрожжей, рациональная утилизация которых является, как правило, достаточно затратным мероприятием.

Безусловно, приведенные в статье результаты получены при использовании модельной питательной среды и сухих дрожжей для ее засева, что не практикуется в промышленном масштабе. В силу этого, на следующем этапе исследований необходимо определить эффективность обсуждаемого способа обработки применительно к дрожжевой суспензии и процессу сбраживания пивного сусла в условиях максимально близким к производственным.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Артём Геннадьевич Гришин: курирование данных, написание — подготовка черновика рукописи, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Дмитрий Валерьевич Карпенко: концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, визуализация, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Виктория Артёмовна Карагод: курирование данных, написание — подготовка черновика рукописи, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

Бойко, С. С., Яценко, Е. С. (2018). Изучение влияния ультразвукового воздействия на споро- и неспорообразующие бактерии. *Вестник биотехнологии*, 14(1), 102–105.

Boyko, S. S., & Yatsenko, E. S. (2018). Study of the influence of ultrasonic impact on spore-forming and non-spore-forming bacteria. *Bulletin of Biotechnology*, 14(1), 102–105. (In Russ.)

Гернет, М. В., Борисенко, О. А., Грибкова, И. Н. (2019). Комплексный активатор брожения в технологии пива.

XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс, 8(3), 134–138.

Gernet, M. V., Borisenko, O. A., & Gribkova, I. N. (2019). Comprehensive fermentation activator in beer technology. *XXI Century: Outcomes of the Past and Problems of the Present Plus*, 8(3), 134–138. (In Russ.)

Гернет, М. В., Грибкова, И. Н., Борисенко О. А. (2020). Исследование возможности активации дрожжей при приготовлении ферментированных напитков. *Пищевая промышленность*, 8, 56–59.

- Gernet, M. V., Gribkova, I. N., & Borisenko, O. A. (2020). Study of the possibility of yeast activation in the preparation of fermented beverages. *Food Industry*, 8, 56–59. (In Russ.)
- Глушенко, Л. Ф., Глушенко, Н. А. (2010). К вопросу об управлении жизнедеятельностью микроорганизмов (с. 27–43) Академия естествознания.
- Glushchenko, L. F., & Glushchenko, N. A. (2010). On the issue of managing the vital activity of microorganisms (pp. 27–43). Academy of Natural Sciences. (In Russ.)
- Глушенко, Н. А. (2013). О некоторых эффектах влияния электронно-ионной обработки на дрожжевые микроорганизмы. *Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого*, 71–2, 36–40.
- Glushchenko, N. A. (2013). On some effects of electron-ion treatment on yeast microorganisms. *Bulletin of the Yaroslav the Wise Novgorod State University*, 71–2, 36–40. (In Russ.)
- Давыденко, С. Г., Васильева, Л. М., Баташов, Б. Э., Дедегкаев, А. Т. (2011). Применение методов окраски дрожжей для оценки их физиологического состояния. *Пиво и напитки*, 5, 8–11.
- Davydenko, S. G., Vasilyeva, L. M., Batashov, B. E., & Dedegkaev, A. T. (2011). The use of yeast staining methods to assess their physiological state. *Beer and Beverages*, 5, 8–11. (In Russ.)
- Данилова, А. Н., Пономарева, М. С., Гернет, М. В., Шабурова, Л. Н. (2017). Влияние лазерного излучения на молочнокислые бактерии. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (12), 12–14.
- Danilova, A. N., Ponomareva, M. S., Gernet, M. V., & Shaburova, L. N. (2017). The effect of laser radiation on lactic acid bacteria. *Storage and Processing of Agricultural Raw Materials*, (12), 12–14. (In Russ.)
- Калужина, О. Ю., Яковлева, К. С., Кашапова, Р. А., Черненко, Е. Н., Черненко, А. А., Бодров, А. Ю. (2020). Влияние ультразвука на пивоваренные дрожжи. *Вестник ВГУИТ*, 82(1), 103–109. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-103-109>
- Kaluzhina, O. Yu., Yakovleva, K. S., Kashapova, R. A., Chernenkov, E. N., Chernenkova, A. A., & Bodrov, A. Yu. (2020). The effect of ultrasound on brewing yeast. *Bulletin of VSTU*, 82(1), 103–109. (In Russ.) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-103-109>
- Кобелев, А. В., Багаева, Т. В. (2013). Влияние разного светового спектра на рост дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. *Материалы II Междунар. интернет-конференции* (с. 147–149). ИП Синяев Д. Н.
- Kobelyov, A. V., & Bagayeva, T. V. (2013). The influence of different light spectra on the growth of *Saccharomyces cerevisiae* yeast. *Proceedings of the II International Internet Conference* (pp. 147–149). IP Sinyayev D. N. (In Russ.)
- Кобелев, А. В., Багаева, Т. В., Галкина, Л. А. (2014). Влияние разного светового спектра на биосинтез вторичных метаболитов микромицета *Fusarium equiseti*. Биотехнология. Взгляд в будущее: Материалы III Международной научной Интернет-конференции (с. 99–102). ИП Синяев Д. Н.
- Kobelyov, A. V., Bagayeva, T. V., & Galkina, L. A. (2014). The influence of different light spectra on the biosynthesis of secondary metabolites of the microfungus *Fusarium equiseti*. *Biotechnology. Look into the Future: Proceedings of the III International Scientific Internet Conference* (pp. 99–102). IP Sinyayev D. N. (In Russ.)
- Мамарасулов, Б. Д., Насирова, О. А., Мирзарахметова, Д. Т. (2017). Интенсификация процесса сбраживания пивного суслу. *Пиво и напитки*, 5, 24–27.
- Mamarasulov, B. D., Nasirova, O. A., & Mirzarahmetova, D. T. (2017). Intensification of the beer wort fermentation process. *Beer and Beverages*, 5, 24–27. (In Russ.)
- Мирошников, А. И. (2007). Стимуляция и ингибирование роста клеток при культивировании в питательной среде, модифицированной электрическим полем. *Вестник биотехнологии*, 3(2), 18–25.
- Miroshnikov, A. I. (2007). Stimulation and inhibition of cell growth during cultivation in a nutrient medium modified by an electric field. *Bulletin of Biotechnology*, 3(2), 18–25. (In Russ.)
- Помозова, В. А., Пермякова, Л. В., Сафонова, Е. А., & Артемасов, В. В. (2002). Активация пивных дрожжей. *Пиво и напитки*, 2, 26–27.
- Pomozova, V. A., Permyakova, L. V., Safonova, E. A., & Artemasov, V. V. (2002). Activation of brewing yeast. *Beer and Beverages*, 2, 26–27. (In Russ.)
- Слепян, Л. И., Каухова, И. Е., Солодникова, Е. С., Красовицкая, И. А. (2014). Влияние ультразвука на рост и метаболизм биологически активных веществ в штаммах *Panax ginseng* C.A. Mey. и *Panax quinquefolius* L. (Araliaceae). *Вестник биотехнологии*, 10(1), 46–51.
- Slepian, L. I., Kaukhova, I. E., Solodnikova, E. S., Krasovitskaya, I. A. (2014). The effect of ultrasound on the growth and metabolism of biologically active substances in strains of *Panax ginseng* C.A. Mey. and *Panax quinquefolius* L. (Araliaceae). *Biotechnology Bulletin*, 10(1), 46–51. (In Russ.)
- Супрунюк, А. Ю., Карпенко, Д. В. (2016). Влияние обработки монохроматическим светом на характеристики пивных дрожжей. *Общезащитная научная конференция*

- молодых ученых и специалистов «День науки» (часть 2, с. 134–138). МГУПП.
- Suprunyuk, A. Y., & Karpenko, D. V. (2016). The effect of monochromatic light treatment on the characteristics of brewing yeast. *General University Scientific Conference of Young Scientists and Specialists "Science Day"* (part 2, pp. 134–138). MGUPP. (In Russ.)
- Тихонов, С. Л., Тихонова, Н. В., Кирпикова, К. Е., Пестова, И. Г., Московенко, Н. В., Кольберг, Н. А. (2021). Биосинтез низина с применением фотостимуляции продуцента *Lactobacillus lactis* и пептидов фабрициевой сумки в составе питательной среды. *Современная наука и инновации*, 3, 85–95. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2021.3.8>
- Tikhonov, S. L., Tikhonova, N. V., Kirpikova, K. E., Pestova, I. G., Moskovento, N. V., Kolberg, N. A. (2021). Biosynthesis of nisin using photostimulation of the producer *Lactobacillus lactis* and peptides of the bursa of Fabricius in the nutrient medium. *Modern Science and Innovations*, 3, 85–95. (In Russ.) <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2021.3.8>
- Тихонов, С. Л., Тихонова, Н. В., Пестова, И. Г., Тихонова, М. С. (2022). Исследование влияния фотостимуляции на продуктивность культуры *Lactobacillus lactis* и активность полученного низина. *Индустрия питания*, 7(1), 63–69. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-1-8>
- Tikhonov, S. L., Tikhonova, N. V., Pestova, I. G., Tikhonova, M. S. (2022). Study of the effect of photostimulation on the productivity of *Lactobacillus lactis* culture and the activity of the obtained nisin. *Food Industry*, 7(1), 63–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-1-8>
- Шабурова, Л. Н., Данилова, А. Н., Пономарева, М. С., Гернет, М. В. (2019). Действие импульсной частоты лазерного излучения на дрожжи верхового брожения. Пиво и напитки, 2, 16–19.
- Shaburova, L. N., Danilova, A. N., Ponomareva, M. S., Gernet, M. V. (2019). The effect of pulse frequency of laser radiation on top-fermenting yeast. *Beer and Beverages*, 2, 16–19. (In Russ.)
- Al Daccache, M., Koubaa, M., Salameh, D., Maroun, R. G., Louka, N., & Vorobiev, E. (2020). Ultrasound-assisted fermentation for cider production from Lebanese apples. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63, 104952. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104952>
- Bredihin, S. A., Andreev, V. N., Martekha, A. N., Schenzle, M. G., & Korotkiy, I. A. (2021). Erosion potential of ultrasonic food processing. *Foods and Raw Materials*, 9(2), 335–344. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-335-344>
- Choi, E. J., Ahn, H., Kim, M., Han, H., & Kim, W. J. (2015). Effect of ultrasonication on fermentation kinetics of beer using six-row barley cultivated in Korea. *Journal of the Institute of Brewing*, 121(4), 510–517. <https://doi.org/10.1002/jib.262>
- He, R., Ren, W., Xiang, J., Dabbour, M., Mintah, B., Li, Y., & Ma, He. (2021). Fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* in a 7.5 liter ultrasound-enhanced fermenter: Effect of sonication conditions on ethanol production, intracellular Ca²⁺ concentration and key regulating enzyme activity in glycolysis. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105624. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105624>
- Huang, G., Chen, S., Tang, Y., Dai, C., Sun, L., Haile Ma, H., & He, R. (2019). Stimulation of low intensity ultrasound on fermentation of skim milk medium for yield of yoghurt peptides by *Lactobacillus paracasei*. *Ultrasonics sonochemistry*, 51, 315–324. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.09.033>
- Ikehata, M., Iwasaka, M., Miyakoshi, J., Ueno, S., & Koana, T. (2003). Effects of intense magnetic fields on sedimentation and gene expression profile in budding yeast. *Journal of Applied Physics*, 93(10), 6724–6726. <https://doi.org/10.1063/1.1556929>
- Iwasaka, M., Ikehata, M., Miyakoshi, J. & Ueno, S. (2005). Strong static magnetic field effects on yeast proliferation and distribution. *Bioelectrochemistry*, 65(1), 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2004.04.002>
- Kajarekar, B., & Gogate, P. (2022). Ultrasound Assisted Intensification of Streptomycin production based on Fermentation. *Chemical Engineering and Processing — Process Intensification*, 171(2), 108748. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108748>
- Kalugina, O., Nafikova, A., Chernenkov, E., Leonova, S., Chernenkova, A., Badamshina, E., & Bodrov, A. (2021). Application of ultrasound for enhancing fermentation rates in brewing technology. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 20(3), 301–312. <http://dx.doi.org/10.17306/J.AFS.2021.0950>
- Karpenko D. V., Gernet M. V., Krjukova E. V., Gribkova I. N., Nurmukhanbetova D. E., Assembayeva E. K. (2019). Acoustic vibration effect on genus *Saccharomyces* yeast population development. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 4(436), 103–112. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.103>
- Valadon, L., Osman, M., Mummery, R., Jerebzooff-Quintin, S., & Jerebzooff, S. (2006). The effect of monochromatic radiation in the range 350 to 750 nm on the carotenogenesis in *Ver-*

ticillium agaricinum. *Physiologia Plantarum*, 56(2), 199–203.
<https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1982.tb00325.x>

Xiang, J., Dabbour, M., Gao, X., Mintah, B. K., Yang, Y., Ren, W., He, R., Dai, C., & Ma, H. (2022). Influence of low-intensity ultrasound on ϵ -polylysine production: Intracellular ATP and key biosynthesis enzymes during *Streptomyces albulus* fermentation. *Foods*, 11, 3525. <https://doi.org/10.3390/foods11213525>

Yang, Y., Ren, W., Cheng, L., Dapaah, M., He, R., & Ma, H. (2021). Incorporating transcriptomic-metabolomic analysis reveal the effect of ultrasound on ethanol production in *Saccharomyces cerevisiae*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79(4), 105791. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105791>

Yang, Y., Xiang, J., Zhang, Z., Umego, E. C., Huang, G., He, R., & Ma, H. (2020). Stimulation of *in situ* low intensity ultrasound on batch fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* to enhance the GSH yield. *Journal of Food Process Engineering*, 43(10), e13489. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13489>

Способ персонификации питания с учетом генетически детерминированных факторов

В.В. Литвяк¹, В.В. Шилов², Л.Б. Кузина¹, Ю.Ф. Росляков³

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

² «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, г. Минск, Республика Беларусь

³ Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: Несмотря на большие успехи современной диетологии в настоящее время отсутствует способ персонифицированного питания с учётом всех генетических детерминированных факторов.

Цель: Разработать способ персонификации питания с учетом генетически детерминированных факторов.

Материалы и методы: Объект исследований — персонифицированное пищевое поведение. Кишечные микробные энтеротипы идентифицируют с применением полимеразной цепной реакции. Группы крови и резус факторы определяют в реакции агглютинации при помощи коликлонов или стандартных гемагглютинирующих сывороток.

Результаты: Предложен высокоэффективный способ персонификации питания с учетом групп крови (0(I), 0A(II), 0B(III), AB(IV)), резус-фактора крови (Rh+ и Rh–), гендерной принадлежности (α и β) и энтеротипов (энтеротип № 1: бактероиды (Bacteroides), энтеротип № 2: превотелла (Prevotella) и энтеротип № 3: руминококки (Ruminococcus)), позволяющий осуществлять точную и максимально персональную регуляцию пищевого поведения человека. Способ персонификации питания с учетом генетически детерминированных факторов предполагает подбор продуктов питания на основе генетически детерминированных факторов: иммунной системы крови — группы крови и резус-фактор, энтеротипах, а также гендерной принадлежности, при этом пищевые продукты подбирают поэтапно, согласно следующему алгоритму: 1) определяют группу крови по количеству агглютининов (α и β) в плазме, агглютиногенов (A и B) в эритроцитах и находят резус-фактор; 2) определяют по реакции изоагглютинации совместимость компонентов продуктов питания с компонентами иммунной системы крови: α и β -агглютининов, A- и B-агглютиногенов, а также Rh+ и Rh– резус-фактора; 3) удаляют из рациона питания пищевые продукты, компоненты которых вызывают реакцию агглютинации с компонентами иммунной системы крови; 4) определяют методом полимеразной цепной реакции преобладающий энтеротип: энтеротип № 1 бактероиды — Bacteroides, энтеротип № 2 превотелла — Prevotella или энтеротип № 3 руминококки — Ruminococcus; 5) удаляют из рациона продукты питания трудноусвояемые, установленному энтеротипу: для энтеротипа №1 с универсальной белково-жиро-углеводной диетой можно не удалять пищевые продукты, для энтеротипа № 2 с углеводной диетой понижают количество пищевые продукты с большим содержанием белков и жиров, для энтеротип № 3 с углеводно-жировой диетой понижают количество пищевые продукты с большим содержанием белков; 6) удаляют из рациона питания пищевые продукты, компоненты которых вызывают ингибирования синтеза половых гормонов: для женщин — прогестогены и эстрогены, для мужчин — андрогены.

Заключение: Нами предложен высокоэффективный способ персонификации питания с учетом групп крови (0(I), 0A(II), 0B(III), AB(IV)), резус-фактора крови (Rh+ и Rh–), гендерной принадлежности (α и β) и энтеротипов (энтеротип №1: бактероиды (Bacteroides), энтеротип №2: превотелла (Prevotella) и энтеротип №3: руминококки (Ruminococcus)), позволяющий осуществлять точную и максимально персональную регуляцию пищевого поведения человека.

Ключевые слова: персонифицированное питание, энтеротипы, бактероиды, превотелла, руминококки, группа крови, резус фактор, половые гормоны, эстрогены, андрогены

Корреспонденция:

Литвяк Владимир Владимирович,

ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха»
ул. Некрасова, 11,
пос. Красково, Люберецкий р-н, Московская обл., 140051, Российская Федерация
E-mail: besserk1974@mail.ru, vniik@arrisp.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 10.01.2023

Принята: 07.03.2023

Опубликована: 31.03.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Литвяк, В. В., Шилов, В. В., Кузина, Л. Б., & Росляков, Ю. Ф. (2023). Способ персонификации питания с учетом генетически детерминированных факторов. *FOOD METAENGINEERING*, 1(1), 27–62. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.5>

Method for Nutrition Personalization According to Genetically Determined Factors

V.V. Litvyak¹, V.V. Shylau², L.B. Kuzina¹, Yu.F. Roslyakov³

¹ All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, Russia

² International Sakharov Environmental Institute of Belarussian State University, Minsk, Republic of Belarus

³ Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

ABSTRACT

Background: Despite the great successes of modern dietology, there is currently no way of personalized nutrition, taking into account all genetic deterministic factors.

Purpose: To develop a way to personalize nutrition, taking into account genetically determined factors.

Materials and Methods: The object of research is personalized eating behavior. Intestinal microbial enterotypes are identified using polymerase chain reaction. Blood groups and Rh factors are determined in the agglutination test using coliclones or standard hemagglutinating sera.

Results: A highly effective method of personifying nutrition, taking into account blood groups (0 (I), 0A (II), 0B (III), AB (IV)), blood Rh factor (Rh+ and Rh–), gender (α and β) and enterotypes (enterotype No.1: Bacteroides, enterotype No.2: Prevotella and enterotype No.3: Ruminococcus), which allows for precise and maximally personal regulation of human eating behavior. The method of personifying nutrition, taking into account genetically determined factors, involves the selection of food products based on genetically determined factors: the immune system of the blood — blood groups and Rh factor, enterotypes, as well as gender, while food products are selected in stages, according to the following algorithm: 1) determine blood group by the amount of agglutinins (α and β) in plasma, agglutinogens (A and B) in erythrocytes and find the Rh factor; 2) determine the compatibility of food components with the components of the blood immune system by the isoagglutination reaction: α and β -agglutinins, A- and B-agglutinogens, as well as Rh+ and Rh– Rh-factors; 3) remove food products from the diet, the components of which cause an agglutination reaction with the components of the blood immune system; 4) the prevailing enterotype is determined by the method of polymerase chain reaction: enterotype No.1 bacteroids — Bacteroides, enterotype No.2 of Prevotella — Prevotella or enterotype No.3 of ruminococcus — Ruminococcus; 5) remove from the diet hard-to-digest foodstuffs, the established enterotype: for enterotype No.1 with a universal protein-fat-carbohydrate diet, you can not remove food products, for enterotype No.2 with a carbohydrate diet, reduce the amount of foods with a high content of proteins and fats, for enterotype No.3 with a carbohydrate-fat diet reduce the amount of foods high in protein; 6) remove food products from the diet, the components of which cause inhibition of the synthesis of sex hormones: for women — progestogens and estrogens, for men — androgens.

Conclusion: We have proposed a highly effective way to personalize nutrition, taking into account blood groups (0(I), 0A(II), 0B(III), AB(IV)), blood Rh factor (Rh+ and Rh–), gender (α and β) and enterotypes (enterotype No.1: bacteroides (Bacteroides), enterotype No.2: Prevotella (Prevotella) and enterotype No.3: ruminococci (Ruminococcus)), which allows for precise and most personal regulation of human eating behavior.

Keywords: personalized nutrition, enterotypes, bacteroids, prevotella, ruminococci, blood group, rhesus factor, sex hormones, estrogens, androgens.

Correspondence:

Vladimir V. Litvyak

All-Russian Research Institute of Starch and Starch-containing Raw Materials Processing — Branch of Russian Potato Research Centre
11, Nekrasov Str., Kraskovo,
Lyuberetsky District, Moscow
region, 140051, Russian Federation
E-mail: besserk1974@mail.ru,
vniik@arrisp.ru

Conflict of interest:

The author report the absence of a conflict of interest.

Received: 10.01.2023

Accepted: 07.03.2023

Published: 31.03.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Litvyak, V. V., Shylau, V. V., Kuzina, L. B., & Roslyakov, Yu. F. (2023). The method of personalized nutrition considering genetically determined factors. *FOOD METAENGINEERING*, 1(1), 27-62. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.5>

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на значительные достижения современной диетологии (Барановский, 2011; Конь, 2012), она все еще содержит целый ряд дискуссионных аспектов. Одним из которых является отсутствие универсальности диетологического подхода, опирающегося на персонафикацию питания. Разработаны различные диеты для снижения веса¹ (Барановский, 2011; Конь, 2012), палеодиета (Lindeberg, 2007; Osterdahl, 2008; Jönsson, 2009; Masharani, 2015; Manheimer, 2015; Genoni 2016), веганская диета (Spencer, 2003; Rosell, 2006; Barnard, 2009; Sinha, 2009; Neacsu, 2014; Grant, 2014; Larsson, 2014; Dinu, 2017;), низкоуглеводные диеты (Foster, 2003; Stern, 2004; Westman, 2007; Brinkworth, 2009; Hernandez, 2010; von Geijer, 2015), диета Дюкана (Foster, 2010; Gillespie, 2015; Vink, 2016), диета с низким содержанием жиров (Ard, 2000; Swank, 2003; Roberts, 2006; 2007; Esselstyn Jr, 2014), диета Аткинса (Aude, 2004; Daly, 2006; Brinkworth, 2009; Hession, 2009; Santos, 2012), зональная диета (Agus, 2000; Ebbeling, 2005; Gardner, 2007; Stulnig, 2007), интервальное голодание (Blackman, 2002; Heilbronn, 2005; Martin, 2006; Martin, 2007; Varady, 2009; Varady, 2011; Johnstone, 2015).

Основоположники палеодиеты, например, призывают употреблять те же продукты, которые ели наши предки охотники-собиратели до того, как появилось сельское хозяйство. Обоснование диеты состоит в том, что большинство современных болезней могут быть связаны с потреблением зерновых, молочных продуктов и продуктов, подвергшихся технологической обработке. Палеодиета делает упор на цельные продукты, нежирный белок, овощи, фрукты, орехи и семена, но не рекомендует обработанные продукты, сахар, молочные продукты и злаки. Более гибкие версии палеодиеты допускают употребление молочных продуктов (сыр и масло), а также клубнеплодов (картофель и сладкий картофель). Ряд исследователей показали, что палеодиета может привести к значительной потере веса, потому что люди, соблюдающие палеодиету, потребляют гораздо меньше углеводов, больше белка и снижают потребление калорий на 300–900 калорий в день (Lindeberg, 2007; Osterdahl, 2008; Jönsson, 2009). Эта диета оказалась эффективной в снижении факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний, таких как уровень холестерина, триглицеридов, сахара в крови и артериальное давление (Masharani,

2015; Manheimer, 2015; Genoni 2016). К недостаткам палеодиеты относят исключение из рациона цельнозерновых, бобовых и молочных продукты, которые полезны и питательны.

Веганская диета ограничивает употребление всех продуктов животного происхождения по этическим, экологическим или медицинским причинам. Это самая строгая форма вегетарианства. Помимо отказа от мяса, она исключает молочные продукты, яйца и продукты животного происхождения, такие как желатин, мед, альбумин, сыворотку, казеин и некоторые формы витамина D3. Веганская диета эффективна для похудения и не требует подсчета калорий, поскольку низкое содержание жира и высокое содержание клетчатки в потребляемых продуктах дольше сохраняют чувство сытости. Веганские диеты неизменно связаны с более низкой массой тела и индексом массы тела (ИМТ) по сравнению с другими диетами (Spencer, 2003; Rosell, 2006). Тем не менее, веганские диеты не более эффективны для похудения, чем другие диеты (Neacsu, 2014). Потеря веса на веганских диетах в первую очередь связана с уменьшением потребления калорий. Другие преимущества: диеты на растительной основе связаны со снижением риска сердечных заболеваний, диабета 2 типа и преждевременной смерти (Barnard, 2009; Dinu, 2017). Ограничение переработанного мяса также может снизить риск развития болезни Альцгеймера и смерти от сердечно-сосудистых заболеваний или рака (Sinha, 2009; Grant, 2014; Larsson, 2014). Вместе с тем, вследствие полного исключения продуктов животного происхождения, сторонники указанной диеты испытывают недостаток некоторых питательных веществ, включая незаменимую аминокислоту лизин, витамин B12, витамин D, йод, железо, кальций, цинк и омега-3 жирные кислоты (Dong, 1982; Everaert, 2011).

Низкоуглеводные диеты подразделяются на несколько типов, но все они предполагают ограничение потребления углеводов до 20–150 г в день. Основная цель такой диеты — заставить тело использовать больше жиров в качестве «топлива», не используя углеводы в качестве основного источника энергии. Низкоуглеводные диеты подразумевают потребление неограниченного количества белков и жиров, строго ограничивая потребление углеводов. Когда потребление углеводов крайне ограничено, жирные кислоты попадают в кровь

¹ Барановский, А. Ю. (Ред.). (2012). Диетология (руководство) (4-е изд.). СПб.: Питер.

и транспортируются в печень, где некоторые из них превращаются в кетоны, которые в отсутствие углеводов используются в качестве основного источника энергии. Проведенные исследования показывают, что диеты с низким содержанием углеводов чрезвычайно полезны для снижения веса, особенно у людей с избыточным весом и ожирением (Foster, 2003; Brinkworth, 2009; Hernandez, 2010). Люди на низкоуглеводной диете обычно достигают состояния, называемого кетозом¹.

Исследования демонстрируют, что кетогенные диеты приводят к потере веса более чем в два раза по сравнению с диетой с низким содержанием жиров и ограничением калорий (Stern, 2004). Диеты с низким содержанием углеводов, как правило, снижают аппетит, что приводит к автоматическому снижению потребления калорий. Кроме того, низкоуглеводные диеты успешно нивелируют основные факторы риска ряда заболеваний, таких как уровень триглицеридов в крови, уровень холестерина, уровень сахара в крови, уровень инсулина и артериальное давление (Brinkworth, 2009). Недостаток низкоуглеводных диет заключается в том, что они подходят не всем. Зафиксировано, что некоторых последователей диеты может наблюдаться повышение уровня холестерина ЛПНП (Westman, 2007). В редких случаях диеты с очень низким содержанием углеводов могут вызвать серьезное осложнение, называемое недиабетическим кетоацидозом. Это состояние чаще встречается у кормящих женщин и может привести к летальному исходу, если его не лечить (von Geijer, 2015).

Диета Дюкана ориентирована на высокое содержание белка и низкое содержание углеводов. Диета включает четыре фазы: две фазы для похудения и две поддерживающие фазы. Каждая фаза следует особому режиму питания. Этапы похудения основаны на употреблении неограниченного количества продуктов с высоким содержанием белка и овсяных отрубей. Другие фазы включают добавление некрахмалистых овощей, за которыми следуют углеводы и жиры. Проведенные исследования свидетельствуют, что диеты с высоким содержанием белка и низким содержанием углеводов эффективны в отношении снижения веса (Foster, 2010; Gillespie, 2015), поскольку способствует высокой скорости метаболизма, снижению уровня гормона голода гре-

лина и повышению уровня лептина — гормона сытости (Gillespie, 2015). Диета Дюкана ограничивает как употребление жиров, так и углеводов, а эта стратегия не имеет доказательной базы. Напротив, потребление жиров в рамках высокобелковой диеты, по-видимому, увеличивает скорость метаболизма по сравнению с диетами с низким содержанием углеводов и низким содержанием жиров. Более того, быстрая потеря веса, достигаемая за счет жесткого ограничения калорий, имеет тенденцию вызывать значительную потерю мышечной массы. Потеря мышечной массы и резкое ограничение калорий также могут привести к тому, что человеческое тело будет экономить энергию, что позволит очень легко восстановить вес после его потери (Vink, 2016). Помимо потери веса, в научной литературе не зафиксированы другие преимущества диеты Дюкана. Диета с низким содержанием жиров ограничивает потребление жиров до 10% от дневной нормы калорий и обеспечивает около 30% калорий в виде жира. Исследования показывают, что эта диета неэффективна для снижения веса в долгосрочной перспективе. Сторонники диеты с низким содержанием жиров утверждают, что традиционные диеты с низким содержанием жиров содержат недостаточно жиров и что потребление жиров должно оставаться ниже 10% от общего количества калорий, чтобы обеспечить потерю веса (Ju Young Kim, 2021). Эта диета в основном состоит из растений и содержит ограниченное количество продуктов животного происхождения. Поэтому в её рационе обычно очень много углеводов (около 80% калорий) и мало белка (10% калорий). Диета с низким содержанием жиров оказалась успешной для снижения веса людей с ожирением (Ard, 2000). Проведенные исследования показывают, что диеты с ультранизким содержанием жиров могут нивелировать несколько факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний, включая высокое кровяное давление, высокий уровень холестерина и маркеры воспаления (Roberts, 2007; Esselstyn, 2014). Данная диета с высоким содержанием углеводов и низким содержанием жиров также может привести к значительному улучшению состояния при диабете 2 типа (Roberts, 2006). Кроме того, диета способствует замедлению прогрессирования рассеянного склероза — аутоиммунного заболевания, поражающего головной и спинной мозг и зрительные нервы в глазах (Swank, 2003). Недостаток диеты с низ-

¹ Кетоз — это метаболическое состояние, при котором организм использует в качестве основного источника энергии жир и кетоны, а не глюкозу (сахар).

ким содержанием жиров состоит в том, что ограничение жира может вызвать долгосрочные проблемы, т.к. жир выполняет ряд важных функций. К ним относятся участие в построении клеточных мембран и гормонов, а также в усвоении жирорастворимых витаминов (Albahrani, 2016). Более того, низкожировая диета ограничивает потребление многих полезных продуктов, не отличается разнообразием и ее чрезвычайно трудно соблюдать.

Диета Аткинса — самая известная низкоуглеводная диета для похудения. Основная причина, по которой низкоуглеводные диеты так эффективны для похудения, заключается в том, что они снижают аппетит. Диета Аткинса разделена на четыре фазы. Она начинается с фазы индукции, во время которой потребляется менее 20 г углеводов в день в течение двух недель. Другие этапы диеты включают медленное возвращение углеводов в рацион по мере приближения к целевому весу. Диета Аткинса приводит к более быстрой потере веса, нежели диеты с низким содержанием жиров (Mahdi, 2016). Они особенно эффективны в уменьшении висцерального жира, который накапливается в брюшной полости. Проведенные исследования показывают, что диеты с низким содержанием углеводов, такие как диета Аткинса, могут снизить многие факторы риска заболеваний, включая триглицериды в крови, холестерин, уровень сахара в крови, инсулин и артериальное давление (Aude, 2004; Daly, 2006; Brinkworth, 2009). По сравнению с другими диетами для похудения низкоуглеводные диеты более эффективно снижают уровень сахара в крови, холестерин, триглицериды и маркеры воспаления (Hession, 2009; Santos, 2012). Однако, как и другие диеты с очень низким содержанием углеводов, диета Аткинса безопасна и полезна для большинства людей, но в редких случаях может вызвать проблемы.

Зональная диета — это диета с низкой гликемической нагрузкой, в которой углеводы ограничивают до 35–45% суточных калорий, а белки и жиры — до 30%. Рекомендуется принимать в пищу только углеводы с низким гликемическим индексом (ГИ). Зональная диета изначально была разработана для уменьшения вызванного ограничениями в питании воспаления, снижения веса и снижения риска хронических заболеваний. Зональная диета рекомендует сбалансировать каждый прием пищи путем употребления $\frac{1}{3}$ белка, $\frac{2}{3}$ ярких фруктов и овощей и небольшим количеством жира, а именно мононенасыщенного масла, такого как олив-

ковое масло, авокадо или миндаль. Она также ограничивает потребление углеводов с высоким ГИ, таких как бананы, рис и картофель. Исследования диет с низким ГИ довольно противоречивы. В то время как некоторые исследования свидетельствуют о том, что подобная диета способствует снижению веса и снижению аппетита, другие демонстрируют очень небольшую потерю веса по сравнению с другими типами диет (Agus, 2000; Ebbeling, 2005; Gardner, 2007). Самым большим преимуществом зональной диеты является снижение факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний, таких как снижение уровня холестерина и триглицеридов. Зональная диета может улучшить контроль уровня сахара в крови и уменьшить хроническое воспаление у людей с избыточным весом или ожирением с диабетом 2 типа (Stulnig, 2007). Один из немногих недостатков этой диеты заключается в том, что она ограничивает потребление некоторых полезных источников углеводов, таких как бананы и картофель.

Интервальное голодание циклически переключает организм человека между периодами голодания и приемом пищи. Вместо того, чтобы ограничивать продукты, контролируется процесс их потребления. Таким образом, эту диету можно рассматривать скорее как схему питания. Наиболее популярные способы интервального голодания:

- (1) Метод 16/8: включает пропуск завтрака и ограничение ежедневного периода приема пищи до восьми часов, а затем голодание в течение оставшихся 16 часов дня.
- (2) Метод «ешь-стоп-ешь»: включает 24-часовые голодания один или два раза в неделю, но не каждый день.
- (3) Диета 5:2: два дня в неделю ограничивают потребление пищи до 500–600 калорий, но не ограничивают потребление в течение пяти оставшихся дней.
- (4) Диета воина: употребляют небольшое количество сырых фруктов и овощей в течение дня и один большой прием пищи на ночь.

Интервальное голодание обычно используется с целью снижения веса, поскольку оно позволяет относительно безболезненно ограничить калории. Интервальное голодание вызывает потерю веса на 3–8% в течение периода от 3 до 24 недель, что на фоне большинства диет для похудения является значимым результатом (Johnstone, 2015). В дополнение к меньшей потере мышечной массы, чем стандартное ограничение калорий, оно способствует увеличению скорости метаболизма на 3,6–14%

(Varady, 2011; Johnstone, 2015). Другие преимущества: интервальное голодание может снизить маркеры воспаления, уровень холестерина, триглицеридов в крови и уровень сахара в крови (Varady, 2009). Кроме того, прерывистое голодание было связано с повышением уровня соматотропина, улучшением чувствительности к инсулину, улучшением восстановления клеток и изменением экспрессии генов (Blackman, 2002; Martin, 2006). *Недостаток диеты:* хотя прерывистое голодание безопасно для хорошо питающихся и здоровых людей, оно подходит не всем. В некоторых исследованиях отмечается, что это не так полезно для женщин, как для мужчин (Heilbronn, 2005; Martin, 2007). Кроме того, некоторым людям следует избегать поста, в том числе тем, кто чувствителен к падению уровня сахара в крови, беременным женщинам, кормящим матерям, подросткам, детям и людям с недостаточным питанием, недостаточным весом или дефицитом питательных веществ.

Основными недостатками современных диетологических систем является, прежде всего, отсутствие универсальности. Современные диеты узконаправленны и предназначены для устранения одного определенного негативного состояния (ожирения или худобы или язвы или сахарного диабета и т.д.).

Одним из наиболее перспективных направлений исследований современной диетологии является создание концепции персонализированного питания с учетом генетически детерминированных факторов (кишечной микрофлоры, групп крови и резус факторов, гендерной идентичности). В настоящее время в диетологии активно исследуются особенности персонализированного питания на основе кишечных микробных энтеротипов подробно описанных в ряде научных работ (Qin, 2010; Arumugam, 2011; Yatsunenko, 2012; Zeevi, 2015).

Широко известно персонализированное питание с учетом групп крови (Д'Адамо, 2002; 2003; 2013; Хесман-Козарис, 2004). Основоположителем диетологии основанной на группах крови является Питтер Д'Адамо, который на основе реакции агглютинации разработал системы питания для людей с разными группами крови (Д'Адамо, 2002; 2003; 2013; Хесман-Козарис, 2004). Диета по группе крови явилась первой попыткой персонализации питания. В 1996 г. П. Д'Адамо заявил, что выбор приправ, специй и даже физических упражнений должен зависеть от группы крови (Д'Адамо, 2002; 2003; 2013), руководствуясь рекомендациями согласно диете по группам крови:

- (1) Люди с группой крови О должны выбирать продукты с высоким содержанием белка и есть много мяса, овощей, рыбы и фруктов, но ограничивать зерновые, бобовые и бобовые. Для похудения лучше всего подходят морепродукты, водоросли, красное мясо, брокколи, шпинат и оливковое масло; следует избегать пшеницы, кукурузы и молочных продуктов.
- (2) Людям с группой крови А следует выбирать фрукты, овощи, тофу, морепродукты, индейку и цельнозерновые продукты, но избегать мяса. Для похудения лучше всего подходят морепродукты, овощи, ананас, оливковое масло и соя; следует избегать молочных продуктов, пшеницы, кукурузы и фасоли.
- (3) Людям с группой крови В следует выбирать разнообразную диету, включающую мясо, фрукты, молочные продукты, морепродукты и злаки. Чтобы похудеть, людям типа В следует выбирать зеленые овощи, яйца, печень и чай с лакрицей, но избегать курицы, кукурузы, арахиса и пшеницы.
- (4) Людям с группой крови АВ следует потреблять молочные продукты, тофу, баранину, рыбу, зерновые, фрукты и овощи. Для похудения лучше всего подходят тофу, морепродукты, зеленые овощи и водоросли, но следует избегать курицы, кукурузы, гречки и фасоли.

Основная гипотеза диеты по группе крови заключается в том, что люди с разными группами крови по-разному метаболизируют лектины. Лектины представляют собой разнообразное семейство белков, которые могут связывать молекулы углеводов. Эти вещества считаются антинутриентами и могут оказывать негативное влияние на слизистую оболочку кишечника (Vasconcelos, 2004). Согласно теории диеты по группе крови, в рационе присутствует много лектинов, которые специально нацелены на разные группы крови АВ0. Утверждается, что употребление в пищу определенных типов лектинов может привести к агглютинации (слипанию) эритроцитов. Существуют доказательства того, что небольшой процент лектинов в сырых, не подвергнутых тепловой обработке бобовых может иметь агглютинирующую активность, характерную для определенной группы крови (Sharon, 2004). Например, сырая фасоль может взаимодействовать только с красными кровяными тельцами у людей с группой крови А (Sharon, 2004). В настоящее время имеются убедительные доказательства того, что люди с определенными группами крови

могут иметь более высокий или более низкий риск некоторых заболеваний (Yamamoto, 2012). В частности, люди с группой крови О имеют более низкий риск сердечных заболеваний, но более высокий риск язвы желудка (He, 2014).

Ряд диетологов и врачей, вместе с тем, считают, что не существуют ни научные данные, подтверждающие гипотезу о диете по группе крови, ни клинические доказательства того, что она улучшает здоровье (Cusack, 2012; Henry, 2000; Roberts 2001). В одном из исследований изучался индекс массы тела, артериальное давление, уровень холестерина и инсулина в сыворотке крови у молодых людей и оценивался их рацион в течение месяца в контексте диеты по группе крови. Хотя между этими группами были выявлены значительные различия в исследованных показателях, не было обнаружено значительной связи между диетой и этими показателями (Wang, 2014). Еще одно исследование продемонстрировало, что у людей, придерживающихся веганской диеты с низким содержанием жиров, не было обнаружено связи между группой крови и уровнем липидов или другими метаболическими показателями (Barnard, 2021).

В ряде других проведенных исследований была установлена положительная связь между диетой по группы крови АВО и состоянием здоровья (Langman, 1966; Mäkituokko, 2012). Mäkituokko и соавторы (2012) продемонстрировали, что группа крови АВО участвует в формировании качественного и количественного состава кишечной микробиоты. В частности, микробиота лиц, несущих антиген В, отличалась от групп, не несущих этого признака, а также демонстрировала более высокое разнообразие бактерий родов *Eubacterium rectal-Clostridium coccoides* (EREC) и *Clostridium leptum* (CLEPT) по сравнению с другими группами крови. Это факт указывает на то, что группа крови АВО является одним из генетически детерминированных факторов хозяина, модулирующих состав кишечной микробиоты человека, что открывает новые возможности для применения в области персонализированного питания и медицины.

В 2015 г. чешские ученые опубликовали результаты исследования, посвященного резус-отрицательным людям. Было установлено, что у Rh--мужчин чаще, чем у мужчин Rh+ наблюдались аллергии (особенно их кожные проявления), анемия, тиреоидит, болезни печени и диарея. Однако они реже подвержены целиакии, проблемам с пищеварением, болезням желчного пузыря,

и некоторым видам рака — все эти патологии были больше свойственны резус-положительным мужчинам. У женщин с отрицательным резусом, по сравнению с респондентами с положительным резусом, чаще наблюдаются псориаз, поносы и запоры, диабет 2 типа. В то же время Rh--женщины реже страдали от гипогликемии. В целом, результаты исследования указывают, что у Rh--людей чуть выше риски повреждения некоторых систем организма в первую очередь иммунной системы, включая аутоиммунные заболевания, такие как ревматоидный артрит. Они менее устойчивы к бактериальному вторжению. Предполагается, что белок RhD задействован в выведении из клетки аммиака — продукта белкового катаболизма. Так, известно, что концентрация аммония в эритроцитах в 3 раза выше, чем в плазме крови. Возможно, что RhD-белок задействован в захвате его и переносе в почки и печень (Flegr, 2015).

Важным генетически детерминированным аспектом в концепции персонализированного питания является гендерная принадлежность (Дедов, 2007; Дедов, 2013; Сирковская, 2020; Ефремов, 2017; Моргенталер, 2016; Ботоева, 2010). Пищевые продукты значительно отличаются по химическому составу и способны оказывать различное влияние на биохимию половых гормонов человека: мужского полового гормона тестостерона и женских половых гормонов — эстрогенов (Дедов, 2007; Дедов, 2013; Сирковская, 2020). В некоторых пищевых продуктах содержится большое количество фитоэстрогенов и они способны стимулировать в организме человека биосинтез женских половых гормонов (Ботоева, 2010). Выработка мужского полового гормона тестостерона также способна контролироваться пищевым поведением (Ефремов, 2017; Моргенталер, 2016).

Каждая из приведенных систем персонализированного питания рассматривает один из генетически детерминированных критериев (или кишечную микрофлору или группы крови или гендерную принадлежность) и игнорирует остальные. Поэтому ни одна из данных систем не является универсальной и не может полностью соответствовать требованию адекватного персонализированного питания. Цель данного исследования — обоснование разработки способа персонализированного питания с учетом генетически обусловленных факторов (иммунного статуса крови (группы крови и резус-фактор), гендерной специфичности (мужчина или женщина) и кишечных экосистем (энтеротип № 1: бактероиды *Bacteroides*, энтеротип № 2:

превотелла *Prevotella* или энтеротип № 3: руминококки *Ruminococcus*). Объект исследований — персонифицированное пищевое поведение.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Базы данных

Поиск литературы по исследуемой проблематике осуществляли в базах данных РИНЦ, Google Scholar, ResearchGate, PubMed по ключевым словам и словосочетаниям: «персонифицированное питание», «диетология», «диета», «энтеротипы», «кишечные экосистемы», «группа крови», «резус-фактор», «генетически детерминированные факторы», «половые гормоны», «андрогены», «эстрогены», «тестостерон», «диета по группам крови», «personalized nutrition», «dietology», «diet», «enterotypes», «intestinal ecosystems», «blood type», «rhesus factor», «genetically determined factors», «sex hormones», «androgens», «estrogens», «testosterone», «diet by blood types». Период исследования с 1971 г. по 2002 г.

Источники

Критерии включения

Критериями включения литературных источников:

- (1) Доступность (возможность максимально полно ознакомиться с литературным источником).
- (2) Релевантность описанного исследования.
- (3) Научный рейтинг издания.
- (4) Язык издания (русский или английский).
- (5) Жанр источника (эмпирическое исследование, теоретическое исследование, монография, патенты на изобретения).
- (6) Тематика источника (биохимия питания, влияния питания на особенности биохимических процес-

сов человека, влияние питания на уровень половых гормонов, влияние питания на показатели крови, влияние питания на кишечную микрофлору (энтеротипы), взаимосвязь биохимии питания с генетическим контролем гомеостаза организма человека, генетическая детерминация питания и биохимии питания, диетология, разнообразие диетологических подходов, достоинства и недостатки диетологических подходов, возможность создание универсальных диетологических систем).

Критерии исключения

- (1) Недоступность источников (невозможность максимально полно ознакомиться с литературным источником).
- (2) Год публикации ранее 1971 г.
- (3) «Мусорные» издания, издания с низким научным рейтингом.
- (4) Язык издания не русский и не английский.
- (5) Жанр издания (не рассматривались ненаучные издания).
- (6) Нерелевантные тематике исследования источники.

Анализ и извлечение данных

Отобранные по ключевым словам источники сканировались вначале на основании названия, далее аннотации. Попавшие в окончательный пул статьи анализировались полнотекстово. Данные по каждому из проанализированных источников вносились в сводную диетологическую таблицу примеров персонифицированного питания с учетом генетически детерминированных факторов (иммунной системы крови, энтеротипов и гендерной принадлежности) на основании критериев включения и исключения (См. Таблицу 1).

Таблица 1

Табуляция данных

♀					П.П.	♂				
О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)			О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
B	+	–	+	+	баранина	+	–	+	+	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	–	0	0		0	–	0	0	R

Примечание. П.П. — пищевой продукт; генетически детерминированные факторы (группы крови: О(I), ОА(II), ОВ(III), АВ(IV); энтеротипы: В — Бактероиды (*Bacteroides*), Р — Превотелла (*Prevotella*), R — Руминококки (*Ruminococcus*); гендерной принадлежности: ♀ — женщины, ♂ — мужчины); степень усвояемости пищи: отличная усвояемость (+) или нейтральная усвояемость (0), плохая усвояемость (–).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проанализированные исследования по персонализации питания свидетельствуют о существовании множества разобщенных системных подходов к данной проблеме. Так, в настоящее время существуют следующие системы персонализированного питания: (1) с учетом кишечной микрофлоры (Qin, 2010; Arumugam, 2011; Yatsunenkov, 2012; Zeevi, 2015), (2) с учетом групп крови (Д'Адамо, 2013; 2003; 2002; Хесман-Козарис, 2004), (3) с учетом гендерной принадлежности (Дедов, 2007; Дедов, 2013; Сирковская, 2020; Ефремов, 2017; Моргенталер, 2016; Ботоева, 2010). Однако каждая из систем персонализированного питания рассматривает только один генетически детерминированный фактор и не учитывает другие, в результате чего не получается создать максимально полно сбалансированную концепцию персонализированного питания для поддержания гомеостаза в организме.

Объединение основных существующих в настоящее время концепций персонализированного питания и разработка обобщенных диетологических принципов персонализированного питания с учетом всех генетически детерминированных факторов позволит сохранить здоровье и активное долголетие человека. Результаты конкретного выполнения персонализированного питания с учетом всех генетически детерминированных факторов (иммунной системы крови, энтеротипов и гендерной принадлежности) представлены в Таблице 2.

Основными критериями включения пищевых продуктов в сводную диетологическую таблицу примеров персонализированного питания с учетом генетически детерминированных факторов (иммунной системы крови, энтеротипов и гендерной принадлежности) являлась хорошая и нейтральная усвояемость пищи.

При этом степень усвояемости пищи:

- для системы питания по энтеротипам основывалась на уровне глюкозы в крови,
- для системы питания по группам крови и резус-фактору по реакции агглютинации,
- для системы питания по гендерной идентичности по уровню половых гормонов.

Критерием отличной и нейтральной усвояемости пищи являлись одновременно незначительные колебания уровня глюкозы в крови, отсутствие реакции агглютинации и увеличение или незначительные изменения уровня полового гормона характерного для рассматриваемого гендера.

Критериями исключения пищевых продуктов из сводной диетологической таблицы примеров персонализированного питания с учетом генетически детерминированных факторов (иммунной системы крови, энтеротипов и гендерной принадлежности) являлась плохая усвояемость пищи. Критерием плохой усвояемости пищи являлись одновременно значительное увеличение уровня глюкозы в крови, наличие реакции агглютинации и снижение уровня полового гормона характерного для рассматриваемого гендера.

Таблица 2

Примеры персонализированного питания с учетом генетически детерминированных факторов (иммунной системы крови, энтеротипов и гендерной принадлежности)

♀					П.П.	♂				
О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)			О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)	
В	+	–	+	+	баранина	+	–	+	+	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
R	0	–	0	0		0	–	0	0	R
В	–	–	–	–	бекон	–	–	–	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
R	–	0	0	0		–	–	–	–	R
В	–	–	–	–	ветчина	–	–	–	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
R	–	0	0	0		–	0	0	0	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)		О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)	
В	+	–	0	–	говядина	+	–	0	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	–	0	–		0	–	0	–	Р
В	+	–	0	–	говяжий фарш	+	–	0	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	–	–	–		0	–	–	–	Р
В	–	–	–	–	гусятина	–	–	–	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
В	0	–	+	+	крольчатина	0	–	+	+	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	–	0	0		–	–	0	0	Р
В	0	0	–	–	куры (бройлер-ные)	0	0	–	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
В	+	0	0	+	мясо индейки	+	0	0	+	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	–	–	0		0	–	–	0	Р
В	0	0	–	–	мясо цыпленка	0	0	–	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
В	+	0	0	0	окорок	+	0	0	0	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	–	–	–		0	–	–	–	Р
В	+	–	0	0	печень	+	–	0	0	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	–	–	–		0	–	–	–	Р
В	–	–	0	0	сало	–	–	0	0	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	0	0	0		–	0	0	0	Р
В	+	0	0	0	свинина	+	0	0	0	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	–	–	–		–	–	–	–	Р
В	+	–	–	–	сердце	+	–	–	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	–	–	–		0	–	–	–	Р
В	+	–	0	–	телятина	+	–	0	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	–	–	–		0	–	–	–	Р
В	0	–	–	–	утятина	0	–	–	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
В	0	0	+	0	яйца	0	0	+	0	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	0	0	0		0	0	0	0	Р

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)		O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	–	–	0	0	зубатка	–	–	0	0	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	–	–	–	+	икра	–	–	–	+	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	0		–	–	–	0	R
B	0	–	0	–	кальмар	0	–	0	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	–	0	–		0	–	0	–	R
B	0	–	+	–	камбала	0	–	+	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	–	0	–		0	–	0	–	R
B	0	+	0	0	каarp	0	+	0	0	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	0	0	0	корюшка	0	0	0	0	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	+	+	+	+	лососевые	+	+	+	+	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	–	–	–	–	лосось (копченый)	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	+	+	+	+	макрель	+	+	+	+	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	+	0	–	0	морские водоросли	+	0	–	0	B
P	+	0	0	0		+	0	0	0	P
R	+	0	–	0		+	0	–	0	R
B	0	0	+	+	окунь морской	0	0	+	+	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	0	0	0	окунь речной	0	0	0	0	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	+	0	+	+	осетр	+	0	+	+	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		+	0	+	+	R
B	+	–	+	–	палтус	+	–	+	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	–	0	–		+	–	+	–	R
B	0	–	–	–	ракообразные	0	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	–	–	–		0	–	–	–	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)		О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)	
В	–	–	+	–	сельдь маринованная	–	–	+	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	–	0	–		–	–	0	–	Р
В	+	+	0	0	сельдь свежая	+	+	0	0	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	0	0	0		+	+	0	0	Р
В	–	–	0	–	сельдь соленая	–	–	0	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	–	0	–		–	–	0	–	Р
В	+	+	+	+	сиг	+	+	+	+	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	0	0	0		0	0	0	0	Р
В	+	+	+	+	скумбрия	+	+	+	+	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	0	0	0		+	+	+	+	Р
В	–	–	0	0	сом	–	–	0	0	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	–	0	0		–	–	0	0	Р
В	0	+	+	+	судак	0	+	+	+	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	0	0	0		0	0	0	0	Р
В	+	+	+	+	треска	+	+	+	+	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	0	0	0		0	0	0	0	Р
В	0	0	0	+	тунец	0	0	0	+	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	0	0	0		0	0	0	0	Р
В	0	–	–	–	угорь	0	0	0	0	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	–	–	–		0	0	0	0	Р
В	+	+	+	+	форель	+	+	+	+	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	0	0	0		+	+	+	+	Р
В	+	–	+	–	хек	+	–	+	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	–	0	–		0	–	0	–	Р
В	+	0	+	+	щука речная	+	0	+	+	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	0	0	0	0		0	0	0	0	Р
В	–	0	+	+	йогурт	–	–	0	0	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	–	0	0		–	–	–	–	Р
В	–	–	0	0	казеин (пищевой)	–	–	0	0	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)		O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	–	0	+	+	кефир	–	0	+	+	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	0	0		–	–	0	0	R
B	–	0	+	+	молоко козье	–	0	+	+	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	0	0		–	–	0	0	R
B	–	–	+	0	молоко обезжиренное	–	–	+	0	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	–	–	0	–	молоко цельное	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	–	–	0	0	молочная сыворотка	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	–	–	–	–	мороженное	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	–	–	0	–	сливки	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	0	–		–	–	–	–	R
B	–	0	+	+	сметана	–	0	+	+	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	0	0		–	–	0	0	R
B	–	–	0	0	сыр коровий	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	0	0		–	–	–	–	R
B	0	0	+	+	сыр овечий	–	–	0	0	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	–	0	0	–	сыр плавленый	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	0	0	+	+	сыр творожный	–	–	0	0	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	0	0		–	–	–	–	R
B	0	0	+	+	творог домашний	0	0	+	+	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	0	0		–	–	0	0	R
B	0	0	0	0	жир печени трески	0	0	0	0	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	0	–	–	маргарин	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	–	–		–	–	–	–	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)		O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	–	–	–	0	масло арахисовое	–	–	–	–	B
P	–	–	–	0		–	–	–	–	P
R	–	–	–	0		–	–	–	–	R
B	–	–	–	–	масло кокосовое	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	–	–	–	–	масло кукурузное	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	+	+	0	0	масло льняное	–	–	–	–	B
P	0	0	0	0		–	–	–	–	P
R	+	+	0	0		–	–	–	–	R
B	+	+	+	+	масло оливковое	+	+	+	+	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	+	+	+		+	+	+	+	R
B	–	–	–	–	масло подсол- нечное	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	0	–	0	–	масло сливочное	0	–	0	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	0	–	0	масло соевое	–	–	–	–	B
P	0	0	–	0		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	–	–	–	–	масло хлопковое	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	–	+	–	+	арахис	–	–	–	–	B
P	–	+	–	+		–	–	–	–	P
R	–	+	–	+		–	–	–	–	R
B	+	0	0	+	орехи грецкие	0	–	–	0	B
P	+	0	0	+		0	–	–	0	P
R	+	0	0	+		0	–	–	0	R
B	0	0	–	0	орехи кедровые	–	–	–	–	B
P	0	0	–	0		–	–	–	–	P
R	0	0	–	0		–	–	–	–	R
B	0	0	0	0	орехи миндаль- ные	–	–	–	–	B
P	0	0	0	0		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	0	0	–	–	фундук	–	–	–	–	B
P	0	0	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	–	–		–	–	–	–	R
B	–	0	+	+	семена мака	–	–	0	0	B
P	–	0	+	+		–	–	0	0	P
R	–	0	+	+		–	–	0	0	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)		O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	0	0	–	–	семена подсолнечника	–	–	–	–	B
P	0	0	–	–		–	–	–	–	P
R	0	0	–	–		–	–	–	–	R
B	0	0	–	–	семена тыквы	+	+	0	0	B
P	0	0	–	–		+	+	0	0	P
R	0	0	–	–		+	+	0	0	R
B	–	–	–	0	фисташки	–	–	–	–	B
P	–	–	–	0		–	–	–	–	P
R	–	–	–	0		–	–	–	–	R
B	0	+	+	+	бобы соевые	–	–	–	–	B
–	–	–	–	+		–	–	–	–	P
–	–	–	–	+		–	–	–	–	R
–	–	–	–	+	бобы «флотские»	–	–	–	–	B
P	–	–	+	+		–	–	–	–	P
R	–	–	+	+		–	–	–	–	R
B	0	+	–	–	бобы черные	–	–	–	–	B
P	0	+	–	–		–	–	–	–	P
R	0	+	–	–		–	–	–	–	R
B	0	0	0	0	горох стручковый	–	–	–	–	B
P	0	0	0	0		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	0	0	0	0	горошек зеленый	–	–	–	–	B
P	0	0	0	0		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	+	+	0	0	соевое молоко	–	–	–	–	B
P	+	+	0	0		–	–	–	–	P
R	+	+	0	0		–	–	–	–	R
B	+	+	0	0	соевый сыр тофу	–	–	–	–	B
P	+	+	0	0		–	–	–	–	P
R	+	+	0	0		–	–	–	–	R
B	0	0	0	0	фасоль белая	–	–	–	–	B
P	0	0	0	0		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	+	+	–	+	фасоль пятнистая	–	–	–	–	B
P	+	+	–	+		–	–	–	–	P
R	+	+	–	+		–	–	–	–	R
B	0	0	0	0	фасоль спаржевая	–	–	–	–	B
P	0	0	0	0		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	–	+	–	+	чечевица	–	–	–	–	B
P	–	+	–	+		–	–	–	–	P
R	–	+	–	+		–	–	–	–	R
B	–	–	–	0	бублики пшеничные	–	–	–	–	B
P	–	–	–	0		–	–	–	–	P
R	–	–	–	0		–	–	–	–	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)		O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	0	+	+	+	вафли рисовые	–	–	–	–	B
P	0	+	+	+		–	0	0	0	P
R	0	+	+	+		–	–	–	–	R
B	–	–	0	0	горячие булочки	–	–	–	–	B
P	–	–	0	0		–	–	0	0	P
R	–	–	0	0		–	–	–	–	R
B	0	+	–	–	гречка	–	–	–	–	B
P	0	+	–	–		0	0	–	–	P
R	0	+	–	–		–	–	–	–	R
B	–	0	–	–	крахмал кукуруз- ный	–	–	–	–	B
P	–	0	–	–		–	–	–	–	P
R	–	0	–	–		–	–	–	–	R
B	–	–	0	0	крупя манная	–	–	–	–	B
P	–	–	0	0		–	–	0	0	P
R	–	–	0	0		–	–	–	–	R
B	0	0	–	0	крупя перловая	–	–	–	–	B
P	0	0	–	0		0	0	–	0	P
R	0	0	–	0		–	–	–	–	R
B	0	0	–	0	крупя ячневая	–	–	–	–	B
P	0	0	–	0		0	0	–	0	P
R	0	0	–	0		–	–	–	0	R
B	–	0	–	–	кукуруза	–	–	–	–	B
P	–	0	–	–		–	–	–	–	P
R	–	0	–	–		–	–	–	–	R
B	–	–	0	0	макаронные изделия	–	–	–	–	B
P	–	–	0	0		–	–	0	0	P
R	–	–	0	0		–	–	–	–	R
B	0	+	–	–	мука гречневая	–	0	–	–	B
P	0	+	–	–		–	0	–	–	P
R	0	+	–	–		–	0	–	–	R
B	–	–	0	0	мука из тв. сортов пшеницы	–	–	–	–	B
P	–	–	0	0		–	–	0	0	P
R	–	–	0	0		–	–	–	–	R
B	–	0	–	–	мука кукурузная	–	–	–	–	B
P	–	0	–	–		–	–	–	–	P
R	–	0	–	–		–	–	–	–	R
B	–	+	+	+	мука овсяная	–	0	0	0	B
P	–	+	+	+		–	0	0	0	P
R	–	+	+	+		–	0	0	0	R
B	0	+	–	+	мука ржаная	–	0	–	0	B
P	0	+	–	+		–	0	–	0	P
R	0	+	–	+		–	0	–	0	R
B	–	–	–	0	мюсли	–	–	–	–	B
P	–	–	–	0		–	–	–	–	P
R	–	–	–	0		–	–	–	–	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)		O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	–	–	0	0	печенье крекер	–	–	–	–	B
P	–	–	0	0		–	–	0	0	P
R	–	–	0	0		–	–	–	–	R
B	–	0	+	0	печень овсяное	–	–	0	–	B
P	–	0	+	0		–	–	0	–	P
R	–	0	+	0		–	–	0	–	R
B	0	0	+	+	просо	–	–	0	0	B
P	0	0	+	+		–	–	0	0	P
R	0	0	+	+		–	–	0	0	R
B	0	–	0	0	пряники ржаные	–	–	–	–	B
P	0	–	0	0		–	–	–	–	P
R	0	–	0	0		–	–	–	–	R
B	–	–	–	0	пшеница	–	–	–	–	B
P	–	–	–	0		–	–	–	0	P
R	–	–	–	0		–	–	–	–	R
B	0	0	+	+	рис	–	–	–	–	B
P	0	0	+	+		–	–	0	0	P
R	0	0	+	+		–	–	–	–	R
B	0	+	–	0	рожь	–	0	–	–	B
P	0	+	–	0		–	0	–	0	P
R	0	+	–	0		–	0	–	–	R
B	–	–	–	0	хлеб зерновой	–	–	–	–	B
P	–	–	–	0		–	–	–	–	P
R	–	–	–	0		–	–	–	–	R
B	–	–	–	0	хлеб крупного помола	–	–	–	–	B
P	–	–	–	0		–	–	–	–	P
R	–	–	–	0		–	–	–	–	R
B	0	0	0	0	хлеб из спелты	–	–	–	–	B
P	0	0	0	0		–	0	0	0	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	0	0	0	0	хлеб пшенично-ржаной	–	–	–	–	B
P	0	0	0	0		–	0	0	0	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	–	0	+	0	хлеб пшеничный	–	–	0	–	B
P	–	0	+	0		–	–	0	–	P
R	–	0	+	0		–	–	0	–	R
B	0	0	–	+	хлеб ржаной	–	–	–	0	B
P	0	0	+	+		–	–	0	0	P
R	0	0	+	+		–	–	0	0	R
B	0	+	–	+	хлебцы ржаные	–	0	–	0	B
P	0	+	–	+		–	0	–	0	P
R	0	+	–	+		–	0	–	0	R
B	–	0	–	–	хлопья кукурузные	–	–	–	–	B
P	–	0	–	–		–	–	–	–	P
R	–	0	–	–		–	–	–	–	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)		O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	–	0	+	+	хлопья овсяные	–	–	0	0	B
P	–	0	+	+		–	–	0	0	P
R	–	0	+	+		–	–	0	0	R
B	–	–	–	0	хлопья пшеничные	–	–	–	–	B
P	–	–	–	0		–	–	–	0	P
R	–	–	–	0		–	–	–	–	R
B	–	0	–	0	ячмень	–	–	–	–	B
P	–	0	–	0		–	–	–	0	P
R	–	0	–	0		–	–	–	–	R
B	–	0	0	0	ваниль	–	0	0	0	B
P	–	0	0	0		–	0	0	0	P
R	–	0	0	0		–	0	0	0	R
B	0	0	0	0	гвоздика	0	0	0	0	B
P	0	0	0	0		0	0	0	0	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	+	0	0	горчица	0	+	0	0	B
P	0	+	0	0		0	+	0	0	P
R	0	+	0	0		0	0	0	0	R
B	0	0	0	0	джем	–	–	–	–	B
P	0	0	0	0		0	0	0	0	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	–	–	–	–	кетчуп	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	0	0	0	0	кориандр	0	0	0	0	B
P	0	0	0	0		0	0	0	0	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	–	0	–	0	корица	–	–	–	–	B
P	–	0	–	0		–	–	–	–	P
R	–	0	–	0		–	–	–	–	R
B	0	0	0	0	лавровый лист	0	0	0	0	B
P	0	0	0	0		0	0	0	0	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	–	–	0	майонез	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	0	–	–	0		–	–	–	–	R
B	+	+	+	+	мед	0	0	0	0	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	+	+	+	+		0	0	0	0	R
B	–	0	0	0	мускатный орех	–	0	0	0	B
P	–	0	0	0		–	0	0	0	P
R	–	0	0	0		–	0	0	0	R
B	0	0	0	0	паприка	0	0	0	0	B
P	0	0	0	0		0	0	0	0	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)		O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	+	0	+	+	перец кари	+	0	+	+	B
P	+	0	+	+		+	0	+	+	P
R	+	0	+	+		+	0	+	+	R
B	–	–	0	–	перец черный	–	–	0	–	B
P	–	–	0	–		–	–	0	–	P
R	–	–	0	–		–	–	0	–	R
B	+	0	+	+	петрушка	+	0	+	+	B
P	+	0	+	+		+	0	+	+	P
R	+	0	+	+		+	0	+	+	R
B	0	0	0	0	сахар-песок	–	–	–	–	B
P	+	+	+	+		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	–	0	0	–	соленья и маринады	–	0	0	–	B
P	–	0	0	–		–	0	0	–	P
R	–	0	0	–		–	0	0	–	R
B	0	0	0	0	тмин	0	0	0	0	B
P	0	0	0	0		0	0	0	0	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	0	0	0	укроп	0	0	0	0	B
P	0	0	0	0		0	0	0	0	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	–	–	0	–	уксус белый	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	0	0	+	0	уксус винный	0	0	+	0	B
P	0	0	+	0		0	0	+	0	P
R	0	0	+	0		0	0	+	0	R
B	0	0	+	+	уксус яблочный	0	0	+	0	B
P	0	0	+	0		0	0	+	0	P
R	0	0	+	0		0	0	+	0	R
B	0	0	0	0	фенхель	–	0	0	0	B
P	0	0	0	0		0	0	0	0	P
R	0	0	0	0		–	0	0	0	R
B	0	0	+	+	хрен	0	0	+	+	B
P	0	0	+	+		0	0	+	+	P
R	0	0	+	+		0	0	+	+	R
B	0	0	0	0	шоколад	–	–	–	–	B
P	0	0	0	0		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	+	–	+	+	батат	+	–	+	+	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	–	+	+		+	–	+	+	R
B	0	0	+	0	брюква	+	+	+	+	B
P	0	0	0	0		+	+	+	+	P
R	0	0	0	0		+	+	+	+	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)		O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	0	+	0	0	грибы (вешенка)	0	+	0	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	0	+	0	0		0	+	0	0	R
B	0	0	0	0	дайкон	0	0	0	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	0	0	0	кабачки (цукини)	0	0	0	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	–	–	+	0	капуста белокочанная	–	–	–	–	B
P	0	0	+	0		–	–	–	–	P
R	–	–	+	0		–	–	–	–	R
B	+	+	+	+	капуста брокколи	–	–	–	–	B
P	+	+	+	+		–	–	–	–	P
R	+	+	+	+		–	–	–	–	R
B	–	0	+	0	капуста брюсель- ская	–	–	–	–	B
P	0	+	+	+		–	–	–	–	P
R	–	0	+	0		–	–	–	–	R
B	–	–	+	0	капуста пекинская	–	–	–	–	B
P	0	0	+	+		–	–	–	–	P
R	–	–	+	0		–	–	–	–	R
B	–	–	+	0	капуста красноко- чанная	–	–	–	–	B
P	0	0	+	+		–	–	–	–	P
R	–	–	+	0		–	–	–	–	R
B	+	+	+	+	капуста листовая	–	–	–	–	B
P	+	+	+	+		–	–	–	–	P
R	+	+	+	+		–	–	–	–	R
B	–	–	+	+	капуста цветная	–	–	–	–	B
P	0	0	+	+		–	–	–	–	P
R	–	–	+	+		–	–	–	–	R
B	–	–	–	0	картофель	–	–	–	0	B
P	0	0	0	+		0	0	0	+	P
R	–	–	–	0		–	–	–	0	R
B	+	+	0	0	кольраби	–	–	–	–	B
P	+	+	0	0		–	–	–	–	P
R	+	+	0	0		–	–	–	–	R
B	+	+	+	+	кресс-салат	0	0	0	0	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	+	+	+	+		0	0	0	0	R
B	0	+	0	0	лук-перо	0	+	0	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	0	+	0	0		0	+	0	0	R
B	+	+	0	0	лук-порей	+	+	0	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	+	0	0		+	+	0	0	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

♀					П.П.	♂				
О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)			О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)	
В	+	+	0	0	лук репчатый	+	+	0	0	В
Р	+	+	0	0		+	+	0	0	Р
Р	+	+	0	0		+	+	0	0	Р
В	0	+	+	0	морковь	–	0	0	0	В
Р	+	+	+	+		0	0	0	0	Р
Р	0	+	+	0		–	0	0	–	Р
В	0	0	0	+	огурцы	0	0	0	+	В
Р	+	+	+	+		+	+	+	+	Р
Р	0	+	+	0		0	+	+	0	Р
В	+	+	0	+	пастернак	+	+	0	+	В
Р	+	+	+	+		+	+	+	+	Р
Р	+	+	0	+		+	+	0	+	Р
В	+	–	+	+	перец острый	+	–	+	+	В
Р	+	0	+	+		+	0	+	+	Р
Р	+	–	+	+		+	–	+	+	Р
В	0	–	+	+	перец сладкий	0	–	+	+	В
Р	0	0	+	+		0	0	+	+	Р
Р	0	–	+	+		0	–	+	+	Р
В	–	–	–	–	ревень	–	–	–	–	В
Р	0	0	0	0		0	0	0	0	Р
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
В	0	0	–	–	редис	–	–	–	–	В
Р	+	+	0	0		0	0	–	–	Р
Р	0	0	–	–		–	–	–	–	Р
В	0	0	–	–	редька	–	–	–	–	В
Р	+	+	0	0		0	0	–	–	Р
Р	0	0	–	–		–	–	–	–	Р
В	+	+	0	0	репа (турнепс)	+	+	0	0	В
Р	+	+	0	0		+	+	0	0	Р
Р	+	+	0	0		+	+	0	0	Р
В	0	0	0	0	салат кочанный	0	0	0	0	В
Р	+	+	+	+		+	+	+	+	Р
Р	0	0	0	0		0	0	0	0	Р
В	0	0	0	–	салат листовой	0	0	0	–	В
Р	+	+	+	0		+	+	+	0	Р
Р	0	0	0	–		0	0	0	–	Р
В	+	0	0	0	свекла	+	0	0	0	В
Р	+	+	+	+		+	+	+	+	Р
Р	+	0	0	0		+	0	0	0	Р
В	0	+	0	+	свекла листовая	0	+	0	+	В
Р	+	+	+	+		+	+	+	+	Р
Р	0	+	0	+		0	+	0	+	Р
В	0	0	0	+	сельдерей	0	0	0	+	В
Р	+	+	+	+		+	+	+	+	Р
Р	0	0	0	0		0	0	0	0	Р

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)		O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	0	0	0	0	спаржа	0	0	0	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	–	–	0	томаты	0	–	–	0	B
P	+	0	0	+		+	0	0	+	P
R	0	–	–	0		0	–	–	0	R
B	+	+	0	0	топинамбур	+	+	0	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	+	0	0		+	+	0	0	R
B	+	+	–	0	тыква	+	+	–	0	B
P	+	+	0	+		+	+	0	+	P
R	+	+	–	0		+	+	–	0	R
B	+	+	0	0	цикорий	+	+	0	0	B
P	+	+	0	0		+	+	0	0	P
R	+	+	0	0		+	+	0	0	R
B	–	–	0	0	шампиньоны	–	–	0	0	B
P	0	0	+	+		0	0	+	+	P
R	–	–	0	0		–	–	0	0	R
B	+	+	0	0	шпинат	–	–	–	–	B
P	+	+	+	+		–	–	–	–	P
R	+	+	0	0		–	–	–	–	R
B	–	0	–	–	авокадо	+	+	+	+	B
P	0	0	0	0		+	+	+	+	P
R	–	0	–	–		+	+	+	+	R
B	+	+	+	+	алыча	0	0	0	0	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	+	+	+	+		0	0	0	0	R
B	0	+	+	+	ананас	0	+	+	+	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	0	+	+	+		0	+	+	+	R
B	–	–	0	–	апельсин	–	–	0	–	B
P	0	0	+	0		0	0	+	0	P
R	–	–	0	–		–	–	0	–	R
B	0	0	0	0	арбуз	–	–	–	–	B
P	+	+	+	+		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	0	–	+	–	банан	0	–	+	–	B
P	+	0	+	0		+	0	+	0	P
R	0	–	+	–		0	–	+	–	R
B	0	–	–	–	барбарис	–	–	–	–	B
P	+	0	0	0		0	–	–	–	P
R	0	–	–	–		–	–	–	–	R
B	0	+	+	+	брусника	–	0	0	0	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	0	+	+	+		–	0	0	0	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)		O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	0	0	+	+	виноград	–	–	0	0	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	0	0	+	+		–	–	0	0	R
B	0	+	0	+	вишня	–	0	–	0	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	0	+	0	+		–	0	–	0	R
B	0	+	0	0	голубика	–	0	–	0	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	0	+	0	0		–	0	–	0	R
B	0	0	–	–	гранат	0	0	–	–	B
P	–	–	0	0		–	–	0	0	P
R	0	0	–	–		0	0	–	–	R
B	0	+	0	+	грейпфрут	0	+	0	+	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	+	+	+		+	+	+	+	R
B	0	0	0	0	груша	0	0	0	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	–	–	0	0	дыня	–	–	0	0	B
P	0	0	+	+		0	0	+	+	P
R	0	0	+	+		0	0	+	+	R
B	–	+	0	0	ежевика	–	0	–	–	B
P	0	+	0	0		–	0	–	–	P
R	–	+	0	0		–	0	–	–	R
B	0	0	0	0	изюм	–	–	–	–	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	+	+	+	+		0	0	0	0	R
B	+	+	0	+	инжир	0	0	–	0	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	+	+	+	+		0	0	–	0	R
B	0	0	0	+	киви	0	0	0	+	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	+	+	+		0	0	0	+	R
B	–	0	0	0	клубника	–	–	–	–	B
P	0	+	+	+		–	–	–	–	P
R	–	0	0	0		–	–	–	–	R
B	0	+	+	+	клюква	0	0	0	0	B
P	0	+	+	+		0	0	0	0	P
R	0	+	+	+		0	0	0	0	R
B	0	0	0	+	крыжовник	–	–	–	0	B
P	0	0	0	+		–	–	–	0	P
R	0	0	0	+		–	–	–	0	R
B	0	+	0	+	лимон	0	+	0	+	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	+	+	+		+	+	+	+	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

	♀				П.П.	♂				
	О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)		О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)	
В	0	0	0	0	малина	–	–	–	–	В
Р	+	+	+	+		0	0	0	0	Р
Р	0	0	0	0		–	–	–	–	Р
В	–	–	0	0	мандарин	–	–	0	0	В
Р	0	0	+	+		0	0	+	+	Р
Р	0	0	+	+		0	0	+	+	Р
В	–	–	–	0	маслины зеленые	–	–	–	–	В
Р	0	0	0	+		–	–	–	0	Р
Р	0	0	0	+		–	–	–	0	Р
В	–	–	–	0	маслины черные	–	–	–	–	В
Р	0	0	0	+		–	–	–	0	Р
Р	0	0	0	+		–	–	–	0	Р
В	0	0	0	0	нектарин	0	0	0	0	В
Р	+	+	+	+		+	+	+	+	Р
Р	+	+	+	+		+	+	+	+	Р
В	–	–	–	–	орех кокосовый	0	0	0	0	В
Р	0	0	0	0		+	+	+	+	Р
Р	–	–	–	–		0	0	0	0	Р
В	0	0	0	0	персик	–	–	–	–	В
Р	+	+	+	+		–	–	–	–	Р
Р	+	+	+	+		–	–	–	–	Р
В	+	+	+	+	слива	0	0	0	0	В
Р	+	+	+	+		0	0	0	0	Р
Р	+	+	+	+		0	0	0	0	Р
В	0	0	0	0	смородина	–	–	–	–	В
Р	+	+	+	+		0	0	0	0	Р
Р	0	0	0	0		–	–	–	–	Р
В	0	+	–	–	хурма	0	+	–	–	В
Р	+	+	0	0		+	+	0	0	Р
Р	+	+	0	0		+	+	0	0	Р
В	+	+	0	+	черешня	0	0	–	0	В
Р	+	+	0	+		0	0	–	0	Р
Р	+	+	0	+		0	0	–	0	Р
В	0	+	0	0	черника	–	0	–	–	В
Р	0	+	0	0		–	0	–	–	Р
Р	0	+	0	0		–	0	–	–	Р
В	+	+	0	0	чернослив	0	0	0	0	В
Р	+	+	+	+		0	0	0	0	Р
Р	+	+	+	+		0	0	0	0	Р
В	+	+	+	+	яблоко	–	–	–	–	В
Р	+	+	+	+		–	–	–	–	Р
Р	+	+	+	+		–	–	–	–	Р
В	0	+	0	0	абрикосовый сок	0	+	0	0	В
Р	0	+	0	0		0	+	0	0	Р
Р	0	+	0	0		0	+	0	0	Р

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

♀					П.П.	♂				
O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	O(I)		OA(II)	OB(III)	AB(IV)		
B	+	+	0	0	алычевый сок	+	+	0	0	B
P	+	+	0	0		+	+	0	0	P
R	+	+	0	0		+	+	0	0	R
B	+	+	+	0	ананасовый сок	+	+	+	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	+	+	+		+	+	+	+	R
B	–	–	0	–	апельсиновый сок	0	0	+	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	+	+	+		+	+	+	+	R
B	0	0	0	0	березовый сок	0	0	0	0	B
P	0	0	0	0		0	0	0	0	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	0	+	+	виноградный сок	–	–	0	0	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	0	0	+	+		–	–	0	0	R
B	+	+	0	+	вишневый сок	0	0	–	0	B
P	+	+	0	+		0	0	–	0	P
R	+	+	0	+		0	0	–	0	R
B	0	0	–	–	гранатовый сок	0	0	–	0	B
P	+	+	0	0		+	+	0	0	P
R	0	0	–	–		0	0	–	–	R
B	0	+	0	0	грейпфрутовый сок	0	+	0	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	+	+	+		+	+	+	+	R
B	–	0	+	+	капустный сок	–	–	–	–	B
P	0	+	+	+		–	–	–	–	P
R	–	0	+	+		–	–	–	–	R
B	0	0	+	+	клюквенный сок	–	–	0	0	B
P	0	0	+	+		–	–	0	0	P
R	0	0	+	+		–	–	0	0	R
B	0	+	0	0	лимонный сок	0	+	0	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	+	+	+		+	+	+	+	R
B	0	+	0	0	морковный сок	–	0	–	–	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	0	+	0	0		–	0	–	–	R
B	0	0	0	0	огуречный сок	0	0	0	0	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	+	0	+	сельдерейный сок	0	+	0	+	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	0	+	0	+		0	+	0	+	R
B	+	+	0	0	сливовый сок	0	0	–	–	B
P	+	+	0	0		0	0	–	–	P
R	+	+	0	0		0	0	–	–	R

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

♀					П.П.	♂				
О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)			О(I)	ОА(II)	ОВ(III)	АВ(IV)	
В	0	–	–	0	томатный сок	0	–	–	0	В
Р	0	0	0	0		0	0	0	0	Р
Р	0	–	–	0		0	–	–	0	Р
В	–	0	0	0	яблочный сидр	–	–	–	–	В
Р	0	+	+	+		–	–	–	–	Р
Р	–	0	0	0		–	–	–	–	Р
В	–	0	0	0	яблочный сок	–	–	–	–	В
Р	0	+	+	+		–	–	–	–	Р
Р	–	0	0	0		–	–	–	–	Р
В	0	+	0	+	боярышник	–	0	–	0	В
Р	0	+	0	+		–	0	–	0	Р
Р	0	+	0	+		–	0	–	0	Р
В	–	+	0	0	валерьяна	–	0	0	0	В
Р	0	+	0	0		0	+	0	0	Р
Р	–	+	0	0		–	0	0	0	Р
В	0	+	+	+	женьшень	0	+	+	+	В
Р	0	+	+	+		0	+	+	+	Р
Р	0	+	+	+		0	+	+	+	Р
В	–	+	0	0	зверобой	–	0	–	–	В
Р	–	0	0	0		–	–	–	–	Р
Р	–	+	0	0		–	0	–	–	Р
В	–	0	0	+	земляника	–	–	–	–	В
Р	0	0	0	+		–	–	–	–	Р
Р	–	0	0	+		–	–	–	–	Р
В	+	0	–	–	липа	+	0	–	–	В
Р	0	0	–	–		0	0	–	–	Р
Р	+	0	–	–		+	0	–	–	Р
В	–	+	0	+	лопух	–	+	0	+	В
Р	–	0	0	0		–	0	0	0	Р
Р	–	0	0	0		–	0	0	0	Р
В	0	+	0	0	малина	–	0	–	–	В
Р	0	0	0	0		0	0	0	0	Р
Р	0	+	0	0		–	0	–	–	Р
В	–	0	–	–	мать-и-мачиха	–	0	–	–	В
Р	–	–	–	–		–	–	–	–	Р
Р	–	0	–	–		–	0	–	–	Р
В	0	0	0	0	мята	–	–	–	–	В
Р	+	+	+	+		–	–	–	–	Р
Р	0	0	0	0		–	–	–	–	Р
В	+	0	0	0	одуванчик	0	–	–	–	В
Р	0	–	–	–		0	–	–	–	Р
Р	0	–	–	–		0	–	–	–	Р
В	+	0	+	0	петрушка	+	0	+	0	В
Р	+	+	+	+		+	+	+	+	Р
Р	+	0	+	0		+	0	+	0	Р

СПОСОБ ПЕРСОНИФИКАЦИИ ПИТАНИЯ С УЧЕТОМ ГЕНЕТИЧЕСКИ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ ФАКТОРОВ

В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков

♀					П.П.	♂				
O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)			O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	0	+	0	+	ромашка	0	0	0	0	B
P	0	+	0	+		0	0	0	0	P
R	0	+	0	+		0	0	0	0	R
B	0	0	+	+	солодковый корень	–	–	–	–	B
P	+	+	+	+		–	–	–	–	P
R	0	0	+	+		–	–	–	–	R
B	0	0	0	0	тысячелистник	–	–	–	–	B
P	0	0	0	0		–	–	–	–	P
R	0	0	0	0		–	–	–	–	R
B	0	0	0	0	чабрец	0	0	0	0	B
P	0	0	0	0		0	0	0	0	P
R	0	0	0	0		0	0	0	0	R
B	0	+	0	+	эхинацея	0	0	0	0	B
P	0	+	0	+		0	0	0	0	P
R	0	+	0	+		0	0	0	0	R
B	+	+	+	+	ягоды шиповника	0	0	0	0	B
P	0	0	0	0		–	–	–	–	P
R	+	+	+	+		0	0	0	0	R
B	0	0	0	0	вино белое	–	–	–	–	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	+	+	+	+		0	0	0	0	R
B	0	+	0	0	вино красное	–	0	–	–	B
P	+	+	+	+		0	0	0	0	P
R	+	+	+	+		0	0	0	0	R
B	+	+	+	+	вода питьевая	+	+	+	+	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	+	+	+	+		+	+	+	+	R
B	–	–	–	–	водка	–	–	–	–	B
P	–	–	0	0		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	–	–	–	–	кока-кола	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	–	–	–	–	коньяк	–	–	–	–	B
P	–	–	0	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	–	+	0	+	кофе черный	–	0	–	0	B
P	0	+	+	+		–	0	0	0	P
R	0	+	+	+		–	0	0	0	R
B	–	–	–	–	лимонад	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R
B	–	–	–	–	настойки	–	–	–	–	B
P	–	–	–	–		–	–	–	–	P
R	–	–	–	–		–	–	–	–	R

♀					П.П.	♂				
O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)			O(I)	OA(II)	OB(III)	AB(IV)	
B	0	–	0	0	пиво	0	–	0	0	B
P	0	–	0	0		0	–	0	0	P
R	0	–	0	0		0	–	0	0	R
B	+	–	–	0	содовые напитки	0	–	–	–	B
P	+	0	0	0		0	–	–	–	P
R	+	–	–	0		0	–	–	–	R
B	0	+	+	+	чай зеленый	+	+	+	+	B
P	+	+	+	+		+	+	+	+	P
R	0	+	+	+		+	+	+	+	R
B	–	0	–	–	чай черный	–	0	–	–	B
P	–	0	–	–		–	0	–	–	P
R	–	0	–	–		–	0	–	–	R

Нами предложен способ персонификации питания с учетом генетически детерминированных факторов, включающий процесс питания (физиологический акт) — подбор пищевых продуктов и поглощение их для поддержания жизни и здоровья, нормального течения физиологических процессов жизнедеятельности, в частности, для восполнения запаса энергии и реализации процессов роста и развития отличается от ранее известных способов питания тем, что подбор продуктов питания основан на генетически детерминированных факторах: иммунной системы крови — группы крови и резус-фактор, энтеротипах, а также гендерной принадлежности, при этом пищевые продукты подбирают поэтапно, согласно следующему алгоритму¹:

- (1) определяют группу крови по количеству агглютининов (α и β) в плазме, агглютиногенов (A и B) в эритроцитах и находят резус-фактор;
- (2) определяют по реакции изоагглютинации совместимость компонентов продуктов питания с компонентами иммунной системы крови: α и β -агглютининов, A- и B-агглютиногенов, а также Rh+ и Rh– резус-фактора;
- (3) исключают из рациона питания пищевые продукты, компоненты которых вызывают реакцию агглютинацию с компонентами иммунной системы крови;

- (4) определяют методом полимеразной цепной реакции доминирующий энтеротип: энтеротип № 1 бациллоиды — *Bacteroides*, энтеротип № 2 превотеллы — *Prevotella* или энтеротип № 3 руминококки — *Ruminococcus*;
- (5) и исключают из рациона продукты питания трудноусвояемые, установленному энтеротипу:
 - для энтеротипа № 1 с универсальной белково-жиро-углеводной диетой можно не исключать пищевые продукты;
 - для энтеротипа № 2 с углеводной диетой понижают количество пищевых продуктов с большим содержанием белков и жиров;
 - для энтеротипа № 3 с углеводно-жировой диетой понижают количество пищевых продуктов с большим содержанием белков.
- (6) исключают из рациона питания пищевые продукты, компоненты которых вызывают ингибирования синтеза половых гормонов: для женщин — прогестерон и эстрогены, для мужчин — андрогены.

Перед разработкой персонифицированной диеты питания проводят идентификация генетически детерминированных факторов человека:

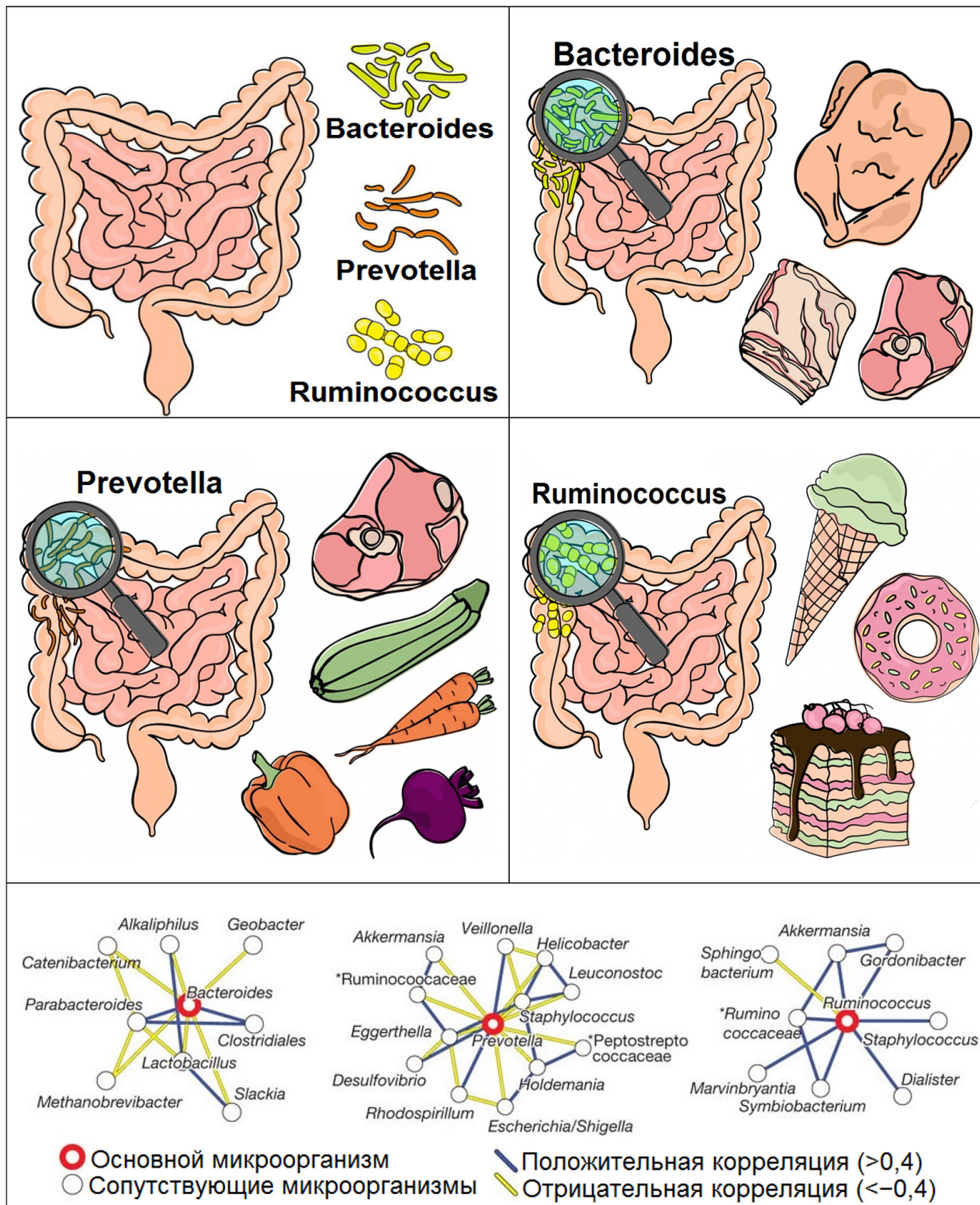
- микроорганизмы кишечных экосистем культивируют в соответствии с ГОСТ 26670².

¹ Способ персонифицированного питания с учётом генетически детерминированных факторов: Патент № 2747660. RU, МПК7 G 01N 33/50, G 01N 33/80 / В.В. Литвяк, В.В. Шилов, Л.Б. Кузина, Ю.Ф. Росляков; заявка № 2020122989; заявитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кубанский государственный технологический университет (ФГБОУ ВПО КубГТУ); заявл. 06.07.2020, опубл. 11.05.2021. Государственный реестр изобретений Российской Федерации. — Бюл. № 14. — 2021.

² ГОСТ 26670–91 «Продукты пищевые. Методы культивирования микроорганизмов».

Рисунок 1

Энтеротипы (кишечные экосистемы микроорганизмов)



Из "A Human Gut Microbial Gene Catalogue Established by Metagenomic Sequencing" by J. Qin et al., Nature, 464, p. 59-65 (<https://doi.org/10.1038/nature08821>). Copyright 2010 by Nature; "Enterotypes of the Human Gut Microbiome" by M. Arumugan et al., Nature, 473, p. 174-180 (<https://doi.org/10.1038/nature09944>). Copyright 2011 by Nature; "Human Gut Microbiome Viewed across Age and Geography" by T. Yatsunenko et al., Nature, 486, p. 222-227 (<https://doi.org/10.1038/nature11053>). Copyright 2012 by Nature.

- кишечные микробные энтеротипы идентифицируют с применением полимеразной цепной реакции (Kleppe, 1971; Bartlett, 2003; U.S. Patent 4683195; Saiki, 1985).
- группы крови и резус факторы определяют в реакции агглютинации при помощи цоликлонов или стандартных гемагглютинирующих сывороток (Минеева, 2020).
- уровень половых гормонов определяют согласно современных методов исследования (Гончаров, 2008; Гончаров, 2011).

Уровень глюкозы в крови определяют при помощи глюкометра.

В кишечнике каждого человека живет около тысячи различных видов микроорганизмов (бактерий). Этот качественный и количественный (соотношение) набор микроорганизмов индивидуален, как отпечатки пальцев. Однако из всего многообразия выделяют три основные экосистемы — энтеротипа по преобладающему микроорганизму (Рисунки 1 и 2) (Qin, 2010; Arumugam, 2011; Yatsunenکو, 2012; Zeevi, 2015):

- (1) Для энтеротипа № 1 характерно преобладание в кишечной экосистеме микроорганизмов бактероидов (*Bacteroides*) и хорошее усвоение белков, животных жиров, растительных масел и углеводов. Данная группа микроорганизмов способна синтезировать

витамины (С (аскорбиновую кислоту), В₂ (рибофлавин), В₅ (пантотеновую кислоту), В₇ (биотин)).

- (2) Для энтеротипа № 2 характерно преобладание в кишечной экосистеме микроорганизмов превотеллы (*Prevotella*) и хорошее усвоение углеводов (особенно клетчатки), а также растительных масел. Данная группа микроорганизмов способна синтезировать витамины (В₁ (тиамин) и В₉ (фолиевую кислоту)).
- (3) Для энтеротипа № 3 характерно преобладание в кишечной экосистеме микроорганизмов руминококки (*Ruminococcus*) и хорошее усвоение углеводов (особенно полисахаридов: крахмала и клетчатки), а также растительных масел.

Микробная экосистема или микробиом или энтеротип в среднем весит около 2,5 кг и состоит из триллионов микроорганизмов. Каждый энтеротип кишечника человека формируется в соответствии с долгосрочными диетическими моделями исходя из набора сельскохозяйственной продукции, выращиваемой в зоне проживания, а также возрастных предпочтений. Считается, что чем разнообразнее сообщество микроорганизмов, тем здоровее человек.

Среди наиболее важных продуктов питания повышающих уровень тестостерона можно выделить следующие: тыквенные семечки, кокос и кокосовое молоко, мака, авокадо, семена чиа, жирная рыба (Goncharov, 2009;

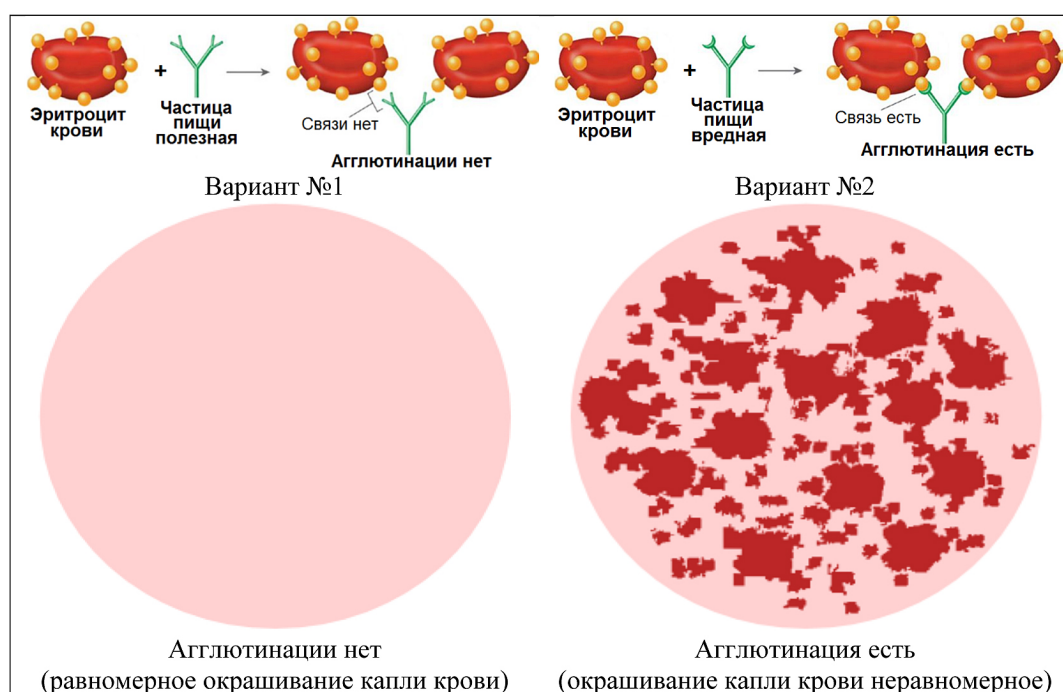
Рисунок 2

Основные функции кишечной микрофлоры в организме человека



Рисунок 3

Возможный механизм агглютинации эритроцитов крови при соприкосновении с различными частицами пищи



Caronia, 2013; Lund, 2004; Li, 2017; Volek, 1997; Maruyama, 2010; Välimäki, 1984; Armanini, 1999; Akdogan, 2004).

Важно также учитывать, что имеется большое количество пищевых продуктов, снижающих уровень тестостерона (т.е. обладающих антиандрогенным эффектом). Пищевые продукты снижают уровень тестостерона за счет повышения активности фермента ароматазы, которая превращает тестостерон в эстроген (Cherrier, 2005). Общий эффект от повышения активности ароматазы заключается в снижении уровня тестостерона и повышении уровня эстрогена. Это особенно важно для мужчин, чья активность фермента ароматазы кажется более чувствительной к пищевым триггерам: алкоголь, кофе соя, сахар, растительные масла с высоким содержанием ω -6 жирных кислот, пастеризованное молоко, плавленый сыр, свинина, бобовые культуры, клубника, шпинат, капуста, персики, яблоки, арбуз, льняное семя, шоколад, мята перечная, корень солодки и др. (Goncharov, 2009; Caronia, 2013; Lund, 2004; Li, 2017; Volek, 1997; Maruyama, 2010; Välimäki, 1984; Armanini, 1999; Akdogan, 2004).

Существует большое количество продуктов питания содержащих фитоэстрогены в большом количестве, которые могут быть полезны только женщинам: льня-

ное семя, йогурт, мороженое, пшеничный хлеб, ржаной хлеб, рис, макаронные изделия, крекеры, крупы, пшеничные отруби, соевые бобы, сухофрукты, семена кунжута, грецкие орехи, семена подсолнечника, каштаны, фисташки, арахис, тыква, брюссельская капуста, кабачки, чеснок, персики, апельсины, финики, чернослив, ягоды, тофу, крестоцветные овощи, темпе, оливки, красное вино, белое вино, пиво, черный чай, зеленый чай, кофе (Mazur, 1998; Domínguez-López, 2020).

Предложенная система персонализированного питания с учетом генетически детерминированных факторов была разработана на основании анализа различных систем питания, учитывающих индивидуальные особенности человеческого организма. Безусловно, это всего лишь концепция, которая нуждается в дополнительных исследованиях, в том числе клинических. Такие исследования предполагается провести в ближайшем будущем. А именно включение в матрицу дополнительных генетических маркеров, в частности, путем исследования генетической предрасположенности к заболеваниям с учетом генетических вариаций и потреблением питательных веществ, а также влияния различных пищевых продуктов на экспрессию генов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами предложен высокоэффективный способ персонализации питания с учетом групп крови (O(I), OA(II), OB(III), AB(IV)), резус-фактора крови (Rh+ и Rh–), гендерной принадлежности (α и β) и энтеротипов (энтеротип № 1: бактероиды (*Bacteroides*), энтеротип № 2: превотелла (*Prevotella*) и энтеротип № 3: руминококки (*Ruminococcus*)), позволяющий осуществлять точную и максимально персональную регуляцию пищевого поведения человека.

Способ персонализации питания с учетом генетически детерминированных факторов, включающий процесс питания (физиологический акт) — подбор пищевых продуктов и поглощение их для поддержания жизни и здоровья, нормального течения физиологических процессов жизнедеятельности, в частности, для восполнения запаса энергии и реализации процессов роста и развития отличается от ранее известных способов питания тем, что подбор продуктов питания основан на генетически детерминированных факторах: иммунной системы крови — группы крови и резус-фактор, энтеротипах, а также гендерной принадлежности, при этом пищевые продукты подбирают поэтапно, согласно следующему алгоритму:

- (1) определяют группу крови по количеству агглютининов (α и β) в плазме, агглютиногенов (A и B) в эритроцитах и находят резус-фактор;
- (2) определяют по реакции изоагглютинации совместимость компонентов продуктов питания с компонентами иммунной системы крови: α и β -агглютининов, A- и B-агглютиногенов, а также Rh+ и Rh– резус-фактора;
- (3) исключают из рациона питания пищевые продукты, компоненты которых вызывают реакцию агглютинации с компонентами иммунной системы крови;
- (4) определяют методом полимеразной цепной реакции преволирующий энтеротип: энтеротип № 1 бактероиды — *Bacteroides*, энтеротип № 2 превотелла — *Prevotella* или энтеротип № 3 руминококки — *Ruminococcus*;
- (5) исключают из рациона продукты питания трудноусвояемые, установленному энтеротипу: для энтеротипа № 1 с универсальной белково-жиро-углеводной диетой можно не удалять пищевые продукты, для энтеротипа № 2 с углеводной диетой понижают количество пищевые продукты с боль-

шим содержанием белков и жиров, для энтеротип № 3 с углеводно-жировой диетой понижают количество пищевые продукты с большим содержанием белков;

- (6) исключают из рациона питания пищевые продукты, компоненты которых вызывают ингибирования синтеза половых гормонов: для женщин — прогестогены и эстрогены, для мужчин — андрогены.

Дальнейшие исследования по разработке персонализированного питания. кроме приведенных нами данных, в будущем должны учитывать биохимические параметры крови (липидный профиль, маркеры воспаления, печеночные ферменты), генетическую изменчивость (показатели нутригеномики и нутригенетики), физическую активность человека, а также качественный и количественный состав микробиоты кишечника, которые затем могут быть интегрированы в алгоритм, который позволит прогнозировать метаболический постпрандиальный ответ (изменение уровня глюкозы после приема пищевых продуктов), для того чтобы сохранить его вариабельность в пределах нормы.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Владимир Владимирович Литвяк: курирование данных, написание — подготовка черновика рукописи, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Валерий Викентьевич Шилов: концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, визуализация, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Лидия Борисовна Кузина: концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, визуализация, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Юрий Федорович Росляков: концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, визуализация, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Барановский, А. Ю., Назаренко, Л. И. (2011). Диетология на современном этапе развития медицины. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология, (6), 92–100.
- Baranovsky, A. Y., & Nazarenko, L. I. (2011). Dietetics at the current stage of medicine development. *Experimental and Clinical Gastroenterology*, (6), 92–100. (In Russ.)
- Конь, И. Я. (2012). Детская (педиатрическая) диетология (нутрициология): достижения и проблемы. *Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского*, 91(3), 59–66.
- Kon, I. Y. (2012). Pediatric dietetics (nutriology): achievements and problems. *Pediatrics. G.N. Speransky Journal*, 91(3), 59–66. (In Russ.)
- Agus, M. S., Swain, J. F., Larson, C. L., Eckert, E. A., & Ludwig, D. S. (2000). Dietary composition and physiologic adaptations to energy restriction. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(4), 901–7. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.4.901>
- Akdogan, M., Ozguner, M., Kocak, A., Oncu, M., & Cicek, E. (2004). Effects of peppermint teas on plasma testosterone, follicle-stimulating hormone, and luteinizing hormone levels and testicular tissue in rats. *Urology*, 64(2), 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2004.03.046>.
- Albahrani, A. A., Greaves, R. F. (2016). Fat-soluble vitamins: clinical indications and current challenges for chromatographic measurement. *Clinical Biochemist Review*, 37(1), 27–47.
- Ard, J. D., Rosati, R., & Oddone, E. Z. (2000). Culturally-sensitive weight loss program produces significant reduction in weight, blood pressure, and cholesterol in eight weeks. *Journal of the National Medical Association*, 92(11), 515–523.
- Armanini, D., Bonanni, G., & Palermo, M. (1999). Reduction of serum testosterone in men by licorice. *The New England Journal of Medicine*, 341(15), 1158. <https://doi.org/10.1056/NEJM199910073411515>.
- Arumugam, M., Raes, J., Pelletier, E., Le Paslier, D., Yamada, T., Mende, D. R., Fernandes, G. R., Tap, J., Bruls, T., Batto, J. M., Bertalan, M., Borruel, N., Casellas, F., Fernandez, L., Gautier, L., Hansen, T., Hattori, M., Hayashi, T., Kleerebezem, M., Kurokawa, K., Leclerc, M., Levenez, F., Manichanh, C., Nielsen, H. B., Nielsen, T., Pons, N., Poulain, J., Qin, J., Sicheritz-Ponten, T., Tims, S., Torrents, D., Ugarte, E., Zoetendal, E. G., Wang, J., Guarner, F., Pedersen, O., de Vos, W. M., Brunak, S., Doré, J., & the MetaHIT Consortium, Weissenbach, J., Ehrlich, S. D., & Bork, P. (2011). Enterotypes of the human gut microbiome. *Nature*, 473, 174–180. <https://doi.org/10.1038/nature09944>.
- Aude, Y. W., Agatston, A. S., Lopez-Jimenez, F., Lieberman, E. H., Almon, M., Hansen, M., Rojas, G., Lamas, G. A., & Hennekens, C. H. (2004). The national cholesterol education program diet vs a diet lower in carbohydrates and higher in protein and monounsaturated fat: A randomized trial. *Archives of Internal Medicine*, 164(19), 2141–6. <https://doi.org/10.1001/archinte.164.19.2141>.
- Baranovsky, A. Y., & Nazarenko, L. I. (2011). Dietology at the modern stage of medicine development. *Experimental and Clinical Gastroenterology*, (6), 92–100.
- Barnard, N. D., Katcher, H. I., Jenkins, D. J. A., Cohen, J., & Turner-McGrievy, G. (2009). Vegetarian and vegan diets in type 2 diabetes management. *Nutrition Reviews*, 67(5), 255–263. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00198.x>.
- Barnard, N. D., Rembert, E., Freeman, A., Bradshaw, M., Holubkov, R., & Kahleova, H. (2021). Blood type is not associated with changes in cardiometabolic outcomes in response to a plant-based dietary intervention. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 121(6), 1080–1086. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2020.08.079>.
- Bartlett, J. M. S., & Stirling, D. (2003). A Short History of the Polymerase Chain Reaction. In *PCR protocols* (2nd ed., vol. 226, pp. 3–6). *Methods in Molecular Biology*. <https://doi.org/10.1385/1-59259-384-4.3>.
- Blackman, M. R., Sorkin, J. D., Münzer, T., Bellantoni, M. F., Busby-Whitehead, J., Stevens, T. E., Jayme, J., O'Connor, K. G., Christmas, C., Tobin, J. D., Stewart, K. J., Cottrell, E., St Clair, C., Pabst, K. M., & Harman, S. M. (2002). Growth hormone and sex steroid administration in healthy aged women and men: A randomized controlled trial. *JAMA*, 288(18), 2282–2292. <https://doi.org/10.1001/jama.288.18.2282>.
- Botoeva, E. A. (2010). On the issue of phytoestrogens (review of literature). *Bulletin of the VSNTs SO RAMS*, 72(2), 234–238.
- Brinkworth, G. D., Noakes, M., Buckley, J. D., Keogh, J. B., & Clifton, P. M. (2009). Long-term effects of a very-low-carbohydrate weight loss diet compared with an isocaloric low-fat diet after 12 mo. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90(1), 23–32. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.27326>.
- Caronia, L. M., Dwyer, A. A., Hayden, D., Amati, F., Pitteloud, N., & Hayes, F. J. (2013). Abrupt decrease in serum testosterone levels after an oral glucose load in men: Implications for screening for hypogonadism. *Clinical Endocrinology*, 78(2), 291–296. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2265.2012.04486.x>.
- Cherrier, M. M., Matsumoto, A. M., Amory, J. K., Ahmed, S., Bremner, W., Peskind, E. R., Raskind, M. A., Johnson, M., & Craft, S. (2005). The role of aromatization in testosterone supplementation:

- Effects on cognition in older men. *Neurology*, 64(2), 290–296. <https://doi.org/10.1212/01.WNL.0000149639.25136.CA>.
- Cusack, L., De Buck, E., Compernelle, V., & Vandekerckhove, P. (2013). Blood type diets lack supporting evidence: A systematic review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 98(1), 99–104. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.058693>.
- D'Adamo, P., & Whitney, C. (2002). *Eat right for your type complete blood type encyclopedia (B blood type Russian edition)*. Popurri.
- D'Adamo, P., & Whitney, C. (2002). *Eat right for your type complete blood type encyclopedia (AB blood type Russian edition)*. Popurri.
- D'Adamo, P., & Whitney, C. (2003). *Eat right for your type complete blood type encyclopedia (O blood type Russian edition)*. Popurri.
- D'Adamo, P., & Whitney, C. (2003). *Eat right for your type complete blood type encyclopedia (A blood type Russian edition)*. Popurri.
- D'Adamo, P., & Whitney, C. (2013). *Eat right 4 your type* (Russian edition). Popurri.
- Daly, M. E., Paisey, R., Millward, B. A., Eccles, C., Williams, K., Hammersley, S., MacLeod, K. M., & Gale, T. J. (2006). Short-term effects of severe dietary carbohydrate-restriction advice in type 2 diabetes - A randomized controlled trial. *Diabetic Medicine*, 1, 15–20. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2005.01760.x>.
- Dedov, I. I., & Melnichenko, G. A. (Eds.). (2013). *Endocrinology: National guide* (short ed.). GEOTAR-Media.
- Dedov, I.I., Melnichenko, G.A., & Fadeev, V.F. (2007). *Endocrinology*. GEOTAR-Media.
- Dinu, M., Abbate, R., Gensini, G. F., Casini, A., & Sofi, F. (2017). Vegetarian, vegan diets and multiple health outcomes: A systematic review with meta-analysis of observational studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(17), 3640–3649. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1138447>.
- Domínguez-López, I., Yago-Aragón, M., Salas-Huetos, A., Tresserra-Rimbau, A., & Hurtado-Barroso, S. (2020). Effects of dietary phytoestrogens on hormones throughout a human lifespan: A review. *Nutrients*, 12(8), 2456. <https://doi.org/10.3390/nu12082456>.
- Dong, A., & Scott, S. C. (1982). Serum vitamin B12 and blood cell values in vegetarians. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 26(4), 209–216. <https://doi.org/10.1159/000176565>.
- Ebbeling, C. B., Leidig, M. M., Sinclair, K. B., Seger-Shipp, L. G., Feldman, H. A., & Ludwig, D. S. (2005). Effects of an ad libitum low-glycemic load diet on cardiovascular disease risk factors in obese young adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(5), 976–82. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.5.976>.
- Efremov, E. A., Shekhovtsov, S. Y., Butov, A. O., Khizriev, Kh. Z., Kastrikin, Yu. V., & Tolstov, I. S. (2017). A modern view on the physiological effects of testosterone in men. *Experimental and Clinical Urology*, 3, 64–69.
- Esselstyn, Jr., C.B., Gendy, G., Doyle, J., Golubic, M., & Roizen, M. F. (2014). A way to reverse CAD? *Journal of Family Practice*, 63(7), 356–364b.
- Everaert, I., Mooyaart, A., Baguet, A., Zutinic, A., Baelde, H., Achten, E., Taes, Y., Heer, E. D., & Derave, W. (2011). Vegetarianism, female gender and increasing age, but not CNDP1 genotype, are associated with reduced muscle carnosine levels in humans. *Amino Acids*, 40(4), 1221–1229. <https://doi.org/10.1007/s00726-010-0749-2>.
- Flegr, J., Hoffmann, R., & Dammann, M. (2015). Worse health status and higher incidence of disorders in rheus negative subjects. *PLoS One*, 10(10), e0141606. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141362>.
- Foster, G. D., Wyatt, H. R., Hill, J. O., Makris, A. P., Rosenbaum, D. L., Brill, C., Stein, R. I., Mohammed, B. S., Miller, B., Rader, D. J., Zemel, B., Wadden, T. A., Tenhave, T., Newcomb, C. W., & Klein, S. (2010). Weight and metabolic outcomes after 2 years on a low-carbohydrate versus low-fat diet: A randomized trial. *Annals of Internal Medicine*, 153(3), 147–157. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-153-3-201008030-00005>.
- Foster, G. D., Wyatt, H. R., Hill, J. O., McGuckin, B. G., Brill, C., Mohammed, B. S., Szapary, P. O., Rader, D. J., Edman, J. S., & Klein, S. (2003). A randomized trial of a low-carbohydrate diet for obesity. *The New England Journal of Medicine*, 348(21), 2082–2090. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa022207>.
- Gardner, C. D., Kiazand, A., Alhassan, S., Kim, S., Stafford, R. S., Balise, R. R., Kraemer, H. C., & King, A. C. (2007). Comparison of the Atkins, Zone, Ornish, and LEARN diets for change in weight and related risk factors among overweight premenopausal women: The A to Z weight loss study: A randomized trial. *JAMA*, 297(9), 969–77. <https://doi.org/10.1001/jama.297.9.969>.
- Genoni, A., Lyons-Wall, P., Lo, J., & Devine, A. (2016). Cardiovascular, metabolic effects and dietary composition of Ad-Libitum Paleolithic vs. Australian guide to healthy eating diets: A 4-week randomised trial. *Nutrients*, 8(5), 314. <https://doi.org/10.3390/nu8050314>.
- Gillespie, A. L., Calderwood, D., Hobson, L., & Green, B. D. (2015). Whey proteins have beneficial effects on intestinal enteroendocrine cells stimulating cell growth and increasing the production and secretion of in-

- cretin hormones. *Food Chemistry*, 189, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.022>
- Goncharov, A., Rej, R., Negoita, S., Schymura, M., Santiago-Rivera, A., Morse, G., Akwesasne Task Force on the Environment, & Carpenter, D. O. (2009). Lower serum testosterone associated with elevated polychlorinated biphenyl concentrations in native American men. *Environmental Health Perspectives*, 117(9), 1454–1460. <https://doi.org/10.1289/ehp.0800134>.
- Goncharov, N. P. (2011). *Modern methods of hormonal analysis. Problems of Endocrinology*, 57(1), 86–91. <https://doi.org/10.14341/probl201157186-91>.
- Goncharov, N. P., & Katsia, G. V. (2008). Modern methods of testosterone determination. *Herald of Reproductive Health*, 1–2, 31–37.
- Grant, W.B. (2014). Trends in diet and Alzheimer's disease during the nutrition transition in Japan and developing countries. *Journal of Alzheimer's Disease*, 38(3), 611–620. <https://doi.org/10.3233/JAD-130719>.
- He, M., Wolpin, B., Rexrode, K., Manson, J. E., Rimm, E., & Qi, L. (2012). ABO blood group and risk of coronary heart disease in two prospective cohort studies. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 32, 2314–2320. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.112.248757>.
- Heilbronn, L. K., Civitarese, A. E., Bogacka, I., Smith, S. R., Hulver, M., & Ravussin, E. (2005). Glucose tolerance and skeletal muscle gene expression in response to alternate day fasting. *Obesity Research*, 13(3), 574–581. <https://doi.org/10.1038/oby.2005.61>.
- Henry, S., & Samuelsson, B. (2000). ABO Polymorphisms and their putative biological relationships with disease. *Human Blood Cells (Consequences of Genetic Polymorphisms and Variations)*, 2, 15–103.
- Hernandez, T. L., Sutherland, J. P., Wolfe, P., Allian-Sauer, M., Capell, W. H., Talley, N. D., Wyatt, H. R., Foster, G. D., Hill, J. O., & Eckel, R. H. (2010). Lack of suppression of circulating free fatty acids and hypercholesterolemia during weight loss on a high-fat, low-carbohydrate diet. *American Journal of Clinical Nutrition*, 91(3), 578–585. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.27909>.
- Hesman-Kozaris, A. (2004). Diets by Blood Type. SYNTEG.
- Hession, M., Rolland, C., Kulkarni, U., Wise, A., & Broom, J. (2009). Systematic review of randomized controlled trials of low-carbohydrate vs. low-fat/low-calorie diets in the management of obesity and its comorbidities. *Obesity Reviews*, 10(1), 36–50. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2008.00518.x>.
- Johnstone, A. (2015). Fasting for weight loss: an effective strategy or latest dieting trend? *International Journal of Obesity*, 39(5), 727–733. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.214>
- Jönsson, T., Granfeldt, Y., Åhrén, B., Branell, U.C., Pålsson, G., Hansson, A., & Lindeberg, S. (2009). Beneficial effects of a paleolithic diet on cardiovascular risk factors in type 2 diabetes: A randomized cross-over pilot study. *Cardiovascular Diabetology*, 8(8), 35–50. <https://doi.org/10.1186/1475-2840-8-35>.
- Kim, J. Y. (2021). Optimal diet strategies for weight loss and weight loss maintenance. *Journal of Obesity & Metabolic Syndrome*, 30(1), 20–31. <https://doi.org/10.7570/jomes20065>
- Kleppe, K., Ohtsuka, E., Kleppe, R., Molineux, I., & Khorana, H. G. (1971). Studies on polynucleotides. XCVI. Repair replications of short synthetic DNA's as catalyzed by DNA polymerases. *Journal of Molecular Biology*, 56(2), 341–361. [https://doi.org/10.1016/0022-2836\(71\)90469-4](https://doi.org/10.1016/0022-2836(71)90469-4).
- Kon, I. Y. (2012). Pediatric dietology (nutriciology): Achievements and problems. *Pediatrics. Journal Named After G.N. Speransky*, 91(3), 59–66.
- Langman, M. J., Leuthold, E., Robson, E.B., Harris, J., Luffman, J. E., & Harris, H. (1966). Influence of diet on the «intestinal» component of serum alkaline phosphatase in people of different ABO blood groups and secretor status. *Nature*, 212(5057), 41–3. <https://doi.org/10.1038/212041a0>.
- Larsson, S. C., & Orsini, N. (2014). Red meat and processed meat consumption and all-cause mortality: a meta-analysis. *American Journal of Epidemiology*, 179(3), 282–289. <https://doi.org/10.1093/aje/kwt261>.
- Li, J., & Mao, Q.-Q. (2017). Legume intake and risk of prostate cancer: a meta-analysis of prospective cohort studies. *Oncotarget*, 8(27), 44776–44784. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.16794>.
- Lindeberg, S., Jönsson, T., Granfeldt, Y., Borgstrand, E., Soffman, J., Sjöström, K., & Åhrén, B. (2007). A palaeolithic diet improves glucose tolerance more than a Mediterranean-like diet in individuals with ischaemic heart disease. *Diabetologia*, 50(9), 1795–1807. <https://doi.org/10.1007/s00125-007-0716-y>.
- Lund, T., Munson, D., Haldy, M., Setchell, K., Lephart, E., & Handa, R. (2004). Equol is a novel anti-androgen that inhibits prostate growth and hormone feedback. *Biology of Reproduction*, 70(4), 1188–1195. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.103.023713>.
- Mahdi, G. S. (2016). The Atkin's diet controversy. *Annals of Saudi Medicine*, 26(3), 244–245. <https://doi.org/10.5144/0256-4947.2006.244>
- Mäkituokko, H., Lahtinen, S.J., Wacklin, P., Tuovinen, E., Tenkanen, H., Nikkilä, J., Björklund, M., Aranko, K., Ouwehand, A.C., & Mättö, J. (2012). Association between the ABO blood group and the human intestinal microbiota composition. *BMC Microbiology*, 12, 94–98.

- Manheimer, E.W., van Zuuren, E.J., Fedorowicz, Z., & Pijl, H. (2015). Paleolithic nutrition for metabolic syndrome: systematic review and meta-analysis. *American Journal of Clinical Nutrition*, 102(4), 922–932. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.113613>
- Martin, B., Mattson, M. P., & Maudsley, S. (2006). Caloric restriction and intermittent fasting: two potential diets for successful brain aging. *Ageing Research Reviews*, 5(3), 332–353. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2006.04.002>
- Martin, B., Pearson, M., Kebejian, L., Golden, E., Keselman, A., Bender, M., Carlson, O., Egan, J., Ladenheim, B., Cadet, J., Becker, K.G., Wood, W., Duffy, K., Vinayakumar, P., Maudsley, S., & Mattson, M. P. (2007). Sex-dependent metabolic, neuroendocrine, and cognitive responses to dietary energy restriction and excess. *Endocrinology*, 148(9), 4318–4333. <https://doi.org/10.1210/en.2007-0161>
- Maruyama, K., Oshima, T., & Ohshima, K. (2010). Exposure to exogenous estrogen through intake of commercial milk produced from pregnant cows. *Pediatric International*, 52(1), 33–38. <https://doi.org/10.1111/j.1442-200X.2009.02890.x>
- Masharani, U., Sherchan, P., Schloetter, M., Stratford, S., Xiao, A., Sebastian, A., Nolte Kennedy, M., & Frassetto, L. (2015). Metabolic and physiologic effects from consuming a hunter-gatherer (Paleolithic)-type diet in type 2 diabetes. *European Journal of Clinical Nutrition*, 69(8), 944–948. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.39>
- Mazur, W. (1998). Phytoestrogen content in foods. *Baillieres Clinical Endocrinology and Metabolism*, 12(4), 729–742. [https://doi.org/10.1016/s0950-351x\(98\)80013-x](https://doi.org/10.1016/s0950-351x(98)80013-x)
- Mineeva, N. V. (2020). *Human blood groups. Basics of Immunohematology*. GANGUT.
- Morgentaler, A., Zitzmann, M., Traish, A.M., Fox, A. W., Jones, T. H., Maggi, M., Arver, S., Aversa, A., Chan, J. C. N., Dobs, A. S., Hackett, G., Hellstrom, W. J., Lim, P., Lunenfeld, B., Mskhalaya, G., Schulman, C., & Torres, L. O. (2016). Fundamental concepts related to testosterone deficiency and its treatment: consensus recommendations of a group of international experts. *Obesity and Metabolism*, 13(3), 15–31.
- Neacsu, M., Fyfe, C., Horgan, G., & Johnstone, A. M. (2014). Appetite control and biomarkers of satiety with vegetarian (soy) and meat-based high-protein diets for weight loss in obese men: A randomized crossover trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 100(2), 548–558. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.077503>
- Osterdahl, M., Kocturk, T., Koochek, A., & Wändell, P. E. (2008). Effects of a short-term intervention with a paleolithic diet in healthy volunteers. *European Journal of Clinical Nutrition*, 62(5), 682–685. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602790>
- Qin, J., Li, R., Raes, J., Arumugam, M., Burgdorf, K.S., Manichanh, C., Nielsen, T., Pons, N., Levenez, F., Yamada, T., Mende, D.R., Li, J., Xu, J., Li, S., Li, D., Cao, J., Wang, B., Liang, H., Zheng, H., Xie, Y., Tap, J., Lepage, P., Bertalan, M., Batto, J.M., Hansen, T., Le Paslier, D., Linneberg, A., Nielsen, H.B., Pelletier, E., Renault, P., Sicheritz-Ponten, T., Turner, K., Zhu, H., Yu, C., Li, S., Jian, M., Zhou, Y., Li, Y., Zhang, X., Li, S., Qin, N., Yang, H., Wang, J., Brunak, S., Doré, J., Guarner, F., Kristiansen, K., Pedersen, O., Parkhill, J., Weissenbach, J., & the MetaHIT Consortium, Bork, P., Ehrlich, S. D., & Wang, J. (2010). A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing. *Nature*, 464, 59–65. <https://doi.org/10.1038/nature08821>
- Roberts, C.K., Chen, A.K., & Barnard, R.J. (2007). Effect of a short-term diet and exercise intervention in youth on atherosclerotic risk factors. *Atherosclerosis*, 191(1), 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2006.09.011>
- Roberts, C.K., Won, D., Pruthi, S., Lin, S.S., & Barnard, R.J. (2006). Effect of a diet and exercise intervention on oxidative stress, inflammation and monocyte adhesion in diabetic men. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 73(3), 249–259. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2006.02.013>
- Roberts, D.C.K. (2001). Quick weight loss: sorting fad from fact. *The Medical Journal of Australia*, 175(11–12), 637–40. <https://doi.org/10.5694/j.1326-5377.2001.tb143759.x>
- Rosell, M., Appleby, P., Spencer, E., & Key, T. (2006). Weight gain over 5 years in 21,966 meat-eating, fish-eating, vegetarian, and vegan men and women in EPIC-Oxford. *International Journal of Obesity*, 30(9), 1389–1396. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803305>
- Saiki, R. K., Scharf, S., Faloona, F., Mullis, K. B., Horn, G. T., Erlich, H. A., & Arnheim, N. (1985). Enzymatic amplification of beta-globin genomic sequences and restriction site analysis for diagnosis of sickle cell anemia. *Science*, 230(4732), 1350–1354. <https://doi.org/10.1126/science.2999980>
- Santos, F.L., Esteves, S.S., da Costa Pereira, A., Yancy Jr, W.S., & Nunes, J.P.L. (2012). Systematic review and meta-analysis of clinical trials of the effects of low carbohydrate diets on cardiovascular risk factors. *Obesity Reviews*, 13(11), 1048–66. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2012.01021.x>
- Sharon, N., & Lis, H. (2004). History of lectins: from hemagglutinins to biological recognition molecules. *Glycobiology*, 14(11), 53R–62R. <https://doi.org/10.1093/glycob/cwh122>
- Sinha, R., Cross, A.J., Graubard, B.I., Leitzmann, M.F., & Schatzkin, A. (2009). Meat intake and mortality: A prospective study of over half a million people. *Archives of Internal Medicine*, 169(6), 562–571. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.6>
- Sirkovskaya, T.V. (2020). Gender aspects of the study of eating disorders. *Young Scientist*, 21(311), 454–458.

- Spencer, E. A., Appleby, P. N., Davey, G. K., & Key, T. J. (2003). Diet and body mass index in 38000 EPIC-Oxford meat-eaters, fish-eaters, vegetarians and vegans. *Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 27(6), 728–734. <https://doi.org/10.1038/sj.jo.0802300>
- Stern, L., Iqbal, N., Seshadri, P., Chicano, K. L., Daily, D. A., McGroary, J., Williams, M., Gracely, E. J., & Samaha, F. F. (2004). The effects of low-carbohydrate versus conventional weight loss diets in severely obese adults: One-year follow-up of a randomized trial. *Annals of Internal Medicine*, 140(10), 778–785. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-140-10-200405180-00007>
- Stulnig, T. M. (2015). The ZONE diet and metabolic control in type 2 diabetes. *Journal of the American College of Nutrition*, 34(1), 39–41. <https://doi.org/10.1080/07315724.2015.1080110>
- Swank, R.L., & Goodwin, J. (2003). Review of MS patient survival on a Swank low saturated fat diet. *Nutrition*, 19(2), 161–2. [https://doi.org/10.1016/s0899-9007\(02\)00851-1](https://doi.org/10.1016/s0899-9007(02)00851-1)
- Välimäki, M., Härkönen, M., Eriksson, C., & Ylikahri, R. (1984). Sex hormones and adrenocortical steroids in men acutely intoxicated with ethanol. *Alcohol*, 1(1), 89–93. [https://doi.org/10.1016/0741-8329\(84\)90043-0](https://doi.org/10.1016/0741-8329(84)90043-0)
- Varady, K. A. (2011). Intermittent versus daily calorie restriction: which diet regimen is more effective for weight loss? *Obesity Reviews*, 12(7), e593–601. <https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00873.x>
- Varady, K. A., Bhutani, S., Church, E. C., & Klempel, M. C. (2009). Short-term modified alternate-day fasting: A novel dietary strategy for weight loss and cardioprotection in obese adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 90(5), 1138–1143. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28380>
- Vasconcelos, I. M., Tadeu, J., & Oliveira, A. (2004). Antinutritional properties of plant lectins. *Toxicon*, 44(4), 385–403. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2004.05.005>
- Vink, R. G., Roumans, N. J. T., Arkenbosch, L. A. J., Mariman, E. C. M., & van Baak, M. A. (2016). The effect of rate of weight loss on long-term weight regain in adults with overweight and obesity. *Obesity*, 2, 321–327. <https://doi.org/10.1002/oby.21346>
- Volek, J., Kraemer, W., Bush, J., Incledon, T., & Boetes, M. (1997). Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 82(1), 49–54. <https://doi.org/10.1152/jappl.1997.82.1.49>
- von Geijer, L., & Ekelund, M. (2015). Ketoacidosis associated with low-carbohydrate diet in a non-diabetic lactating woman: A case report. *Journal of Medical Case Reports*, 9, 224–230. <https://doi.org/10.1186/s13256-015-0709-2>
- Wang, J., García-Bailo, B., Nielsen, D. E., & El-Soheemy, A. (2014). ABO genotype, 'blood-type' diet and cardiometabolic risk factors. *PLoS One*, 9(1), e84749. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084749>
- Westman, E. C., Feinman, R. D., Mavropoulos, J. C., Vernon, M. C., Volek, J. S., Wortman, J. A., Yancy, W. S., & Phinney, S. D. (2007). Low-carbohydrate nutrition and metabolism. *American Journal of Clinical Nutrition*, 86(2), 276–284. <https://doi.org/10.1093/ajcn/86.2.276>
- Wu, G. D., Chen, J., Hoffmann, C., Bittinger, K., Chen, Y. Y., Keilbaugh, S. A., Bewtra, M., Knights, D., Walters, W. A., Knight, R., Sinha, R., Gilroy, E., Gupta, K., Baldassano, R., Nessel, L., Li, H., Bushman, F. D., & Lewis, J. D. (2011). Linking long-term dietary patterns with gut microbial enterotypes. *Science*, 334, 105–108. <https://doi.org/10.1126/science.1208344>
- Yamamoto, F., Cid, E., Yamamoto, M., & Blancher, A. (2012). ABO research in the modern era of genomics. *Transfusion Medicine Reviews*, 26(2), 103–118. <https://doi.org/10.1016/j.tmr.2011.08.002>
- Yatsunenko, T., Rey, F. E., Manary, M. J., Trehan, I., Dominguez-Bello, M. G., Contreras, M., Magris, M., Hidalgo, G., Baldassano, R. N., Anokhin, A. P., Heath, A. C., Warner, B., Reeder, J., Kuczyński, J., Caporaso, J. G., Lozupone, C. A., Lauber, C., Clemente, J. C., Knights, D., Knight, R., & Gordon, J. I. (2012). Human gut microbiome viewed across age and geography. *Nature*, 486, 222–227. <https://doi.org/10.1038/nature11053>
- Zeevi, D., Korem, T., Zmora, N., Israeli, D., Rothschild, D., Weinberger, A., Ben-Yacov, O., Lador, D., Avnit-Sagi, T., Lotan-Pompan, M., Suez, J., Mahdi, A., Matot, E., Malka, G., Kosower, N., Rein, M., Zilberman-Schapira, G., Dohnalová, L., Pevsner-Fischer, M., Bikovsky, R., Halpern, Z., Elinav, E., Segal, E. (2015). Personalized nutrition by prediction of glycemic response. *Cell*, 163(5), 1079–1094. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.11.001>

Антинутриенты в растительных напитках на зерновом сырье: обзор предметного поля

М.Н. Стрижко

Всероссийский
научно-исследовательский
институт молочной
промышленности
(ФГАНУ «ВНИМИ»), г. Москва,
Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: Напитки на растительной основе на потребительском рынке позиционируются как альтернатива натуральному молоку, в том числе и по своей биологической ценности. Традиционное молоко-сырье характеризуется высокой биологической ценностью за счет оптимальной сбалансированности компонентов и легкой их усвояемости. Однако в составе растительного сырья, используемого при производстве напитков, присутствуют антипитательные вещества. Антипитательные нутриенты могут ограничивать биодоступность основных питательных веществ, что приводит к обеднению рациона человека и снижению биологической ценности пищевых продуктов.

Цель: Цель данного обзора — комплексный анализ вариативных антипитательных факторов в растительных напитках из зернового сырья с оценкой методов и условий их ингибирования.

Материалы и методы: Данный обзор предметного поля проведен в соответствии с руководящими принципами PRISMA-ScR. Для подбора статей использовались базы данных SCOPUS, ScienceDirect, Google Scholar. Поиск был произведен за период 2017-2022 гг. В результате поиска было отобрано 77 публикаций из 35 стран мира. Протокол обзора предметного поля составлен и зарегистрирован на сайте Open Science Framework (<https://osf.io/gcb3y>).

Результаты: Из 4432 отобранных публикаций 77 соответствовали критериям включения в обзор. В результате анализа отобранных публикаций были выявлены основные антипитательные вещества, которые присутствуют в зерновых напитках. К таким нутриентам относят фитиновую кислоту, фитаты, лектины, сапонины, оксалаты, ингибиторы ферментов. При этом авторы значительной части публикаций (70%), посвященных вопросу наличия антинутриентов в продукте, исследуют данный вопрос в рамках технологии получения растительных напитков. Были выделены такие тренды, как негативное и позитивное действие антинутриентов, методы ингибирования антипитательных веществ. Полученные результаты позволили выделить в отдельное новое направление нетрадиционные методы ингибирования антинутриентов, которые ранее не были зафиксированы.

Выводы: Основной областью применения результатов исследования может быть расширение научно-практической базы данных об антипитательных веществах и практическое внедрение предложенных рекомендаций в производственный цикл. Полученные данные позволят значительно повысить биологическую ценность напитков на зерновом сырье.

Ключевые слова: антинутриенты в зерне; антипитательный фактор; напитки на растительном сырье; растительные напитки — аналоги молока

Корреспонденция:

Стрижко Мария Николаевна,
Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»),
г. Москва, Люсиновская 35, корп. 7
E-mail: m_strizhko@vniimi.org

Конфликт интересов:

автор сообщает
об отсутствии конфликта
интересов.

Поступила: 05.01.2023

Принята: 25.03.2023

Опубликована: 30.03.2023

Copyright: © 2023 Автор



Для цитирования: Стрижко, М. Н. (2023). Антинутриенты в растительных напитках на зерновом сырье: обзор предметного поля. *FOOD METAENGINEERING*, 1(1), 63-89. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.3>

Antinutrients in Grain-Based Plant Drinks: Scoping Review

Maria N. Strizhko

All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIMI»), Moscow,
Russia

ABSTRACT

Introduction: Plant-based beverages in the consumer market are positioned as an alternative to natural milk, including their nutritional value. Traditional milk raw materials are characterized by high nutritional value due to the optimal balance of components and their easy digestibility. However, the plant materials used in the production of drinks contain anti-nutritional substances. Anti-nutritional nutrients can limit the bioavailability of primary nutrients, leading to impoverishment of the human diet and a decrease in the nutritional value of food products.

Purpose: The purpose of this review is a comprehensive analysis of various anti-nutritional factors in grain-based plant drinks with an assessment of methods and conditions for their inhibition.

Materials and Methods: This scoping review was conducted in accordance with the guiding principles of PRISMA-ScR. The databases SCOPUS, ScienceDirect, Google Scholar were used for article selection. The search was carried out for the period 2017–2022. As a result of the search, 77 publications from 35 countries worldwide were selected. The subject field review protocol was drafted and registered on the Open Science Framework website (<https://osf.io/gcb3y>).

Results: Out of 4432 selected publications, 77 met the inclusion criteria for the review. The analysis of the selected publications identified the main anti-nutritional substances present in grain drinks. These nutrients include phytic acid, phytates, lectins, saponins, oxalates, enzyme inhibitors. The authors of a significant portion of the publications (70%) devoted to the issue of antinutrients in the product, investigate this question within the technology of producing plant drinks. Trends such as negative and positive effects of antinutrients, methods of inhibiting anti-nutritional substances were identified. The obtained results allowed highlighting a new direction of non-traditional methods of inhibiting antinutrients, which had not been recorded before.

Conclusion: The main area of application of the research results can be the expansion of the scientific-practical database about antinutritional substances and the practical implementation of the proposed recommendations in the production cycle. The obtained data will significantly increase the nutritional value of grain-based beverages.

Keywords: grain antinutrients; anti-nutritional factor; plant-based drinks; plant milk analogues

Correspondence:

Maria Nikolaevna Strizhko,
All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (VNIIMI).
35 Lyusinovskaya, Building 7,
Moscow, Russian Federation.
E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

Conflict of interest:

The author report the absence of a conflict of interest.

Received: 05.01.2023

Accepted: 25.03.2023

Published: 30.03.2023

Copyright: © 2023 The Author



To cite: Strizhko, M. N. (2023). Antinutrients in grain-based plant drinks: Scoping review. *FOOD METAENGINEERING*, 1(1), 63-89. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.3>

ВВЕДЕНИЕ

Актуальным направлением развития пищевой промышленности является производство напитков на растительной основе, которые позиционируются как альтернатива традиционному молоку (Bocker & Silva, 2022; Clark et al., 2022). Растительное молоко представляет собой напитки — эмульсии на растительном сырье, напоминающие по внешнему виду традиционное молоко (Егорова, 2019). Исследования конъюнктуры мирового рынка подтверждают, что производство и потребление альтернативного растительного молока постоянно растет (Bayless et al., 2017; Patra et al., 2021; Vaikma et al., 2021)¹. В 2018 году рынок растительного молока оценивался в 17 млрд долларов, в 2022 — 22,6 млрд долларов США и, по прогнозам, достигнет 40,6 млрд долларов в 2027 г., что в среднем составит 10,3 % роста в стоимостном выражении². Данные тенденции свидетельствуют о значительном интересе к новому пищевому продукту. В разделении по нишам в зависимости от сырьевой базы лидирующие позиции занимают категории растительных зерновых и бобовых напитков (Aydar et al., 2020; Егорова, 2019). 50 % энергии, поступающей с пищей, приходится на зерновые продукты (Poutanen et al., 2022), что подчеркивает важность исследований напитков на зерновом сырье.

Существует несколько причин стремительно возросшего интереса потребителей к нише напитков на растительном сырье (Bocker & Silva, 2022; Muneakata et al., 2020; Stewart et al., 2020). Прежде всего, это насущная необходимость замены продуктов из традиционного коровьего молока для потребителей с аллергией на белок коровьего молока (Dhesi et al., 2020; Vanga & Raghavan, 2018; Галстян et al., 2019; Харитонов et al., 2015) и с аллергией на лактозу (Sharp et al., 2021; Wilson, 2005; Крысанова, 2022; Харитонов et al., 2012). Этот тренд потребления растительного молока поддерживают потребители-сторонники вегетарианства³ (Ruby, 2012 и здорового образа жизни (Bekiroglu et al., 2022; Graça et al., 2019). Во многих странах на государственном уровне декларируется концепция увеличения доли потребления растительных продуктов и сокраще-

ния потребления продуктов животного происхождения (Bocker & Silva, 2022; de Boer & Aiking, 2019). Отдельно исследователи отмечают тот факт, что производство напитков на растительном сырье продуцирует меньше парниковых газов и требует меньше земли по сравнению с молочной промышленностью (Vaikma et al., 2021; Егорова, 2019). В различных культурах употребление растительных напитков имеет давние корни, поскольку они исторически являлись частью их культуры пищевого потребления (Vaikma et al., 2021; Хуршудян & Семенов, 2013), в том числе в ряде регионов с засушливым климатом, где ограничено или невозможно молочное скотоводство (Cardello et al., 2022). Отсюда, предпосылка к созданию растительных напитков имеется достаточно много.

Исследования растительного молока представлены в нескольких направлениях: (1) анализ трендов потребления, которые обосновывают причины возросшего интереса к напиткам на растительном сырье (Schiano et al., 2022; Vaikma et al., 2021), (2) анализ потребительских предпочтений (Jaeger & Giacalone, 2021; Schiano et al., 2022), (3) экологический аспект производства напитков из растительного сырья (Silva & Sergiy, 2022; Tello et al., 2021). В своих трудах исследователи (Coluccia et al., 2022; Silva & Sergiy, 2022; Tello et al., 2021; Яковлева et al., 2020) развивают и доказывают тезис о том, что производство напитков на растительной основе является более экологичным и менее ресурсоемким в сравнении с традиционным молоком, что ранее было высказано (de Boer & Aiking, 2019; Mylan et al., 2019), (4) анализ с технологических аспектов производства напитков на растительной основе (Rincon et al., 2020; Tello et al., 2021), (5) сравнительный анализ растительных напитков и коровьего молока по основным параметрам пищевой ценности является отдельным трендом в изучении данной группы продуктов (Chalupa-Krebsdak et al., 2018; Silva & Sergiy, 2022). Убедительно обосновывают несомненные достоинства напитков на зерновом сырье в своих трудах (Aydar et al., 2020; Vaikma et al., 2021; Егорова, 2019). Биологическая ценность растительных зерновых напитков обусловлена тем, что в их состав входят такие ценные функциональные ингредиенты, как пище-

¹ 9 Dairy Trends for 2019 / market research report / Euromonitor. (2019). <https://www.euromonitor.com/9-dairy-trends-for-2019/report>

² Size and market share of dairy alternatives / 2020–2026 / MarketsandMarkets. (2022). <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/dairy-alternative-plant-milk-beverages-market-677.html>

³ The pros and cons of vegetable milk. (2019). Сборник Материалов LIII Международной Студенческой Научно-Практической Конференции, 188–193.

вые волокна (Wang et al., 2022), антиоксиданты (Martemucci et al., 2022; Masisi et al., 2016), а также в незначительных количествах флавоноиды (Pei et al., 2020). Данные факторы оказывают полезное влияние на организм человека, что неоднократно подтверждено научными трудами (Kaur et al. 2019; Shen et al. 2009).

Существует и ряд значительных недостатков растительных напитков, проблему которых затронули в своих трудах (Chalupa-Krebzdak et al., 2018) и глубоко развили (Bocker & Silva, 2022; Silva et al., 2020). К недостаткам растительных напитков относят низкое содержание белка (Jeske et al., 2017; Singhal et al., 2017) и несбалансированный белковый состав по показателю биологической ценности (Chalupa-Krebzdak et al., 2018), низкую стойкость эмульсии готового продукта из-за особенностей растительного состава сырья (Jeske et al., 2018), органолептические характеристики растительных напитков (Adise et al., 2015). Отдельно выделяют проблему наличия различных антипитательных веществ в растительных напитках из-за их негативных свойств. Антипитательные нутриенты могут препятствовать усвоению питательных веществ (Jeske et al., 2018) и оказывать негативное воздействие на организм человека (Chalupa-Krebzdak et al., 2018). Наличие антинутриентов в напитках приводит к снижению их биологической ценности (Chalupa-Krebzdak et al., 2018).

Проблему наличия антипитательных факторов освещают в своих трудах (Aydar et al., 2020; Bocker & Silva, 2022; Silva et al., 2020; Егорова, 2019) в разрезе общего технологического процесса и без глубокого сравнительного анализа, что не способствует системному освещению проблемы. Работы по оценке антипитательных факторов также встречаются в смежных отраслях — мукомольной промышленности (Gunawan et al., 2022), растениеводстве (Grundy et al., 2020), кормовой промышленности (Handa et al., 2020). Также, зачастую авторы исследуют проблему антинутриентов в исходном сырье без экстраполяции на весь технологический процесс производства растительных напитков (Kumar et al., 2021; Yi et al., 2022).

Автору не удалось обнаружить обзоры предметного поля, анализирующие одновременно позитивные и негативные факторы влияния всех антинутриентов растительных зерновых напитков на организм человека. Подобный обзор предметного поля позволит составить более полную базу научных основ производства растительных зерновых напитков и систематизировать дан-

ные по их биологической ценности. Комплексное освещение темы потенциально положительных свойств антинутриентов, а также пути нивелирования негативных сторон антинутриентов позволят глубоко оценить их влияние на человека. Целью данного обзора предметного поля является комплексный анализ иностранной и российской научной литературы за период 2017–2022 гг по изучению вариативных антипитательных факторов в растительных напитках из зернового сырья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Заявление о прозрачности исследования

В данном обзоре предметного поля рассмотрена существующая литература по исследуемой теме, отмечено количество имеющейся литературы, основные характеристики работ и пробелы в знании. Обзор выполнен с использованием протокола PRISMA-ScR. Протокол был зарегистрирован в Open Science Framework (<https://osf.io/gcb3y>).

Критерии отбора

В данном обзоре предметного поля рассматривались исследовательские и обзорные статьи и тезисы конференций, подходящие под критерии отбора. Анализировались статьи на всех языках и из любых регионов. Критерии отбора в соответствии с рекомендациями РСС (Population, Concept, Context — Популяция, концепция, контекст) представлены в Таблице 1.

Решение о включении или исключении публикаций в обзор предметного поля принималось автором на основе представленных критериев. Также дополнительным критерием являлось наличие доступа к полному тексту статьи. В случае отсутствия такого доступа статья исключалась на этапе идентификации.

Стратегия поиска

Поиск производился в базе данных Scopus, ScienceDirect, Scholar.google. Для поиска в Scopus, ScienceDirect данных использовались поисковые запросы, по ключевым словам, и словосочетаниям: «plant milk», «plant-based milk», «antinutrient», «antinutritional», «phytic acid», «phytates», «oxalates», «tannins», «lectins», «saponins», а также использовались операторы поиска AND, OR,

Таблица 1

Критерии отбора для обзора предметного поля

Критерий	Включение	Исключение	Обоснование
География	Все страны	Нет ограничений по странам	Был анализ распределения по странам количества научных статей в базе данных Scopus путем поиска: TITLE-ABS-KEY plant AND milk OR plant-based AND milk)) AND (antinutrient OR (antinutritional AND factor)) с ограничением по годам, с 2017 по 2022 гг., были выбраны страны-лидеры. Но итогам данного этапа принято решение оставить все страны, т.к. в рамках данного обзора предметного поля интересуют статьи из всех стран для составления полной картины обзора предметного поля.
Контекст	Объекты исследования — напитки на растительном сырье, к которым применимо определение — «аналоги молока», «аналоги молочных систем»	Не включаются статьи с обзором стандартных овощных и фруктовых напитков, из редких растений, произрастающих только в ограниченных местах	Исследование сфокусировано на изучении работ, посвященных всестороннему рассмотрению напитков на растительном сырье — аналогов традиционного коровьего молока
Концепция	Определить наличие антинутриентов в напитках на растительном сырье. Определить группы антинутриентов, в каких видах исходного сырья содержатся, как влияют на технологический процесс производства, на человека и как возможно нивелировать их действие в процессе производства напитков на растительном сырье.	Работы, фокусирующиеся исключительно на подробном рассмотрении технологических стадий производства или только описания свойств или технологических параметров получения исходного сырья.	Целью данного исследования является составлении карты информации по вопросу наличия антинутриентов в напитках на растительном сырье и проблемам их ингибирования.
Язык	Все языки		Для обеспечения широты охвата просматриваемой литературы
Период	2017–2022		Для отбора только самых новых данных по заявленной теме
Типы статей	Обзорные, эмпирические	Источники, не прошедшие рецензирование (например, веб-сайты, блоги)	
Статус публикации	Опубликованные статьи препринты и тезисы докладов конференций		Для обеспечения широты охвата поиска литературы

AND NOT. Были использованы следующие поисковые запросы:

- ((plant AND milk OR (plant-based AND milk)) AND (antinutrient OR antinutritional))
- (((plant AND milk OR (plant-based AND milk)) AND (antinutrient OR antinutritional))) AND NOT flour AND MEAT)
- ((plant AND milk OR (plant-based AND milk)) AND (lectins))
- (((plant AND milk OR (plant AND based AND milk)) AND ((cereal)) or (cereal and lectin)))
- (((plant AND milk OR (plant AND based AND milk)) AND (phytic and acid) AND phytates)))

- (phytates OR phytase OR (phytic AND acid) AND cereals) AND NOT broiler
 - ((plant AND milk OR (plant AND based AND milk) AND (Oxalates)
 - ((plant AND milk OR (plant-based AND milk)) AND (lectins))
 - ((plant AND milk OR (plant-based AND milk)) AND (saponins))
 - (((plant AND milk OR (plant-based AND milk)) AND (enzyme AND inhibitors)))
- Поисковые запросы для некоторых пунктов исследовательских вопросов Scopus, ScienceDirect также были

ограничены с помощью фильтров по областям знаний. Исключены были работы из следующих областей: «Медицина и Стоматология», «Иммунология и Стоматология», «Иммунология и микробиология», «Ветеринарные науки и ветеринарная медицина», «Фармакология, токсикология и фармацевтические науки». В поиске информации по исследовательским вопросам, касающимся влияния антинутриентов на здоровье человека, статьи из вышеобозначенных разделов были оставлены и были просмотрены и проанализированы вручную. Были ограничены и исключены на первом этапе отбора те статьи, которые содержали информацию по бройлерам и мясу.

В Google Scholar поиск производился по запросу allintitle: («plant milk» OR «plant-based milk», «antinutrient» OR «antinutritional») + («phytic acid», «phytates», «oxalates», «tannins», «lectins», «saponins»). И по запросу: (((phytic OR phytates OR oxalates OR tannins OR lectins OR saponins OR (enzyme AND inhibitors)) AND (cereals AND beverages))

Также был произведен поиск с помощью ключевых слов на русском языке по запросу: ((антинутриент OR антипитательное вещество) зерновых и злаков)), затем («растительное молоко» OR «растительный зерновой напиток» OR «зерновое молоко»).

Процесс отбора

Полученные результаты поиска рассматривались и отбирались в соответствии с протоколом PRISMA-ScR. На первом этапе список публикаций, а также информация о них извлеченная из баз данных сохранены в программном обеспечении "Zotero" в виде ссылок на веб-страницы либо в виде файлов в формате .pdf. Сохраненные работы затем были проверены в той же программой на наличие дубликатов. Также для дальнейшей работы по визуализации поисковых запросов в программном обеспечении «VOSviewer» найденные статьи были выгружены из менеджера ссылок «Zotero» и сохранены в файлах формата .ris. В случае, если полного текста публикаций обнаружить не удавалось, то статья исключалась. В случае отсутствия такого доступа полный текст работы запрашивался у авторов, если авторы работ не предоставляли доступ к тексту, то работа исключалась из обзора. После исключения дубликатов статьи подвергались скринингу на соответствие критериям отбора в два этапа. Сначала по названию и аннотации, а затем по полному тексту. Все прошедшие отбор публикации далее были включены в обзор предметного поля.

Извлечение и анализ данных

Из отобранных работ была извлечена следующая информация: имена авторов и информация о странах происхождения, цель и дизайн исследования, выводы, год публикации. Все отобранные работы также были выгружены в виде файла в формате .ris и обработаны в программном обеспечении "VOSviewer" для наглядного представления частоты встречаемости ключевых слов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты поиска и полученные данные

Из баз данных Scopus, ScienceDirect, Google Scholar было отобрано 4432 потенциально приемлемых документа. Среди них был проведен скрининг на наличие дубликатов, в результате чего были исключены 605 работ и для дальнейшего анализа было получено 3827 результатов поиска. На этапе отбора публикаций по названию и аннотации были исключены 3115 статей, не соответствующие контексту обзора предметного поля. Статьи исключались, если тематика работы касалась скотоводства, птицеводства, растениеводства, производства кормов, генетики, узкоспециализированных разделов медицины, области, касающиеся производства продуктов — заменителей мяса. При изучении полного текста 712 статей было исключено 635. Всего в обзор предметного поля включено 77 публикаций (Рисунок 1).

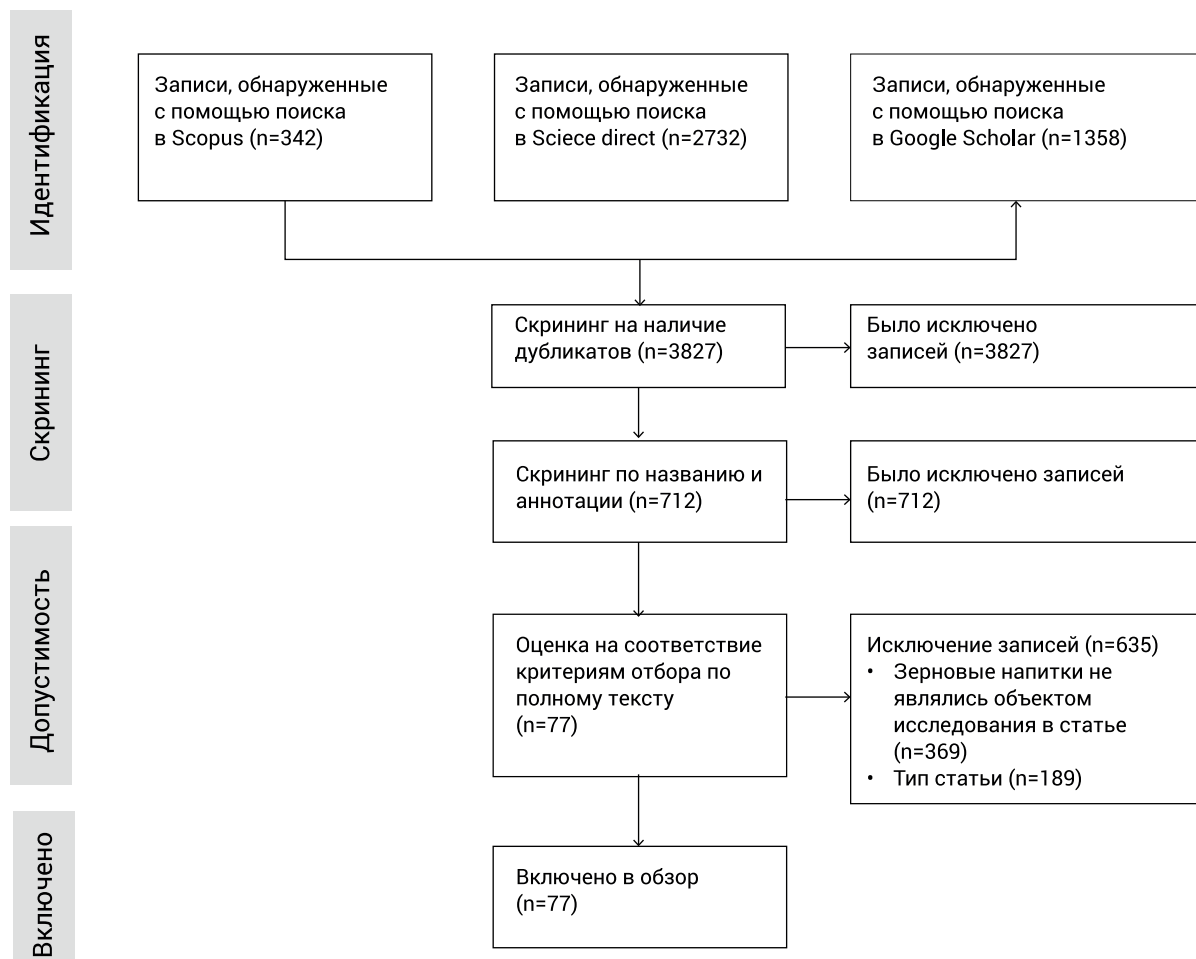
Описание отобранных публикаций

Информация об отобранных источниках (**Приложение 1. <https://disk.yandex.ru/d/ZHpe5fS69IUbkA>**) была выгружена из программного обеспечения "Zotero", где производился отбор, в виде файла формата .ris. Полученный файл был загружен в программу "VOSviewer". С помощью этой программы из 77 работ всего было извлечено 227 ключевых слов, из которых для графического представления было отобрано 50 ключевых слов, встречающихся более 2 раз (Рисунок 2).

Размер точки определяется частотой встречаемости (чем больше, тем чаще). Цветом и линиями обозначены связи между ключевыми словами в исследованиях. Полученные с помощью VOSviewer данные свидетельствуют, что наиболее часто встречающимися ключевыми словами в отобранных работах, помимо основных понятий — антинутриент, злаки, — являются: "fermentation",

Рисунок 1

Диаграмма процесса отбора статей для обзора предметного поля по PRISMA-ScR



затем “phytic acid”, “phytate” и “polyphenols”, обозначающий группу танинов. В большей части отобранных для обзора работ представлены описания как основных антинутриентов, так и процессов ферментации или проращивания. При этом ключевые слова можно разбить на две категории: группа ключевых слов, обозначающих основные процессы растительных напитков — ферментация, проращивание, закваска, и группа ключевых слов, обозначающая непосредственно антинутриенты в составе растительных напитков.

На Рисунках 3–4 представлены карты визуализации частоты встречаемости ключевых слов по годам — Рисунок 3, а также на Рисунке 4 представлена карта визуализации частоты встречаемости ключевых слов в круговой интерпретации.

Из отобранных работ данные об авторах, названии, годах издания, стране происхождения, типе растительного напитка и виде обзореваемого антинутри-

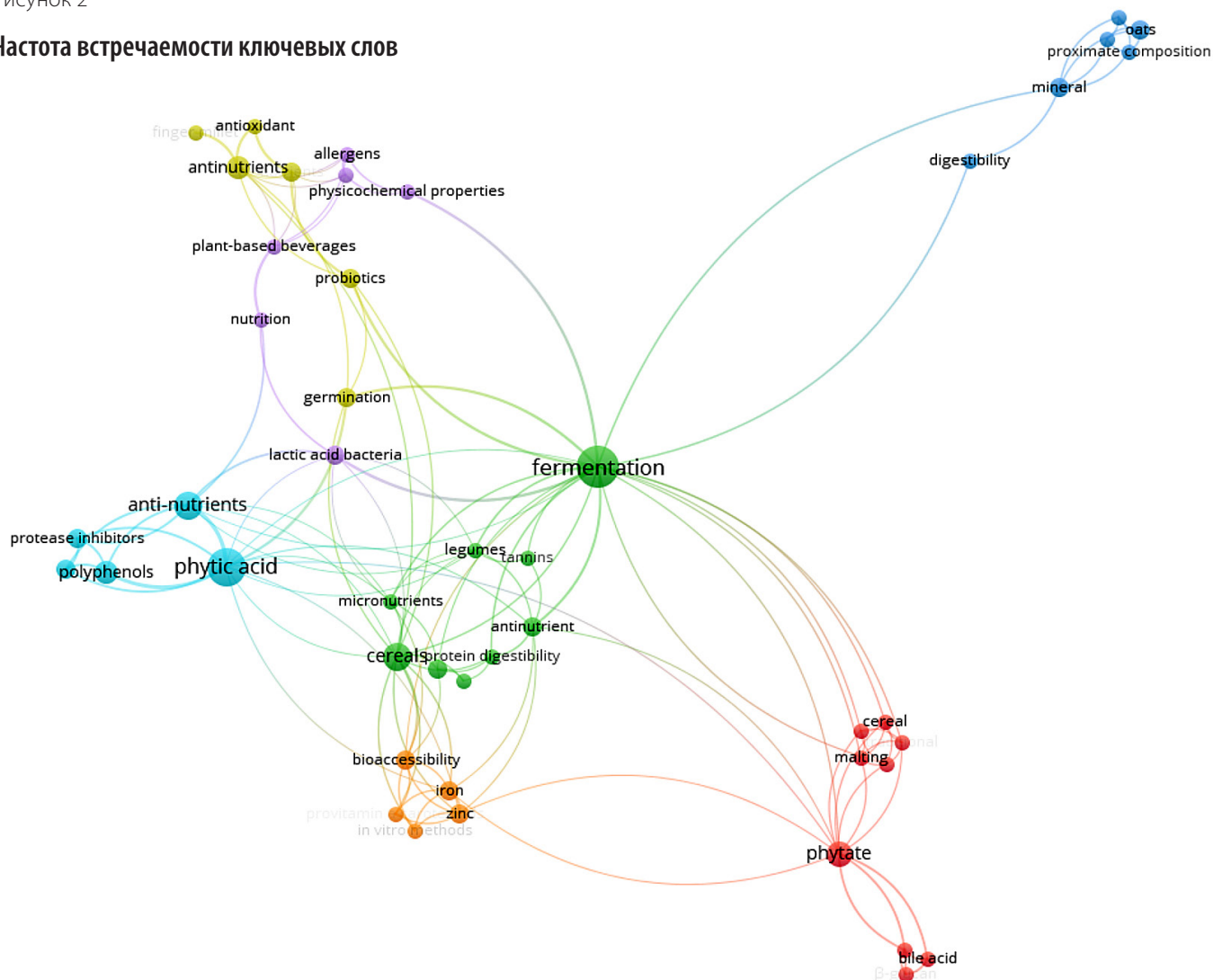
ента, методики проведения работы (при наличии), а также ключевых выводах были извлечены в таблицу (Приложение 1¹). На долю обзорных работ приходится 41,4%. Временной период отобранных статей был в рамках заданного промежутка 2017–2022 гг, так как рост публикаций по выбранной теме обзора наблюдался с 2017 года. Большая часть статей была опубликована в 2020–2022 гг — 65,6%. При этом, выбранных статей из 2020 г — 27,3%, из 2021 г — 14,3%, 2022 г — 23,4%.

Принимали участие в исследованиях авторы из 35 стран. Наиболее часто встречались работы из Индии (22,1%) и Африки (Нигерия, Эфиопия, Малави, Кения, Руанда), чья доля составила 14,3%, стран Европы (Португалия, Испания, Болгария, Италия, Швеция, Швейцария, Хорватия, Франция). Далее равномерно распределены

¹ <https://disk.yandex.ru/d/ZHpe5fS69lUbKA>

Рисунок 2

Частота встречаемости ключевых слов



по числу публикаций как в общем страны Европы, так и остальные страны. Анализ источников позволил выделить несколько основных трендов в изучении заявленной проблематики: изучение лектинов, фитиновой кислоты и фитаты, сапонинов, оксалатов, ингибиторов ферментов.

Внутри первой подтемы (лектины) распределение по источникам оказалось примерно равным, на долю публикаций, освещающих положительные стороны лектинов — 33,3%, отрицательное воздействие — 25%, методы ингибирования — 41,7%, остальные публикации отражали обзор терминологической базы, анализ строения и структуру вещества. Подтема фитиновой кислоты и фитатов характеризовалась неравномерным распределением публикаций. Более всего публикаций (42%) приходилось на долю работ, посвященным методам ингибирования, а также на долю

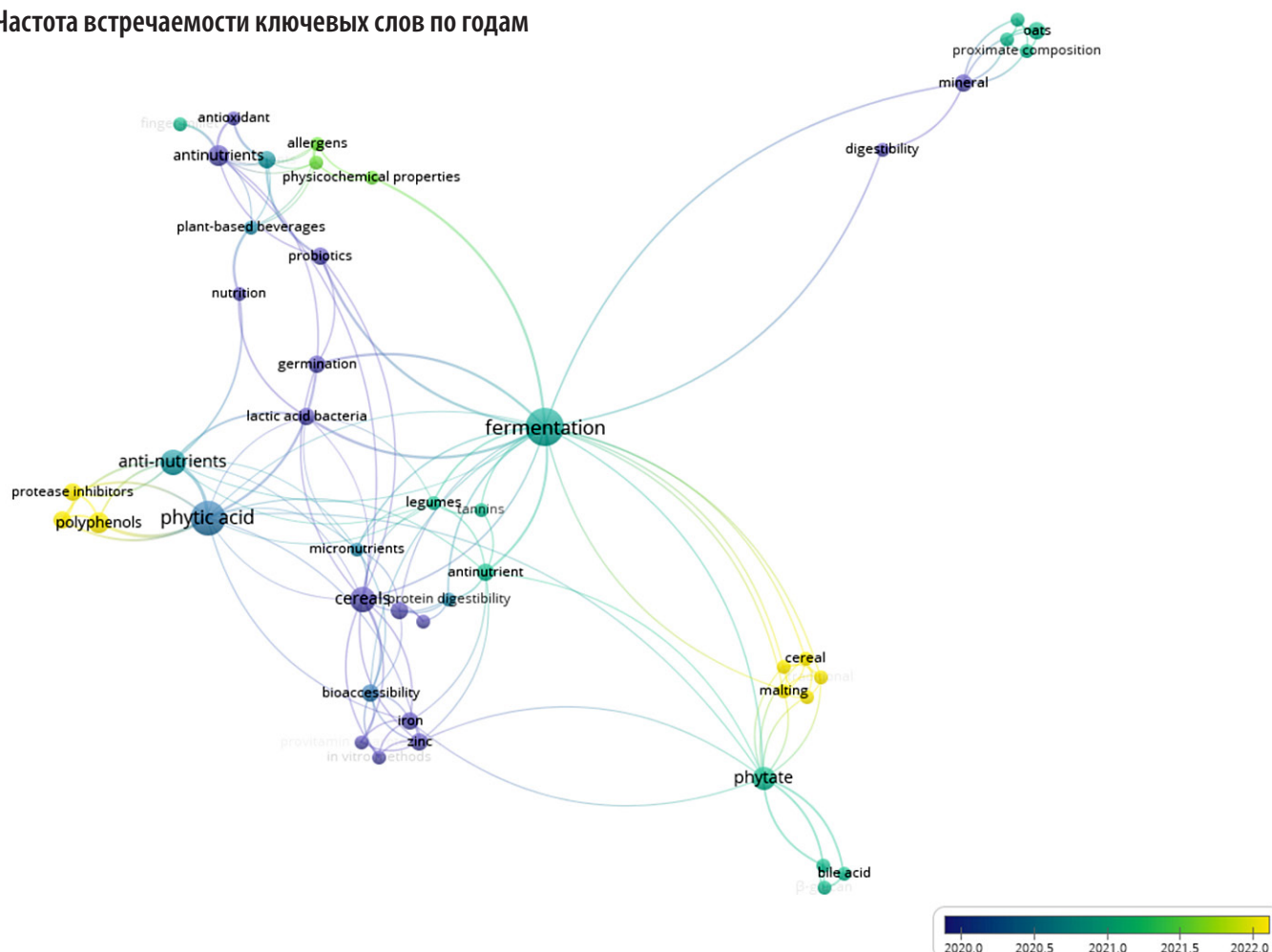
работ с анализом отрицательных аспектов данных веществ — 25,3 %. Публикации, отражающие анализ положительных аспектов воздействия фитиновой кислоты и фитатов, представляют собой 12,7 % работ. Внутри следующих подтем (танины, сапонины, оксалаты, ингибиторы ферментов) на долю публикаций с анализом положительного и отрицательного воздействия приходилось 31 %, 60 %, 41,2 %, 38,5 %, а на долю работ с анализом методов ингибирования — 51,7 %, 20 %, 25 %, 38,5 % соответственно. Данное распределение публикаций внутри подтем может быть обусловлено неоднородной степенью изученности различных аспектов антинутриентов.

Термины, используемые в исследованиях

Заменители молока на зерновой основе — это суспензии экстрагированного и измельченного растительно-

Рисунок 3

Частота встречаемости ключевых слов по годам



Примечание. Размер точки определяется частотой встречаемости (чем больше, тем чаще). Цветом и линиями показаны связи между ключевыми словами в исследованиях.

го сырья в воде. Заменители молока, широко распространённые сейчас во всем мире, требуют тщательного рассмотрения не только с точки зрения их технологических характеристик, но и с точки зрения их биологической ценности, т.к. содержат в своем составе различные виды антинутриентов (Awulachew, 2022; Dhesi et al., 2020; López-Moreno et al., 2022). Антинутриенты — это природные или синтетические соединения, которые препятствуют усвоению питательных веществ (López-Moreno et al., 2022). Антинутриенты образуются в результате защитных механизмов, с помощью которых растения защищают себя от окружающей среды (Awulachew, 2022). Традиционно данные вещества считались вредными для здоровья из-за их способности ограничивать биодоступность основных питательных веществ (López-Moreno et al., 2022). Также, в литературе встречаются понятия «антипитательный фактор», ана-

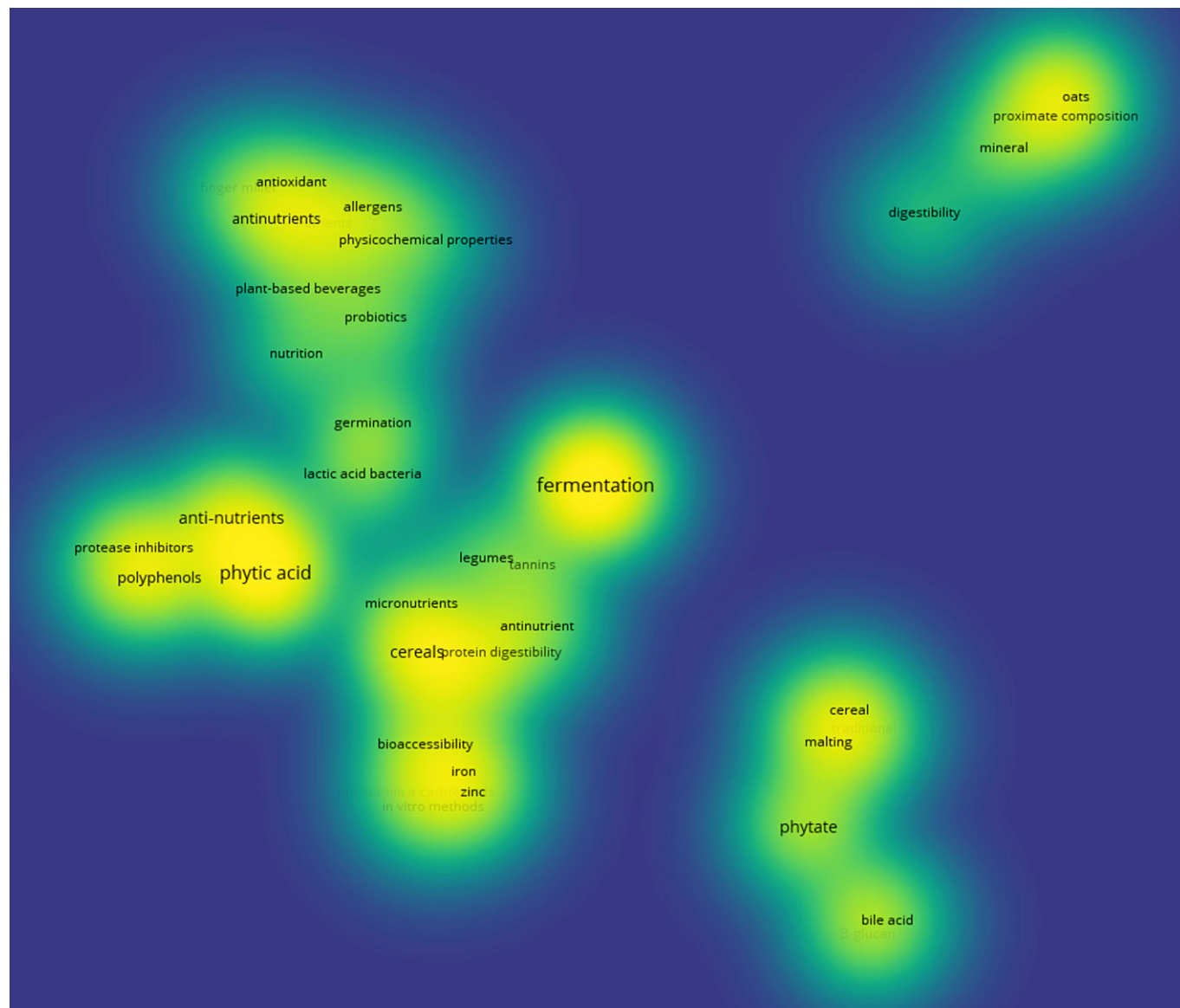
логичный по смыслу термину «антинутриент». К антинутриентам, присущим растительному зерновому сырью относят фитаты (Hendek Ertop & Bektaş, 2018; Olawoye & Gbadamosi, 2017; Samtiya et al., 2021), фитиновую кислоту (Hendek Ertop & Bektaş, 2018; Olawoye B. T. & Gbadamosi S. O., 2017; Penha et al., 2021; Popova & Mihaylova, 2019), оксалаты (Ibragimova & Kuluev, 2020; Samtiya et al., 2020; Серебренникова, 2019), лектины (Popova & Mihaylova, 2019; Rasika et al., 2021), оксалаты (Olawoye & Gbadamosi, 2017; Samtiya et al., 2020; Xiang et al., 2019). Таким образом, представленный ряд антипитательных веществ зернового сырья достаточно широкий.

Лектины

Лектины (López-Moreno et al., 2022) представляют собой белки (Popova & Mihaylova, 2019) или гликопротеины

Рисунок 4

Карта встречаемости ключевых слов



Примечание. Размер точки определяется частотой встречаемости (чем больше, тем чаще). Цветом и линиями показаны связи между ключевыми словами в исследованиях.

(Samtiya et al., 2020). Лектины имеют некаталитические участки связывания углеводов неиммунного происхождения (López-Moreno et al., 2022), а также обладают способностью связываться без модификации с углеводами и гликоконъюгатами (гликопротеинами, гликолипидами, полисахаридами) (Mishra et al., 2019; Porova & Mihaylova, 2019). Лектины имеют как положительное, так и отрицательное влияние на организм человека (Nath et al., 2022; Rasika et al., 2021). К отрицательному действию лектинов относят потенциальную возможность вызывать болезнь Крона и колит вследствие раз-

рушения поверхности тонкой кишки (Porova & Mihaylova, 2019). Лектины могут заставить клетки действовать подобно тому, если бы они были стимулированы инсулином, или вызвать высвобождение инсулина поджелудочной железой. Лектины также могут провоцировать аутоиммунные заболевания, вызывая образование неправильных кодов иммунной системы и стимулируя рост лейкоцитов (Porova & Mihaylova, 2019). Идею об отрицательном воздействии лектинов на кишечную проницаемость развивает более глубоко в своем исследовании (López-Moreno et al., 2022) и доказыва-

ет, что прием высоких доз изолированных лектинов (исследование проведено на животных) приводит к нарушению целостности слизистой оболочки кишечника, активации иммунной системы и изменению всасывания питательных веществ. То есть, автор подчеркивает вывод об отрицательном воздействии лектинов.

Отрицательное действие лектинов может быть уменьшено различными видами технологического воздействия. Нивелирование действия лектинов может быть произведено уже на этапе шелушения зернового сырья, потому что в большей части лектины содержатся во внешнем слое зерновой клетки (Popova & Mihaylova, 2019). Процессы замачивания и проращивания не оказывают видимого действия на уменьшение количества лектина (Popova & Mihaylova, 2019; Xiang et al., 2019). При этом, нивелирование действия лектинов возможно осуществить путем применения процесса экструзии (Hassan et al., 2021; Suneetha et al., 2019). Например, высокие температуры экструзии в экструдатах киноа вызвали окисление ненасыщенных жирных кислот, что приводило к снижению содержания ненасыщенных жирных кислот и инактивации лектина и ингибиторов антитрипсина, также повышалась усвояемость белка (Nikbakht Nasrabadi et al., 2021). Таким образом, различные варианты обработки зерна способны уменьшить количество лектина в зерновой клетке.

Лектины наряду с отрицательным действием, обладают рядом положительных свойств. Авторы (Popova & Mihaylova, 2019) и (López-Moreno et al., 2022) сообщают о потенциальной иммуномодулирующей активности лектинов, так как данные вещества проявляют антимикробные, антибактериальные, противогрибковые и противовирусные свойства. Исследователи (Mishra et al., 2019; Popova & Mihaylova, 2019) подтверждают положительные аспекты влияния лектинов на здоровье человека, так как данные вещества снижают уровень глюкозы в крови и/или уровень холестерина и триглицеролов в плазме крови. Данные вещества, очевидно, по мнению (Mishra et al., 2019) обладают противоопухолевыми свойствами, а также антиинсектицидным и антимикробным действием против ряда бактерий (как грамположительных, так и грамотрицательных), грибов и вирусов (Konozy et al., 2022; López-Moreno et al., 2022; Mishra et al., 2019). Таким образом, положительное действие лектинов достаточно обширно.

Фитаты, фитиновая кислота

Основные определения: фитаты и фитиновая кислота

Фитатам и фитиновой кислоте уделяется наибольшее внимание среди отобранных публикаций, что может быть объяснено большим содержанием данных антинутриентов и их разноплановой ролью. Фитаты и фитиновая кислота — неотъемлемые компоненты злаковых и зерновых культур (Rasika et al., 2021; Verduci et al., 2019), и признанные антипитательные факторы (Aydar et al., 2020; Hendek Ertop & Bektaş, 2018; Егорова, 2019). Фитиновая кислота — химическое производное шестиатомного спирта инозитола, по гидроксильным радикалам которого связаны остатки шести молекул фосфорной кислоты (Grases et al., 2017; Hendek Ertop & Bektaş, 2018). Вариативность состава фитиновой кислоты зависит от определенных факторов, таких как условия выращивания, методы сбора и обработки, возраст собранного продовольственного зерна (Abdulwaliyu et al., 2019). Фитаты и фитиновая кислота содержатся только в продуктах растительного происхождения и существует преимущественно в форме соли — фитата (Abdulwaliyu et al., 2019).

Фитат (López-Moreno et al., 2022) представляет собой соединение мио-инозитол гексафосфат. Вариативно фитат может быть назван IP1, IP2, IP3, IP4, IP5 или IP6 в зависимости от положения мио-инозитольного кольца, который наравне с фитиновой кислотой является признанными антипитательным веществом зерновых культур (Rasika et al., 2021). Фитат состоит из инозитол-кольца с шестью фосфатно-эфирными группами и связанных с ним солей: фитата магния, кальция или калия (Aydar et al., 2020; Dahdouh et al., 2019). Однако существует пять других инозитол фосфатов, каждый из которых назван в соответствии с количеством фосфатных групп, присоединенных к инозитоловому кольцу. Способность мио-инозитолов связывать катионы зависит от количества фосфатных групп в инозитоловом кольце и их положения (Dahdouh et al., 2019).

Фитиновая кислоты и фитаты представляют собой основную форму хранения фосфора, содержащую 1–5 % массы в зерновых (Bonke et al., 2020). Кроме того, фитаты содержат 50–85 % общего фосфора в растениях. Фитаты и фитиновая кислота влияют на биодоступность основных минералов, таких как Ca, и микроэлементов, таких как Fe, Cu, Zn и Mn. Особенно подвержен связыванию цинк (Abdulwaliyu et al., 2019). Этот феномен связыва-

ния приводит к образованию нерастворимых солей сплошной биодоступностью минералов, поскольку фитат сильно отрицательно заряжен в физиологических условиях и обладает большим потенциалом для образования комплексов с положительно заряженными многовалентными катионами (Grases et al., 2017). Однако, авторы (Silva et al., 2020) проанализировали образцы рисового и овсяного растительных напитков и выявили незначительно содержание миоинозидо-1-фосфатов, практически не обнаруживаемое.

Отмечена непреложная значимость всестороннего исследования фитиновой кислоты и фитатов в продуктах и их влияния на человека. Об этом свидетельствует тот факт, что была создана Глобальная база данных по фитатам в составе пищевых продуктов PhyFoodComp (Dahdouh et al., 2019) на основе FAO/INFOODS/ IZiNCG. Глобальная создана для представления информации о содержании фитатов вместе с содержанием отдельных минералов (железо, цинк и кальций), воды и фитатов (Dahdouh et al., 2019). Также в статье (Dahdouh et al., 2019) авторами были проанализированы уровни содержания фитатов в зерновых. Было обнаружено, что зерновые являются лидерами по содержанию фитатов — 35 % против 27 % по сравнению, например, с бобовыми. Данные по сырым зерновым в PhyFoodComp показывают, что около 15 % от общего количества миоинозидо-1-фосфатов присутствуют в виде более низких форм, в основном IP5 (≈ 13 %), но также IP4 (≈ 2 %) и IP3 (≈ 1 %), а 85 % — в виде IP6 (Dahdouh et al., 2019; Grases et al., 2017). Стабильность и растворимость катионфитатных комплексов металлов фитатов зависит от индивидуального катиона, значения pH, молярного соотношения фитатов: катион и присутствие других соединений в растворе. Большинство фитатов, как правило, более растворимы при более низких значениях pH. Образование нерастворимых комплексов катион-фитат металлов при физиологических значениях pH рассматривается как основная причина плохой доступности минералов, поскольку эти комплексы практически не всасываются из желудочно-кишечного тракта (Abdulwaliyu et al., 2019; Bonke et al., 2020; Verni et al., 2020b). Фитаты и фитиновая кислота также ингибируют пищеварительные ферменты, такие как пепсин, трипсин и амилаза (Ророва & Mihaylova, 2019). Особенно культура вегетарианского питания в развивающихся странах способствует высокому уровню потребления зерновых, следовательно и фитиновой кислоты и фитатов (Samtiya et al., 2020).

Методы ингибирования фитатов и фитиновой кислоты

В большинстве публикаций, включенных в данный обзор предметного поля, рассматривается проблема ингибирования действия фитатов и фитиновой кислоты, что также указывает на значимость анализируемого вопроса. Для нивелирования данной проблемы возможно использование процессов измельчения (Samtiya et al., 2020), замачивания (Abdulwaliyu et al., 2019), пропаривания, в том числе соложения (Komarova & Khavkin, 2017; Nkhata et al., 2018; Popova & Mihaylova, 2019; Atuna et al., 2022; Nissar et al., 2017), ферментации с применением экзогенных и эндогенных фитаз (Budhwar et al., 2020; Olawoye & Gbadamosi, 2017; Popova & Mihaylova, 2019; Samtiya et al., 2020, 2021; Tanguy et al., 2019; Atuna et al., 2022; Nath et al., 2022), ультразвуковая обработка с применением гидратации (Yadav et al., 2021), экструзии (Joye, 2019), применением методов генной инженерии на основе трансформации генов (Karmakar et al., 2020). Для подбора корректного способа ингибирования антипитательного действия фитатов и фитиновой кислоты необходимо детально рассматривать строение зерновой клетки в разрезе содержания в ней фитатов и фитиновой кислоты.

В зерновых культурах, таких как пшеница и рис, фитат обычно содержится во фракции отрубей, такой как алейроновый слой и околоплодник, в кукурузе он обнаруживается в эндосперме (Samtiya et al., 2020). Сообщалось, что концентрация фитиновой кислоты в зародышах пшеницы и пшеничных отрубях составляет 1,1–3,9 % и 2,0–5,3 % соответственно (Samtiya et al., 2020). Содержание фитиновой кислоты в рисовых отрубях достигает 8,7 % (Graça et al., 2019; Hendek Ertop & Bektaş, 2018). При этом, применение этапа шелушения зерна уже снижает количество фитатов (Babiker et al., 2018; Samtiya et al., 2020). Также измельчение является наиболее часто используемым методом удаления слоя отрубей с зерен и считается, что это приводит к частичному снижению количества фитиновой кислоты (Hendek Ertop & Bektaş, 2018). Однако метод имеет недостатки, т.к. приводит к потере большей части минералов и пищевых волокон зерновых культур. Автор (Aderibigbe et al., 2020) утверждает, что измельчение и шелушение не оказывает влияния на удаление фитиновой кислоты. Фитиновая кислота равномерно распределена в зерне, поэтому ее нельзя уменьшить абразивным удалением внешних слоев зерна или экстракцией водой. Таким об-

разом, этап шелушения и измельчения не всегда являются успешным для нивелирования действия фитиновой кислоты и фитатов.

Отдельные авторы указывают, что возможно нивелировать действие фитатов и фитиновой кислоты путем замачивания (Hendek Ertop & Bektaş, 2018). В работе (Samtiya et al., 2020) подтверждается, что процесс замачивания усиливает высвобождение ферментов, особенно эндогенных фитаз. Например, во время замачивания данные фитазы могут повышать растворимость *in vitro* минералов, таких как цинк и железо, на 2–23 % (Samtiya et al., 2020). Но имеются и данные о том, что процесс замачивания не оказывает значимого влияния на снижение количества фитиновой кислоты (Aydar et al., 2020; Егорова, 2019).

Самым широко используемым методом снижения количества фитиновой кислоты и фитата считается процесс ферментации (Budhwar et al., 2020; Hendek Ertop & Bektaş, 2018; Nissar et al., 2017; Silva et al., 2020). При ферментации растительной основы на основе процесса внесения ферментов чаще всего используются молочнокислые бактерии и дрожжи (например, *Saccharomyces*) (Manzoor et al., 2021), продуцирующие фитазу для разложения фитатов и фитиновой кислоты (Mäkelä et al., 2021; Ziarno & Cichońska, 2021). Процесс ферментации приводит к подкислению вместе с другими биохимическими изменениями в компонентах зерна, в том числе протеолизу (Komarova & Khavkin, 2017). Ферментативное разложение фитиновой кислоты требует оптимального значения pH (в среднем ниже pH 4,5), которое может быть обеспечено естественным брожением, вызванным эндогенными фитазами (Hendek Ertop & Bektaş, 2018), так и при помощи внесенных заквасочных культур (Samtiya et al., 2020). Разложение фитиновой кислоты может увеличить количество растворимых минералов, что подтверждает значимость ферментации зернового сырья для снижения фитиновой кислоты и фитатов.

Во многих отобранных публикациях сообщались детальные условия проведения процесса ферментации зернового сырья. В работе (Budhwar et al., 2020) отмечается, что при ферментации просо в течение 12 и 24 часов, количество различных антипитательных веществ — фитиновой кислоты и дубильных веществ, уменьшалось. В работе (Ziarno & Cichońska, 2021) более глубоко уточняют условия проведения ингибирования. В процессе использовали *L. brevis* и *L. fermentum* при 30 °C в течение 72 часов, снижение содержания фити-

новой кислоты происходило до 83–88 %. В исследовании (Budhwar et al., 2020), осуществляли ферментацию кукурузной муки консорциумом молочнокислых бактерий с 12-часовыми интервалами между ними. Результаты показали, что с увеличением времени ферментации в муке наблюдалось значительное снижение содержания антипитательных веществ. Ферментация сочетанием культур *L. casei* и *L. plantarum* показала ощутимую тенденцию к снижению содержания фитиновой кислоты примерно на 66 %. Однако при использовании комбинации таких культур, как *S. boulardii* и *L. plantarum*, для ферментации пищевой смеси наблюдалось полное удаление фитиновой кислоты (Budhwar et al., 2020). В работе (Popova & Mihaylova, 2019) отмечается, что через 120 часов ферментирования сорго культурой *L. plantarum* количество фитатов снизилось на 60 %, при использовании *L. brevis* — на 70 %. Штамм *L. plantarum* выявлен как значимый разрушитель фитатов в работе еще одного автора (Quattrini et al., 2018). И культура *Lactobacillus* spp. в исследовании (Samtiya et al., 2020) отмечена как высокоэффективная на примере исследования кукурузной муки и ее ферментации с интервалами в 12 часов. В работе (Ganguly et al., 2022) была составлена модельная система из сывороточно-обезжиренного молока (60:40 по объему), пророщенной муки из перлового проса (4,73 %) и жидкого экстракта ячменного солода (3,27 %) и ферментирована с использованием пробиотического штамма *L. acidophilus*. В результате получали согласующийся с вышеописанными работами результат по снижению количества фитиновой кислоты в неферментированном и ферментированном субстрате. Ферментация привела к значительному снижению содержания фитиновой кислоты на 78 % (Ganguly et al., 2022). Небольшое подкисление молочной кислотой дает аналогичные результаты для киноа и амаранта, *L. plantarum* снижает концентрацию фитатов на 12–14 % и 25–27 % соответственно (Petroski & Minich, 2020 & Ignat et al., 2020). Соответственно, все работы подтверждают значимость процесса ферментации в вопросе снижения количества фитиновой кислоты и фитатов.

Вторым по частоте встречаемости методом ингибирования фитиновой кислоты и фитатов является проращивание. Проращивание как высокоэффективный метод снижения содержания фитиновой кислоты отмечено в трудах многих исследователей (Budhwar et al., 2020; Hendek Ertop & Bektaş, 2018; Oke et al., 2022; Popova & Mihaylova, 2019). В процессе проращивания по-

вышается активность эндогенных ферментов (do Nascimento et al., 2022; Nkhata et al., 2018; Samtiya et al., 2020), которые не находятся в активном состоянии в сырых семенах (Faba-Rodriguez et al., 2022). Все эти реакции в пророщенных зернах приводят к структурной модификации и образованию новых соединений, которые обладают биологической активностью и могут улучшить питательный профиль (Bunkar et al., 2021) и общую стабильность зерновых (Budhwar et al., 2020). Проращивание позволяет активировать эндогенную фитазу (Samtiya et al., 2020), что дополнительно снижает содержание фитата и фитиновой кислоты. Соответственно, проращивание влияет на физическую структуру, питательный состав и улучшает питательный профиль продукта.

Имеются работы с указанием количественных значений степени ингибирования в результате проращивания. В работе (Kaur et al., 2017) среднее содержание фитиновой кислоты в непроросших сортах коричневого риса составило 16,3–24,3 г/кг, а содержание фитиновой кислоты для всех пророщенных сортов было значительно снижено, варьируясь в диапазоне от 10,1 до 12,2 г/кг. Для просо максимальное снижение содержания антипитательных веществ было отмечено при проращивании по сравнению с другими методами, такими как замачивание, ферментация и измельчение (Nissar et al., 2017). Уровень фитатов в просе пальчиковом снижается с увеличением продолжительности проращивания. И в работе (Punniyamoorthy et al., 2020) были проведены исследования снижения количества фитиновой кислоты в разных вариантах проса с $241 \pm 0,05$ и $452 \pm 0,35$ мг/100 г до $18,18 \pm 0,76$ до $24,45 \pm 1,38$ мг/100 г соответственно. Также, в исследовании (Adeyeye, Olaleye et al., 2020) отмечено, что уровень фитатов в просе снизился эффективнее в пророщенном зерне, чем в ферментированном — 10,7 мг/100 г. Вопросам снижения содержания фитиновой кислоты в сорго посвящены работы (Budhwar et al., 2020; Samtiya et al., 2021). После проращивания образцов проса в течение 72 и 96 часов было обнаружено, что содержание фитиновой кислоты снизилось на 23,95 и 45,3 % соответственно (Samtiya et al., 2020). В работах (Gunawan et al., 2022; Rodríguez-España et al., 2022) детализировали процесс и уточнили лучшие виды культур для проведения ферментации. Было установлено, что содержание фитиновой кислоты в сорго в процессе ферментации с использованием *L. bulgaricus*, *L. casei* и *L. brevis* снижается с 11,9 % до 0,58 %. Снижение

содержания фитиновой кислоты происходит благодаря активности микроорганизмов, продуцирующих в среде фермент фитазу и гидролизующих фитиновую кислоту (Gunawan et al., 2022). Стоит отметить, что наряду с действием различных фитаз возможно ингибировать действие фитата органическими кислотами и комплексообразователями, аскорбиновой кислотой (Grases et al., 2017).

Противоречивые данные встречаются в отобранных публикациях по эффективности тепловой обработки для снижения количества фитиновой кислоты и фитатов. Например, есть мнение, что тепловая обработка мало влияет на снижение количества фитиновой кислоты (Budhwar et al., 2020; Joye, 2019; Popova & Mihaylova, 2019). Но также авторы (Samtiya et al., 2020) в работе приводят примеры успешного процесса нивелирования фитиновой кислоты и отмечают, что плохая усвояемость белка как в сорго, так и в просе связаны с несколькими факторами. К ним относят плотную внутреннюю структуру зерна, наличие полифенолов и фитиновой кислоты, образование дисульфидных и не-дисульфидных поперечных связей, гидрофобность белка и изменение вторичной структуры, которые были вызваны во время влажной варки (Gulati et al., 2017; Joye, 2019).

Существуют альтернативные варианты предотвращения накопления в растительном сырье фитиновой кислоты в период его роста. Это так называемый агропромышленный метод, о чем говорят авторы (Silva et al., 2020). Например, в условиях лесостепи Поволжья при отсутствии осадков и воздушной засухи в период формирования и налива зерна наблюдается пониженное содержание в семенах антипитательных веществ, что позволяет использовать их для получения функциональных продуктов, оказывающих благоприятное влияние на организм человека и способствующих укреплению его здоровья (Kaiser et al., 2020; Дулов, 2019). В генно-инженерном методе (Karmakar et al., 2020) авторами было осуществлено подавление основного ИТРК-гомолога, что привело к снижению содержания фитиновой кислоты в трансгенных семенах на 46,2 % с последующим 3-кратным повышением содержания неорганического фосфора.

Положительное и негативное действие фитатов и фитиновой кислоты

Многие авторы отмечают определенно разную роль фитиновой кислоты в воздействии на организм человека (Abdulwaliyu et al., 2019; Babiker et al., 2018; Dahdouh et al., 2019). Исследователь (Grases et al., 2017) постулирует, что при хорошо сбалансированном питании ингибирующее действие фитата на усвоение минералов очень низкое. Но в работе (Grases et al., 2017) отмечено, что недостаточно доказательств влияния фитата на уровень железа, цинка и кальция при нормальном потреблении питательных веществ. Однако при недостаточном или несбалансированном питании с низким содержанием минералов и необходимых микроэлементов, но высоким содержанием фитатов, ситуация совершенно иная (Grases et al., 2017). Это приводит к обеднению рациона.

Положительная роль фитиновой кислоты широко отмечена в исследованиях (Abdulwaliyu et al., 2019; Комарова, 2017). Фитиновая кислота наряду с фитатом оказывает положительное влияние на эпителий кишечника человека путем связывания с окислителями, которые вырабатываются кишечными бактериями (Комарова, 2017). Фитиновая кислота предположительно снижает риск рака толстой кишки и молочной железы, а также опосредованно снижает уровень глюкозы, инсулина и/или холестерина в плазме крови и уровень триглицеридов (Комарова, 2017). Хотя доказано, что фитаты оказывают очень сильное ингибирующее действие на всасывание железа, но фитат является не единственным способствующим снижению доступности железа у человека фактором (Nissar et al., 2017). Фитиновая кислота также считается очень сильным антиоксидантом *in vitro*. Благодаря способности фитиновой кислоты хелатировать свободное железо, она останавливает окислительные реакции, катализируемые железом (Abdulwaliyu et al., 2019; Babiker et al., 2018). Фитиновая кислота обладает способностью прекращать серию цепных реакций путем ингибирования катализируемых железом гидроксильных радикалов. Также, исследование (Abdulwaliyu et al., 2019) подтвердило и расширило данную гипотезу о положительной роли фитиновой кислоты. Данное вещество ингибирует окисление линолевой кислоты и индуцированное аскорбатом перекисное окисление липидов в эпителиальных клетках толстой кишки человека (Abdulwaliyu et al., 2019). Автор (Popova & Mihaylova, 2019) поддерживает данное направление

и в своем исследовании отмечает, что фитиновая кислота снижает уровень глюкозы, холестерина и триглицеридов в плазме крови (Nissar et al., 2017). Исследование на мышах подтвердило, что фитиновая кислота может уменьшить гиперлипидемию и окислительный стресс (Nath et al., 2022). И фитиновая кислота может служить компонентом фармакологических препаратов, чье действие направлено на снижение окислительного стресса, вызывающего нейродегенеративные заболевания. Следовательно, очевидно, что существует как положительная, так и отрицательная роль фитиновой кислоты и фитатов, которые зависят от множества факторов исходного сырья и дальнейшей технологической обработки.

Танины

Танины относятся к категории значимых антинутриентов зерновых (Budhwar et al., 2020). Они представляют собой крупные биомолекулы полифенольной природы (Tanguy et al., 2019; Das et al., 2020). Танины в значительной степени сосредоточены в таких злаковых культурах, как сорго и ячмень (Samtiya et al., 2020). Основным свойством танинов является то, что они могут осаждать белки (Mohapatra et al., 2019). Вследствие образования танинами обратимых и постоянных комплексов танин-белок между гидроксильной группой танинов и карбонильной группой белков, может быть снижена усвояемость белков (Budhwar et al., 2020; Tsafrakidou et al., 2020). Образование комплексов танин-белок может вызывать ингибирование активности многих пищеварительных ферментов (Joye, 2019). Дополнительно танины влияют на снижение питательной ценности пищевых продуктов за счет хелатирования металлов, железа и цинка (Mohapatra et al., 2019; Olawoye B. T. & Gbadamosi, 2017). И в работах (Petroski & Minich, 2020; Tsafrakidou et al., 2020) подтверждена гипотеза (Mohapatra et al., 2019) в части хелатирования металлов, что приводит к возможности развития железодефицитной анемии у человека. Однако, в малом количестве танины оказывают положительное влияние на организм человека путем возникновения антиоксидантного и противомикробного действия (Серебренникова, 2019). Были отмечены многие антиканцерогенные свойства танинов, антиоксидантный и противовоспалительный эффекты, антимутагенное и противоопухолевое действие (Nath et al., 2022). Таким образом, танины обладают как положительным действием на организм человека, так и отрицательным.

Существуют несколько способов нивелирования действия танинов. Авторы (Ajayi et al., 2021; Mohapatra et al., 2019) установили, что содержание танина снижается на 17–40 % при разных условиях обработки. Содержание танина значительно уменьшилось при варке (17 %), ферментации (30 %), пропаривании (35 %) и плющении (39 %). И термическая обработка амаранта показала подобный результат, автоклавирование и бланширование были особенно эффективными в снижении содержания танина (Olawoye & Gbadamosi, 2017). Но в публикациях (Ajayi et al., 2021; Budhwar et al., 2020) отмечено, что термическая обработка не влияет на концентрацию танина, что подтверждается и в работе (Oke et al., 2022). Альтернативные технологические обработки для снижения содержания танинов включают очистку от шелухи, замачивание, добавление химикатов и проращивание (Aderibigbe et al., 2020; Budhwar et al., 2020; Joye, 2019). Так, в работе (Kaur et al., 2017) доказано, что проращивание риса снижает содержание танинов в рисе примерно в 5 раз. Также, весьма эффективен инновационный способ ультразвука, примененный в работе (Yadav et al., 2021). Процесс гидратации с помощью ультразвука показал оптимальный результат при обработке 26 мин и соотношении зерна и воды 1:3, танин был снижен на 62,83 %. В работе (Manzoor et al., 2021) были определены лучшие виды среди молочно-кислых бактерий в качестве использования закваски для снижения уровня таннинов: *L. plantarum*, *L. paraplantarum* и *L. pentosus*, которые гидролизуют танины посредством активности фермента танназы. Танназа нарушает границы сложного эфира из дубильной кислоты, высвобождая таким образом глюкозу и галловую кислоту. Также, и (Adebo & Medina-Meza, 2020) говорят о возможности ферментации сорго с целью уменьшения количества танинов. Ферментация успешно применяется и при снижении количества таннинов путем воздействия молочнокислых бактерий на кукурузу, сорго, пшеницу (Achi & Asamudo, 2019). Соответственно, тепловые, механические и биохимические способы показали разные степени эффективности снижения количества танинов.

Сапонины

Сапонины не самые распространенные антинутриенты среди зернового сырья в производстве напитков на растительном сырье, но их воздействие на организм человека очевидно ощутимо. Сапонины — это вторичные соединения растительного происхождения, глико-

зиды, содержащиеся в некоторых видах зернового сырья, например, в пшенице (Samtiya et al., 2020), овсе (Raguindin et al., 2021). Авторы (Samtiya et al., 2021) показали в своей работе, что сапонины проявляли ингибирующую активность пищеварительных ферментов, таких как амилаза, глюкозидаза, трипсин, химотрипсин и липаза, которые могут вызывать расстройства желудка (Samtiya et al., 2020), т.к. создают нерастворимые комплексы сапонин-белок (Escobar-Sáez et al., 2022). Сапонины могут изменить целостность эпителиальных клеток кишечника и изменить проницаемость эпителиального слоя кишечника, что может позволить токсичным веществам, присутствующим в кишечнике, легко проникать в систему кровообращения и вызывать токсичность (Nath et al., 2022), но автор отмечает, что в целом, воздействие сапонинов не является чрезвычайно вредным для людей.

Сапонины обладают рядом положительных свойств. В работе (Комарова, 2017) отмечено, что сапонины предположительно снижают риск рака толстой кишки и молочной железы. Сапонины снижают уровень глюкозы, инсулина и холестерина в плазме крови и уровень триглицеридов (Nath et al., 2022). Данное вещество может влиять на предотвращение сердечно-сосудистых заболеваний, рака, повреждения печени и гипергликемии (Raguindin et al., 2021). Результаты также свидетельствуют о многих других полезных эффектах, включая иммуномодуляцию, защиту нейронов и противовоспалительный эффект (Nath et al., 2022). Сапонины могут быть ингибированы путем термической обработки (Escobar-Sáez et al., 2022).

Оксалаты

Оксалаты, как и танины, не самые распространенные антинутриенты зернового сырья. Щавелевая кислота может образовывать растворимые (калий и натрий) или нерастворимые (кальций, магний, железо) соли или сложные эфиры. Оксалаты встречаются в растениях, или синтезируются в организме (Borin et al., 2022; Porova & Mihaylova, 2019). Оксалат является конечным метаболитическим продуктом метаболизма аскорбата, глиоксилата и глицина в организме человека (Alemayehu et al., 2021; Muneke et al., 2020). Среди зерновых с высоким содержанием оксалатов отличаются амарант, кукуруза, пшеничные отруби, овес, гречка. Оксалат и фитат, считаются антинутриентными веществами вследствие их сильного сродства к физиологически

насыщенным ионам двухвалентных металлов, таким как кальций, цинк, медь и магний (Dey et al., 2018).

Исследователи отмечают, что большинство людей могут потреблять определенное количество продуктов, богатых оксалатами (Alemayehu et al., 2021). При этом, людям с определенными состояниями, такими как кишечная и первичная гипероксалурия, необходимо снизить потребление оксалатов (Ferruzzi et al., 2020). Отмечается, что существует несколько способов понижения содержания растворимых оксалатов в зерновых (Grundy et al., 2020), которые включают генноинженерный, предусматривающий, например, выведение сортов с повышенным пулом оксалаксоксидазы, агрохимический, на основании знаний азотного питания амаранта, технологический, предусматривающий соответствующую подготовку биомассы амаранта перед использованием (Munekata et al., 2020).

Возможно применение технологических методов воздействия на снижение количества оксалатов. Кипячение снижает концентрацию оксалатов в растительных продуктах из-за комбинированного воздействия выщелачивания и термического разложения (Huynh et al., 2022). Процесс варки амарантового зерна уменьшает количество оксалата на 93 % (Huynh et al., 2022). В работе (Abdulwaliyu et al., 2019) отмечается интересный факт взаимодействия оксалатов и фитиновой кислоты. Фитиновая кислота обладает гораздо большим сродством к Са, чем оксалат, поэтому его присутствие предотвращает кристаллизацию Са. Все это приводит к тому, что и оксалат меньше связывается с Са и минимизируется образование камней (Abdulwaliyu et al., 2019) в почках. Таким образом, некоторые способы тепловой обработки способны привести к снижению количества оксалатов.

Ингибиторы ферментов

Различные злаки также содержат вариативные ингибиторы ферментов. К ним относят ингибиторы протеаз (Samtiya et al., 2020), которые подавляют действие трипсина и химотрипсина, ингибиторы амилазы (Budhwar et al., 2020). Ингибиторы трипсина содержатся в рисе, овсе (Bocker & Silva, 2022). Данные ингибиторы приводят к потере трипсина и химотрипсина в кишечнике, тем самым влияя на снижение скорости переваривания белков и снижая биологическую ценность (Bocker & Silva, 2022; Porova & Mihaylova, 2019; Sarangapani et al., 2022). На-

личие ингибиторов трипсина и химотрипсина может привести к проблемам с поджелудочной железой (Budhwar et al., 2020; Samtiya et al., 2020). Однако в нескольких исследованиях сообщалось, что ингибирование ферментов альфа-амилазы, альфа-глюкозидазы, липазы может также принести пользу здоровью, связанную с профилактикой диабета 2 типа и ожирения, как отмечается (Samtiya et al., 2020). Авторы (Porova & Mihaylova, 2019) подтверждают данную высказанную идею и постулируют, что действие ингибиторов амилаз находят положительное применение для контроля диабета второго типа путем регулирования уровня инсулина.

Существует несколько способов инактивации ингибиторов ферментов. Трипсиновый ингибитор присутствует в небольших количествах в амаранте и инактивируется при влаготепловой обработке (Sarangapani et al., 2022; Джураева, 2020). Авторы сообщают (Budhwar et al., 2020), что при температуре кипения в течение 15 минут в зерновых значительно снижается количество ингибиторов протеаз (Manzoor et al., 2021). В исследовании (Porova & Mihaylova, 2019) отмечается, что для дезактивации возможно применять замачивание и проращивание зерен. Также, авторы (Porova & Mihaylova, 2019) постулируют об установлении корреляции между временем ферментации и степенью инактивации ингибиторов. Например, в сорго наблюдалось значительное снижение ингибитора трипсина (69%), ингибитора протеазы (30%) через 120 ч при использовании *L. plantarum* в качестве заквасочной культуры. С другой стороны, *L. brevis* в качестве закваски оказалась эффективной через 120 часов с уменьшением ингибитора трипсина на 58% и на 40% ингибитора протеазы. В работе (Suneetha et al., 2019) отмечено, что применение высоких температур экструзии в экструдатах киноа приводило к инактивации ингибиторов антитрипсина и повышало усвояемость белка. Соответственно, применение тепловых, механических и биотехнологических методов воздействия могут быть полезны для уменьшения количества ингибиторов ферментов зерновых.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проблема несбалансированности рациона и потребления малого количества необходимых организму человека витаминов распространена повсеместно. В разрезе наметившегося тренда на увеличение потребления напитков на растительном сырье этот вопрос еще более актуализируется. В растительных напитках

присутствуют присущие исходному растительному сырью антипитательные вещества — антинутриенты, препятствующие усвоению как витаминов, так и иных макронутриентов. Цель данного исследования состояла в том, чтобы проанализировать вариативные антипитательные факторы в растительных напитках из зернового сырья и оценить методы и условия их ингибирования. Автором было проанализировано 4432 работы и в результате отбора было включено 77 статей, соответствующих цели настоящего обзора предметного поля.

Интерес к теме растительных напитков на зерновой основе в научном сообществе растет. Первые работы по растительным напиткам были опубликованы в период, начиная с 1999 г. В период 2015–2016 гг. количество научных трудов, посвященных данной теме, значительно увеличилось (Mäkinen et al., 2015; Pineli et al., 2015; Youssef et al., 2016). Однако, в данных работах в большей части рассматривался технологический аспект производства растительных напитков.

Вопрос непосредственно антинутриентов в растительных зерновых напитках в научных публикациях исследовался ранее в работах (Bahwere et al. 2016; Ray et al. 2016; Santa María et al. 2016). Но в данных публикациях отмечался только негативный эффект антипитательных веществ без углубленного изучения проблемы негативного воздействия на организм человека, а также была высказана мысль о необходимости ингибирования антинутриентов. Методы и подходы ингибирования не были представлены в отмеченных публикациях в лонгтюдном формате. Гипотезу о положительном влиянии высказывали в своих трудах несколько авторов (Raes et al. 2014; Ray et al. 2016). Соответственно, общим ограничением настоящего обзора являлось то, что ранее магистральных работ по данной теме не было. Глубоко тема антинутриентов ранее изучалась только в смежных областях, для бобовых культур в частности (Dhakal et al. 2014; Faris, Takturi, and Issa 2013; Sreerama et al. 2012).

В данном обзоре предметного поля выделено несколько трендов. Первый тренд представлен пулом публикаций о возможности негативного эффекта антинутриентов и этот тренд ожидаемо был широко подтвержден. В подтренде данного направления по изучению негативного влияния лектинов авторами (López-Moreno, Garcés-Rimón, and Miguel 2022; Nath, Samtiya, and Dhewa 2022; Popova and Mihaylova 2019; Rasika et al. 2021) подтвержден их негативный эффект. Но часть авторов подтвердила также их положительное действие в своих

работах (López-Moreno, Garcés-Rimón, and Miguel 2022; Popova and Mihaylova 2019), что я объясняю возможностью разностороннего воздействия лектинов на организм человека.

В подтренде негативного действия фитатов и фитиновой кислоты также была подтверждена гипотеза о негативном действии антипитательных веществ. Авторы (Abdulwaliyu et al. 2019; Atuna et al. 2022; Aydar, Tutuncu, and Ozelik 2020; Bonke, Sieuwerts, and Petersen 2020; Hendek Ertop and Bektaş 2018; Nissar et al. 2017; Nkhata et al. 2018; Samtiya, Aluko, and Dhewa 2020; Verni et al. 2020; Егорова 2019) сообщают об отрицательном действии фитатов и фитиновой кислоты. Положительная роль фитиновой кислоты широко отмечена в исследованиях (Abdulwaliyu et al. 2019; Babiker et al. 2018; Комарова, Хавкин 2017). Я полагаю, что и положительная, и отрицательная роль фитиновой кислоты и фитатов зависят от множества таких факторов, как качество исходного сырья, степень обработки исходного сырья и его вида, а также от параметров технологических процессов производства растительных напитков из зернового сырья.

В подтренде танинов подтверждены обе роли данного антипитательного вещества (Budhwar, Sethi, and Chakraborty 2020; Nath, Samtiya, and Dhewa 2022; Tsafakidou, Michaelidou, and G. Biliaderis 2020; Себребеникова et al. 2019). Положительную роль отметили авторы (Nath, Samtiya, and Dhewa 2022; Себребеникова et al. 2019). В подтренде сапонинов был обнажен аналогичный фитиновой кислоте и фитатам механизм негативного воздействия на организм человека (Escobar-Sáez et al. 2022; Samtiya, Aluko, and Dhewa 2020). Однако для сапонинов разделились мнения исследователей насчет иных вариантов проявления негативного действия или доказательств обратного. Автор (Raguindin et al. 2021) сообщал о возможности проявления таких полезных эффектов, как иммуномодуляция, защита нейронов и противовоспалительный эффект, а в работе (Nath, Samtiya, and Dhewa 2022) имелись выводы о токсичном действии сапонинов через проникновение в кровь непосредственно. Я полагаю, что потребление сапонинов с зерновыми продуктами и зерновыми растительными напитками достаточно мало и не приводит к возникновению отрицательного эффекта.

В подтренде оксалатов негативный механизм воздействия был аналогичен предыдущим пунктам. Я отмечаю, что в данном подтренде исследователи сошлись во едином мнении о том, что большинство людей могут

потреблять определенное количество продуктов, богатых оксалатами, без вреда для здоровья (Escobar-Sáez et al. 2022; Samtiya, Aluko, and Dhewa 2020). В подтренде ингибиторов ферментов ожидаемое негативное действие подтвердилось (Bocker and Silva 2022; Popova and Mihaylova 2019; Sarangapany et al. 2022). Гипотеза о положительном воздействии также подтверждена при работе над настоящим обзором (Popova and Mihaylova 2019; Samtiya, Aluko, and Dhewa 2020; Sarangapany et al. 2022). Я полагаю, что данные выводы связаны с тем, что варианты положительного действия оксалатов и ингибиторов ферментов на организм человека рассматривались в большинстве случаев достаточно изолированно, зачастую *in vitro*. Это обуславливает необходимость дальнейшего расширения круга исследовательских задач до оценки положительного действия антинутриентов на организм человека с учетом влияния технологических этапов производства растительных напитков.

Следующим выявленным трендом была оценка методов ингибирования антинутриентов, которая присутствовала в большей части всех отобранных для обзора публикаций. В данных выбранных работах методы ингибирования были представлены технологическими способами воздействия, при этом представлены довольно противоречиво. В подтренде лектинов в ранних работах имелась только информация о необходимости его ингибирования. Но в ходе работы над настоящим обзором это направление было значительно расширено, что подтверждает анализ отобранных публикаций. Было установлено, что процессы замачивания и проращивания не оказывают видимого действия на уменьшение количества лектина (Popova and Mihaylova 2019; Xiang et al. 2019). На мой взгляд расширение и углубление подтренда исследований необходимо для более точного и выполненного на более широкой выборке анализа вопроса.

Самое большое количество противоречивых мнений было найдено среди выводов авторов в подтренде ингибирования фитиновой кислоты и фитатов. Большая часть научного сообщества доказала, что методы теплового воздействия на фитаты и фитиновую кислоту не являются успешными (Atuna et al. 2022; Budhwar, Sethi, and Chakraborty 2020; Hendek Ertop and Bektaş 2018; Nath, Samtiya, and Dhewa 2022; Olawoye and Gbadamosi 2017; Popova and Mihaylova 2019; Tangyu et al. 2019; Yadav, Mishra, and Pradhan 2021). Только в одном исследовании (Samtiya, Aluko, and Dhewa 2020) сообщается о ре-

зультативном тепловом ингибировании фитиновой кислоты. Я согласна с тем, что невозможность ингибирования фитиновой кислоты и фитатов тепловым воздействием имеет большее научное обоснование, и его нужно учитывать в технологии производства напитков. Новым в данном подтренде является то, что были подробно описаны в части работ технологические условия проведения многих способов ингибирования с помощью соложения, шелушения, измельчения (Atuna et al. 2022; Joye 2019; Nissar et al. 2017; Yadav, Mishra, and Pradhan 2021). По моему мнению, наличие противоречий по методам ингибирования связано с невероятно обширным исходным полем для исследования. Необходимо применять в будущем более сходимые исходные условия исследования, в том числе сходную приборную базу.

Ингибирование танинов, оксалатов, сапонинов производится разными методами. В подтренде ингибирования танинов выявлены противоречия по одному из способов нивелирования их негативного действия. Ранее было высказано мнение о возможности ингибирования танинов нагреванием (Mäkinen et al. 2015; Pineli et al. 2015; Youssef et al. 2016). И это подтвердили авторы из выбранных публикаций настоящего обзора (Olawoye & Gbadamosi, 2017). Но в публикациях (Ajayi et al. 2021; Budhwar, Sethi, and Chakraborty 2020; Oke, Olalekan Adeyeye, and Olorode 2022) отмечено, что термическая обработка не влияет на концентрацию танина. В подтрендах оксалатов, сапонинов, ингибиторов найдено незначительное количество работ по каждому из антинутриентов по методам ингибирования. Но авторы сходимы в мнении о том, что применение тепловой обработки будет способствовать нивелированию отрицательного действия антипитательных веществ (Abdulwaliyu et al., 2019; Budhwar et al., 2020; Escobar-Sáez et al., 2022; Grundy et al., 2020; Huynh et al., 2022; Manzoor et al., 2021; Popova & Mihaylova, 2019; Sarangapany et al., 2022; Джураева, Исабаев, 2020).

Полученные результаты позволили выделить в отдельное новое направление нетрадиционные методы ингибирования антинутриентов, которые ранее не были зафиксированы. К ним относят способ ингибирования фитата органическими кислотами и комплексообразователями и аскорбиновой кислотой (Grases et al., 2017). Нивелирование действия антинутриентов путем применения процесса экструзии для лектинов (Hassan, Sebola, and Mabelebele 2021; Suneetha et al. 2019), фитатов (Joye 2019), ингибиторов ферментов (Suneetha

et al., 2019) и ультразвуковой обработки для танинов (Yadav, Mishra, and Pradhan 2021). Также существуют генноинженерные способы предотвращения накопления в растительном сырье фитиновой кислоты и оксалатов в период роста зерновых культур (Silva, Silva, and Ribeiro 2020). Расширение области, я полагаю, является естественным следствием усиления исследовательской активности в данной области.

Несмотря на имеющиеся данные о нетрадиционных способах обработки антинутриентов, очевиден еще имеющийся пробел в знаниях. В отобранных публикациях применительно к нетрадиционным методам обработки не все виды антинутриентов были исследованы. С учетом неоспоримой значимости контроля уровня антинутриентов в растительных напитках на зерновом сырьеведальнейшемнеобходимыисследованияпооценке различных методов ингибирования антинутриентов для всех видов зернового сырья. Для построения эффективной технологической схемы производства напитков из зернового сырья необходимо расширить область исследований и провести более глубокие исследования. Ожидаемым результатом станет расширение научно-технической базы об эффективности воздействия того или иного способа, как традиционного, так и инновационного, на все виды антинутриентов, имеющих в зерновом сырье.

ВЫВОДЫ

Целью обзора предметного поля являлся комплексный анализ вариативных антипитательных факторов в растительных напитках из зернового сырья с оценкой

методов и условий их ингибирования. В ходе анализа выбранной литературы было отмечено, что интерес исследователей к растительным напиткам-аналогам молока и анализу биологической ценности растительных напитков только растет. Высказанное во введении предположение о негативной роли антинутриентов было расширено и подтверждено результатами исследований как эмпирических, так и обзорных статей. Но были установлены и позитивные аспекты влияния антинутриентов и условия, при которых их возникновение возможно. При применении различных способов технологической обработки при производстве растительных напитков из зернового сырья концентрация антинутриентов снижается или обнаруживается синергия с другими полезными для здоровья соединениями. В работе проанализированы совокупно все виды антинутриентов, присутствующих в зерновом сырье, отрицательная и положительная роль данных веществ и методы их ингибирования. Объективная оценка методов и подходов их ингибирования в данном лонг-тюдном обзоре предметного поля позволит расширить научно-практическую базу данных об антипитательных веществах. Практическое внедрение предложенных рекомендаций в производственный цикл способствует значительному повышению биологической ценности напитков на зерновом сырье. Большой потенциал дальнейшего изучения антинутриентов и выделения их в чистом виде заключается в том, чтобы глубже исследовать не только *in vitro*, но и *in vivo* воздействие антинутриентов при различных патологических состояниях организма человека.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бабикиер, Э., Абдельсид, Б., Хассан, Х., & Адиаммо, О. (2018). Effect of decortication methods on the chemical composition, antinutrients, Ca, P and Fe contents of two pearl millet cultivars during storage. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 15(3), 278–286. <https://doi.org/10.1108/WJSTSD-01-2018-0005>
- Babiker, E., Abdelsid, B., Hassan, H., & Adiamo, O. (2018). Effect of decortication methods on the chemical composition, antinutrients, Ca, P and Fe contents of two pearl millet cultivars during storage. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 15(3), 278–286. <https://doi.org/10.1108/WJSTSD-01-2018-0005>
- Галстян, А. Г., Аксёнова, Л. М., Лисицын, А. Б., Оганесянц, Л. А., & Петров, А. Н. (2019). Современные подходы к хранению и эффективной переработке сельскохозяйственной продукции для получения высококачественных пищевых продуктов. *Вестник Российской Академии Наук*, 89(5). <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895539-542>
- Galstyan, A. G., Aksenova, L. M., Lisitsyn, A. B., Oganesyants, L. A., & Petrov, A. N. (2019). Modern approaches to the

- storage and effective processing of agricultural products for the production of high-quality food products. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 89(5). <https://doi.org/10.31857/S0869-5873895539-542>
- Джураева, Н. Р., Исабаев И. Б. (2020). Анализ технологического эффекта и функциональной направленности натурального сырья для производства кондитерских изделий. *Материалы XIII Международной Научно-Технической Конференции* (с. 220–221). МГУПП.
- Djuraeva, N. R., & Isabaev, I. B. (2020). Analysis of the technological effect and functional orientation of natural raw materials for the production of confectionery products. *Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference* (pp. 220–221). MGUP.
- Дулов М.И. (2019). Минеральный состав зерна сортов и линий овса голозерного в лесостепи Поволжья. *Инновационное развитие науки и образования* (с. 61–68). Самарский государственный аграрный университет.
- Dulov, M.I. (2019). Mineral composition of grain of varieties and lines of naked oats in the forest-steppe of the Volga region. *Innovative Development of Science and Education* (pp. 61–68). Samara State Agricultural University.
- Егорова, Е. Ю. (2019). «Немолочное молоко»: Обзор сырья и технологий. *Ползуновский Вестник*, 18(3), 25–34. <https://doi.org/10.17816/clinutr33034>
- Egorova, E. Y. (2019). "Non-dairy milk": A review of raw materials and technologies. *Polzunovsky Bulletin*, 18(3), 25–34. <https://doi.org/10.17816/clinutr33034>
- Комарова, О. Н., Хавкин А. И. (2017). The role of cereals in human nutrition. *Вопросы детской диетологии*, 15(4), 45–51. <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2017-4-45-51>
- Komarova, O. N., & Khavkin, A. I. (2017). The role of cereals in human nutrition. *Questions of Pediatric Dietetics*, 15(4), 45–51. <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2017-4-45-51>
- Крысанова, Ю. И. (2022). К вопросу о методах оценки концентрации молочного сахара в низко- и безлактозной продукции. *Пищевая промышленность*, 8. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.8.8.017>
- Krysanova, Y. I. (2022). On the methods of evaluating the concentration of milk sugar in low-lactose and lactose-free products. *Food Industry*, 8. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.8.8.017>
- Серебренникова, Е.С., Анисимова, Л. В., Попов Е. В., Земеров А. Е. (2019). Качество зернового сорго. *Современные проблемы и технологии пищевых производств: Сборник трудов конференции* (с. 308–310). Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова.
- Serebrennikova, E.S., Anisimova, L.V., Popov, E.V., & Zemerov, A. E. (2019). The quality of grain sorghum. *Modern Problems and Technologies of Food Production: Conference Proceedings* (pp. 308–310). Altai State Technical University named after I.I. Polzunov.
- Харитонов, В. Д., Агаркова, Е. Ю., Кручинин, А. Г., Рязанцева, К. А., Королева, О. В., Федорова, Т. В., Зверева, Е. А., Тяжелова, Т. В., Малошенко, Л. Г., Ревякина, В. А., Георгиева, О. В., Пономарева, Н. В., Мельникова, Е. И., Лаптев, Г. Ю., Ильина, Л. А. (2015). Влияние нового кисломолочного продукта с гидролизатом сывороточных белков на переносимость и динамику проявлений atopического дерматита у детей с аллергией на белки коровьего молока. *Вопросы питания*, 84(5).
- Kharitonov, V. D., Agarkova, E. Y., Kruchinin, A. G., Ryazantseva, K. A., Koroleva, O. V., Fedorova, T. V., Zvereva, E. A., Tyazhelova, T. V., Maloshenok, L. G., Revyakina, V. A., Georgieva, O. V., Ponomareva, N. V., Melnikova, E. I., Laptev, G. Y., & Ilina, L. A. (2015). The influence of a new sour milk product with whey protein hydrolysate on the tolerance and dynamics of atopic dermatitis manifestations in children with an allergy to cow's milk proteins. *Questions of Nutrition*, 84(5).
- Харитонов, В. Д., Будрик, В. Г., Агаркова, Е. Ю., Ботина, С. Г., Березкина, К. А., Кручинин, А.Г., Пономарев, А.Н., Мельникова, Е. И. (2012). К вопросу о перспективных направлениях борьбы с аллергией. *Техника и технология пищевых производств*, 4 (27).
- Kharitonov, V. D., Budrik, V. G., Agarkova, E. Y., Botina, S. G., Berezkina, K. A., Kruchinin, A.G., Ponomarev, A.N., Melnikova, E. I. (2012). On the question of prospective directions in the fight against allergies. *Technique and Technology of Food Production*, 4(27).
- Хуршудян, С.А., & Семенов, Н.Т. (2013). Ресурсосберегающие технологии и инновационные задачи в производстве напитков. *Пищевая промышленность*, 7, 16–17.
- Khurshudyan, S. A., & Semenenko, N. T. (2013). Resource-saving technologies and innovative tasks in beverage production. *Food Industry*, 7, 16–17.
- Abdulwaliyu, I., Arekemase, S. O., Adudu, J. A., Batari, M. L., Eg-bule, M. N., & Okoduwa, S. I. R. (2019). Investigation of the medicinal significance of phytic acid as an indispensable anti-nutrient in diseases. *Clinical Nutrition Experimental*, 28, 42–61. <https://doi.org/10.1016/j.clnex.2019.10.002>
- Achi, O. K., & Asamudo, N. U. (2019). Cereal-Based fermented foods of africa as functional foods. In J.-M. Mérillon & K. G. Ramawat (Eds.), *Bioactive Molecules in Food* (pp. 1527–1558). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78030-6_31

- Adebo, O. A., & Medina-Meza, I. G. (2020). Impact of fermentation on the phenolic compounds and antioxidant activity of whole cereal grains: A mini review. *Molecules*, 25(4), 927. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25040927>
- Aderibigbe, O. R., Ezekiel, O. O., Owolade, S. O., Korese, J. K., Sturm, B., & Hensel, O. (2020). Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (*Amaranthus* spp.) along the value chain for food and nutrition security: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(3), 656–669. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1825323>
- Adise, S., Gavdanovich, I., & Zellner, D. A. (2015). Looks like chicken: Exploring the law of similarity in evaluation of foods of animal origin and their vegan substitutes. *Food Quality and Preference*, 41, 52–59. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2014.10.007>
- Ahangaran, M., Afanasev, D. A., Chernukha, I. M., Mashentseva, N. G., & Gharaviri, M. (2022). Bioactive peptides and antinutrients in chickpea: Description and properties (a review). *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*, 183(1), 214–223. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-214-223>
- Ajayi, I. O., Otemuyiwa, I. O., Adeyanju, A. A., & Falade, O. S. (2021). Vegetable polyphenols inhibit starch digestibility and phenolic availability from composite carbohydrate foods in-vitro. *Journal of Agriculture and Food Research*, 3, 100116. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100116>
- Alemayehu, G. F., Forsido, S. F., Tola, Y. B., Teshager, M. A., Assegie, A. A., & Amare, E. (2021). Proximate, mineral and anti-nutrient compositions of oat grains (*Avena sativa*) cultivated in Ethiopia: Implications for nutrition and mineral bioavailability. *Heliyon*, 7(8), e07722. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07722>
- Astley, S., & Finglas, P. (2016). Nutrition and health. *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03425-9>
- Atuna, R. A., Ametei, P. N., Bawa, A.-A., & Amagloh, F. K. (2022). Traditional processing methods reduced phytate in cereal flour, improved nutritional, functional and rheological properties. *Scientific African*, 15, e01063. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01063>
- Awulachew, M. T. (2022). A Review of anti-nutritional factors in plant based foods. *Food Science & Nutrition Research, Ethiopian Institute of Agricultural Research*, 7(3), 223–236.
- Aydar, E. F., Tutuncu, S., & Ozcelik, B. (2020). Plant-based milk substitutes: Bioactive compounds, conventional and novel processes, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 70, 103975. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2020.103975>
- Babiker, E., Abdelseed, B., Hassan, H., & Adiamo, O. (2018). Effect of decortication methods on the chemical composition, antinutrients, Ca, P and Fe contents of two pearl millet cultivars during storage. *World Journal of Science, Technology and Sustainable Development*, 15(3), 278–286. <https://doi.org/10.1108/WJSTSD-01-2018-0005>
- Bahwere, P., Balaluka, B., Wells, J. C., Mbiribindi, C. N., Sadler, K., Akomo, P., Dramaix-Wilmet, M., & Collins, S. (2016). Cereals and pulse-based ready-to-use therapeutic food as an alternative to the standard milk- and peanut paste-based formulation for treating severe acute malnutrition: A noninferiority, individually randomized controlled efficacy clinical trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 103(4), 1145–1161. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.119537>
- Bayless, T. M., Brown, E., & Paige, D. M. (2017). Lactase non-persistence and lactose intolerance. *Current Gastroenterology Reports*, 19(5), 1–11. <https://doi.org/10.1007/S11894-017-0558-9/FIGURES/1>
- Bekiroglu, H., Goktas, H., Karaibrahim, D., Bozkurt, F., & Sagdic, O. (2022). Determination of rheological, melting and sensorial properties and volatile compounds of vegan ice cream produced with fresh and dried walnut milk. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28, 100521. <https://doi.org/10.1016/J.IJGFS.2022.100521>
- Bocker, R., & Silva, E. K. (2022). Innovative technologies for manufacturing plant-based non-dairy alternative milk and their impact on nutritional, sensory and safety aspects. *Future Foods*, 5, 100098. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2021.100098>
- Bonke, A., Sieuwerts, S., & Petersen, I. L. (2020). Amino acid composition of novel plant drinks from oat, Lentil and pea. *Foods*, 9(4), 429. <https://doi.org/10.3390/FOODS9040429>
- Borin, J. F., Knight, J., Holmes, R. P., Joshi, S., Goldfarb, D. S., & Loeb, S. (2022). Plant-based milk alternatives and risk factors for kidney stones and chronic kidney disease. *Journal of Renal Nutrition*, 32(3), 363–365. <https://doi.org/10.1053/j.jrn.2021.03.011>
- Budhwar, S., Sethi, K., & Chakraborty, M. (2020). Efficacy of germination and probiotic fermentation on underutilized cereal and millet grains. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/S43014-020-00026-W/FIGURES/2>
- Bunkar, D., Goyal, S., Meena, K. K., & Kamalvanshi, V. (2021). Nutritional, functional role of Kodo Millet and its processing: A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10, 1972–1985.
- Cardello, A. V., Llobell, F., Giacalone, D., Roigard, C. M., & Jaeger, S. R. (2022). Plant-based alternatives vs dairy milk: Consumer segments and their sensory, emo-

- tional, cognitive and situational use responses to tasted products. *Food Quality and Preference*, 100, 104599. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2022.104599>
- Chalupa-Krebsdaz, S., Long, C. J., & Bohrer, B. M. (2018). Nutrient density and nutritional value of milk and plant-based milk alternatives. *International Dairy Journal*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.07.018>
- Clark, B. E., Pope, L., & Belarmino, E. H. (2022). Personal bias in nutrition advice: A survey of health professionals' recommendations regarding dairy and plant-based dairy alternatives. *PEC Innovation*, 1, 100005. <https://doi.org/10.1016/J.PECINN.2021.100005>
- Dahdouh, S., Grande, F., Espinosa, S. N., Vincent, A., Gibson, R., Bailey, K., King, J., Rittenschober, D., & Charrondière, U. R. (2019). Development of the FAO/INFOODS/IZ-INCG global food composition database for phytate. *Journal of Food Composition and Analysis*, 78, 42–48. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.01.023>
- Das, A. K., Islam, Md. N., Faruk, Md. O., Ashaduzzaman, Md., & Dungani, R. (2020). Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. *South African Journal of Botany*, 135, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.008>
- de Boer, J., & Aiking, H. (2019). Strategies towards healthy and sustainable protein consumption: A transition framework at the levels of diets, dishes, and dish ingredients. *Food Quality and Preference*, 73, 171–181. <https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2018.11.012>
- Dey, N., Kumari, N., Bhagat, D., & Bhattacharya, S. (2018). Smart optical probe for 'equipment-free' detection of oxalate in biological fluids and plant-derived food items. *Tetrahedron*, 74(34), 4457–4465. <https://doi.org/10.1016/j.tet.2018.06.052>
- Dhakal, S., Liu, C., Zhang, Y., Roux, K. H., Sathe, S. K., Balasubramaniam, V. M. (2014). Effect of high pressure processing on the immunoreactivity of almond milk. *Food Research International*, 62, 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.02.021>
- Dhesi, A., Ashton, G., Raptaki, M., & Makwana, N. (2020). Cow's milk protein allergy. *Paediatrics and Child Health*, 30(7), 255–260. <https://doi.org/10.1016/J.PAED.2020.04.003>
- do Nascimento, L. Á., Abhilasha, A., Singh, J., Elias, M. C., & Colussi, R. (2022). Rice germination and its impact on technological and nutritional properties: A review. *Rice Science*, 29(3), 201–215. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2022.01.009>
- Adeyeye, E. I., Olaleye, A. A., Aremu, M. O., Atere, J. O., & Idowu, O. T. (2020). Sugar, antinutrient and food properties levels in raw, fermented and germinated pearl millet grains. *FUW Trends in Science and Technology*, 5(3), 745–758.
- Escobar-Sáez, D., Montero-Jiménez, L., García-Herrera, P., & Sánchez-Mata, M. C. (2022). Plant-based drinks for vegetarian or vegan toddlers: Nutritional evaluation of commercial products, and review of health benefits and potential concerns. *Food Research International*, 160, 111646. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111646>
- Faba-Rodriguez, R., Gu, Y., Salmon, M., Dionisio, G., Brinch-Pedersen, H., Brearley, C. A., & Hemmings, A. M. (2022). Structure of a cereal purple acid phytase provides new insights to phytate degradation in plants. *Plant Communications*, 3(2), 100305. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100305>
- Faris, M. A.-I. E., Takruri, H. R., & Issa, A. Y. (2013). Role of lentils (*Lens culinaris* L.) in human health and nutrition: A review. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 6(1), 3–16. <https://doi.org/10.3233/s12349-012-0109-8>
- Ferruzzi, M. G., Kruger, J., Mohamedshah, Z., Debelo, H., & Taylor, J. R. N. (2020). Insights from in vitro exploration of factors influencing iron, zinc and provitamin A carotenoid bioaccessibility and intestinal absorption from cereals. *Journal of Cereal Science*, 96, 103126. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103126>
- Ganguly, S., Sabikhi, L., & Singh, A. K. (2022). Effect of probiotic fermentation on physico-chemical and nutritional parameters of milk-cereal based composite substrate. *Journal of Food Science and Technology*, 59(8), 3073–3085. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05350-8>
- Graça, J., Truninger, M., Junqueira, L., & Schmidt, L. (2019). Consumption orientations may support (or hinder) transitions to more plant-based diets. *Appetite*, 140, 19–26. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2019.04.027>
- Grases, F., Prieto, R. M., & Costa-Bauza, A. (2017). Dietary Phytate and Interactions with Mineral Nutrients. In O. Gutiérrez, K. Kalantar-Zadeh, & R. Mehrotra (Eds.), *Clinical Aspects of Natural and Added Phosphorus in Foods* (pp. 175–183). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6566-3_12
- Grundy, M. M. L., Momanyi, D. K., Holland, C., Kawaka, F., Tan, S., Salim, M., Boyd, B. J., Bajka, B., Mulet-Cabero, A.-I., Bishop, J., & Owino, W. O. (2020). Effects of grain source and processing methods on the nutritional profile and digestibility of grain amaranth. *Journal of Functional Foods*, 72, 104065. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104065>
- Gulati, P., Li, A., Holding, D., Santra, D., Zhang, Y., & Rose, D. J. (2017). Heating reduces proso millet protein digestibility via formation of hydrophobic aggregates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(9), 1952–1959. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05574>
- Gunawan, S., Dwitasari, I., Rahmawati, N., Darmawan, R., Wirawasista Aparamarta, H., & Widjaja, T. (2022). Effect of process production on antinutritional, nutri-

- tion, and physicochemical properties of modified sorghum flour. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(10), 104134. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104134>
- Hassan, Z. M., Sebola, N. A., & Mabelebele, M. (2021). The nutritional use of millet grain for food and feed: A review. *Agriculture & Food Security*, 10(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00282-6>
- Hendek Ertop, M., & Bektaş, M. (2018). Enhancement of bioavailable micronutrients and reduction of antinutrients in foods with some processes. *Food and Health*, 4(3), 159–165. <https://doi.org/10.3153/FH18016>
- Huynh, N. K., Nguyen, D. H. M., & Nguyen, H. V. H. (2022). Effects of processing on oxalate contents in plant foods: A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, 112, 104685. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104685>
- Ibragimova, Z. A., & Kuluev, B. R. (2020). Molecular basis of food and feed qualities of rye (*Secale cereale*) grain. *Biomics*, 12(1), 8–26. <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2020-2>
- Ignat, M. V., Salanță, L. C., Pop, O. L., Pop, C. R., Tofană, M., Mudura, E., Coldea, T. E., Borșa, A., & Pasqualone, A. (2020). Current functionality and potential improvements of non-alcoholic fermented cereal beverages. *Foods*, 9(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/foods9081031>
- Jaeger, S. R., & Giacalone, D. (2021). Barriers to consumption of plant-based beverages: A comparison of product users and non-users on emotional, conceptual, situational, conative and psychographic variables. *Food Research International*, 144, 110363. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2021.110363>
- Jeske, S., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2017). Evaluation of physicochemical and glycaemic properties of commercial plant-based milk substitutes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 72(1), 26–33. <https://doi.org/10.1007/S11130-016-0583-0>
- Jeske, S., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2018). Past, present and future: The strength of plant-based dairy substitutes based on gluten-free raw materials. *Food Research International*, 110, 42–51. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2017.03.045>
- Joye, I. (2019). Protein digestibility of cereal products. *Foods*, 8(6), 199. <https://doi.org/10.3390/FOODS8060199>
- Kaiser, N., Douches, D., Dhingra, A., Glenn, K. C., Herzig, P. R., Stowe, E. C., & Swarup, S. (2020). The role of conventional plant breeding in ensuring safe levels of naturally occurring toxins in food crops. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 51–66. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.042>
- Karmakar, A., Bhattacharya, S., Sengupta, S., Ali, N., Sarkar, S. N., Datta, K., & Datta, S. K. (2020). RNAi-Mediated silencing of ITPK gene reduces phytic acid content, alters transcripts of phytic acid biosynthetic genes, and modulates mineral distribution in rice seeds. *Rice Science*, 27(4), 315–328. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2020.05.007>
- Kaur, M., Asthir, B., & Mahajan, G. (2017). Variation in antioxidants, bioactive compounds and antioxidant capacity in germinated and ungerminated grains of ten rice cultivars. *Rice Science*, 24(6), 349–359. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.08.002>
- Kaur, P., Purewal, S. S., Sandhu, K. S., Kaur, M., & Salar, R. K. (2019). Millets: A cereal grain with potent antioxidants and health benefits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(1), 793–806. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9992-0>
- Komarova, O. N., & Khavkin, A. (2017). The role of cereals in human nutrition. *Voprosy Detskoi Dietologii*, 15, 45–51. <https://doi.org/10.20953/1727-5784-2017-4-45-51>
- Konozy, E., Osman, M., & Dirar, A. (2022). Plant lectins as potent anti-coronaviruses, anti-inflammatory, antinociceptive and antiulcer agents. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(6), 103301. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103301>
- López-Moreno, M., Garcés-Rimón, M., & Miguel, M. (2022). Antinutrients: Lectins, goitrogens, phytates and oxalates, friends or foe? *Journal of Functional Foods*, 89, 104938. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2022.104938>
- Mäkelä, N., Rosa-Sibakov, N., Wang, Y.-J., Mattila, O., Nordlund, E., & Sontag-Strohm, T. (2021). Role of β -glucan content, molecular weight and phytate in the bile acid binding of oat β -glucan. *Food Chemistry*, 358, 129917. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129917>
- Mäkinen, O. E., Uniacke-Lowe, T., O'Mahony, J. A., & Arendt, E. K. (2015). Physicochemical and acid gelation properties of commercial UHT-treated plant-based milk substitutes and lactose free bovine milk. *Food Chemistry*, 168, 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.036>
- Manzoor, M. F., Siddique, R., Hussain, A., Ahmad, N., Rehman, A., Siddeeg, A., Alfarga, A., Alshammari, G. M., & Yahya, M. A. (2021). Thermosonication effect on bioactive compounds, enzymes activity, particle size, microbial load, and sensory properties of almond (*Prunus dulcis*) milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 78, 105705. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2021.105705>
- Manzoor, M., Singh, D., Kumar Aseri, G., Sohal, J. S., Vij, S., & Sharma, D. (2021). Role of lacto-fermentations in reduction of antinutrients in plant-based foods. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 9(3). <https://doi.org/10.7324/JABB.2021.9302>
- Martemucci, G., Portincasa, P., Di Ciaula, A., Mariano, M., Centonze, V., & D'Alessandro, A. G. (2022). Oxidative stress, aging, antioxidant supplementation and their impact on human health: An overview. *Mech-*

- anisms of Ageing and Development, 206, 111707. <https://doi.org/10.1016/J.MAD.2022.111707>
- Masisi, K., Beta, T., & Moghadasian, M. H. (2016). Antioxidant properties of diverse cereal grains: A review on in vitro and in vivo studies. *Food Chemistry*, 196, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.021>
- Mishra, A., Behura, A., Mawatwal, S., Kumar, A., Naik, L., Mohanty, S. S., Manna, D., Dokania, P., Mishra, A., Patra, S. K., & Dhiman, R. (2019). Structure-function and application of plant lectins in disease biology and immunity. *Food and Chemical Toxicology*, 134, 110827. <https://doi.org/10.1016/J.FCT.2019.110827>
- Mohapatra, D., Patel, A. S., Kar, A., Deshpande, S. S., & Tripathi, M. K. (2019). Effect of different processing conditions on proximate composition, anti-oxidants, anti-nutrients and amino acid profile of grain sorghum. *Food Chemistry*, 271, 129–135. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2018.07.196>
- Munekata, P. E. S., Domínguez, R., Budaraju, S., Roselló-Soto, E., Barba, F. J., Mallikarjunan, K., Roohinejad, S., & Lorenzo, J. M. (2020). Effect of innovative food processing technologies on the physicochemical and nutritional properties and quality of non-dairy plant-based beverages. *Foods*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/foods9030288>
- Mylan, J., Morris, C., Beech, E., & Geels, F. W. (2019). Rage against the regime: Niche-regime interactions in the societal embedding of plant-based milk. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31, 233–247. <https://doi.org/10.1016/J.EIST.2018.11.001>
- Nath, H., Samtiya, M., & Dhewa, T. (2022). Beneficial attributes and adverse effects of major plant-based foods anti-nutrients on health: A review. *Human Nutrition & Metabolism*, 28, 200147. <https://doi.org/10.1016/j.hnm.2022.200147>
- Nikbakht Nasrabadi, M., Sedaghat Doost, A., & Mezzenga, R. (2021). Modification approaches of plant-based proteins to improve their techno-functionality and use in food products. *Food Hydrocolloids*, 118, 106789. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106789>
- Nissar, J., Ahad, T., & Rashid Naik, H. (2017). A review phytic acid: As antinutrient or nutraceutical Design and development of hand operated and power operated walnut cracker View project Post Harvest Technology View project. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6, 1554–1560.
- Nkhata, S. G., Ayua, E., Kamau, E. H., & Shingiro, J. B. (2018). Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. *Food Science & Nutrition*, 6(8), 2446–2458. <https://doi.org/10.1002/FSN3.846>
- Oke, E. K., Ayofemi, S., Adeyeye, O., & Olorode, O. O. (2022). Complementary Foods and Its Processing Methods: A Review. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 14(1), 5. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2022.14.1.05>
- Olawaye, B. T., & Gbadamosi, S. O. (2017). Effect of different treatments on in vitro protein digestibility, antinutrients, antioxidant properties and mineral composition of *Amaranthus viridis* seed. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1296402>
- Patra, T., Rinnan, Å., & Olsen, K. (2021). The physical stability of plant-based drinks and the analysis methods thereof. *Food Hydrocolloids*, 118, 106770. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2021.106770>
- Pei, R., Liu, X., & Bolling, B. (2020). Flavonoids and gut health. *Current Opinion in Biotechnology*, 61, 153–159. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2019.12.018>
- Penha, C. B., Santos, V. D. P., Speranza, P., & Kurozawa, L. E. (2021). Plant-based beverages: Ecofriendly technologies in the production process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 72, 102760. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2021.102760>
- Petroski, W., & Minich, D. M. (2020). Is there such a thing as “anti-nutrients”? A narrative review of perceived problematic plant compounds. *Nutrients*, 12(10), 2929. <https://doi.org/10.3390/NU12102929>
- Pineli, L. de L. de O., Botelho, R. B. A., Zandonadi, R. P., Solorzano, J. L., de Oliveira, G. T., Reis, C. E. G., & Teixeira, D. da S. (2015). Low glycemic index and increased protein content in a novel quinoa milk. *LWT — Food Science and Technology*, 63(2), 1261–1267. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.094>
- Popova, A., & Mihaylova, D. (2019). Antinutrients in plant-based foods: A review. *The Open Biotechnology Journal*, 13(1), 68–76. <https://doi.org/10.2174/1874070701913010068>
- Poutanen, K. S., Kårlund, A. O., Gómez-Gallego, C., Johansson, D. P., Scheers, N. M., Marklinder, I. M., Eriksen, A. K., Silventoinen, P. C., Nordlund, E., Sozer, N., Hanhineva, K. J., Kolehmainen, M., & Landberg, R. (2022). Grains — a major source of sustainable protein for health. *Nutrition Reviews*, 80(6), 1648–1663. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab084>
- Punniyamoorthy, S., Kanchana, S., Maheswari, U., & Ganapathy-swamy, H. (2020). Optimization of parameters for the extraction of millet milk for product development. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 9(6), 1345–1349.
- Quattrini, M., Bernardi, C., Stuknytė, M., Masotti, F., Passera, A., Ricci, G., Vallone, L., De Noni, I., Brasca, M., & Fortina, M. G. (2018). Functional characterization of *Lactobacillus plantarum* ITEM 17215: A potential biocontrol agent of fungi with plant growth promoting traits, able to enhance the nutritional value of cereal products. *Food Research International*, 106, 936–944. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.01.074>

- Raes, Katleen, Dries Knockaert, Karin Struijs, and John Van Camp. 2014. 'Role of processing on bioaccessibility of minerals: Influence of localization of minerals and anti-nutritional factors in the plant'. *Trends in Food Science & Technology*, 37(1), 32–41.
- Raguindin, P. F., Adam Itodo, O., Stoyanov, J., Dejanovic, G. M., Gamba, M., Asllanaj, E., Inder, B., Bussler, W., Metzger, B., Muka, T., Glisic, M., & Kern, H. (2021). A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat. *Food Chemistry*, 338, 127982. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127982>
- Rasika, D. M., Vidanarachchi, J. K., Rocha, R. S., Balthazar, C. F., Cruz, A. G., Sant'Ana, A. S., & Ranadheera, C. S. (2021). Plant-based milk substitutes as emerging probiotic carriers. *Current Opinion in Food Science*, 38, 8–20. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.025>
- Ray, M., Ghosh, K., Singh, S., & Chandra Mondal, K. (2016). Folk to functional: An explorative overview of rice-based fermented foods and beverages in India. *Journal of Ethnic Foods*, 3(1), 5–18. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2016.02.002>
- Rincon, L., Braz Assunção Botelho, R., & de Alencar, E. R. (2020). Development of novel plant-based milk based on chickpea and coconut. *LWT — Food Science and Technology*, 128, 109479. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.109479>
- Rodríguez-España, M., Figueroa-Hernández, C. Y., Figueroa-Cárdenas, J. de D., Rayas-Duarte, P., & Hernández-Estrada, Z. J. (2022). Effects of germination and lactic acid fermentation on nutritional and rheological properties of sorghum: A graphical review. *Current Research in Food Science*, 5, 807–812. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.04.014>
- Ruby, M. B. (2012). Vegetarianism. A blossoming field of study. *Appetite*, 58(1), 141–150. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2011.09.019>
- Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/S43014-020-0020-5>
- Samtiya, M., Aluko, R. E., Puniya, A. K., & Dhewa, T. (2021). Enhancing micronutrients bioavailability through fermentation of plant-based foods: A concise review. *Fermentation*, 7(2), 63. <https://doi.org/10.3390/FERMENTATION7020063>
- Santa María, C., Revilla, E., Rodríguez-Morgado, B., Castaño, A., Carbonero, P., Gordillo, B., Cert, R., & Parrado, J. (2016). Effect of rice parboiling on the functional properties of an enzymatic extract from rice bran. *Journal of Cereal Science*, 72, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.09.010>
- Sarangapany, A. K., Murugesan, A., Annamalai, A. S., Balasubramanian, A., & Shanmugam, A. (2022). An overview on ultrasonically treated plant-based milk and its properties — A review. *Applied Food Research*, 2(2), 100130. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100130>
- Schiano, A. N., Nishku, S., Racette, C. M., & Drake, M. A. (2022). Parents' implicit perceptions of dairy milk and plant-based milk alternatives. *Journal of Dairy Science*, 105(6), 4946–4960. <https://doi.org/10.3168/JDS.2021-21626>
- Sharp, E., D'Cunha, N. M., Ranadheera, C. S., Vasiljevic, T., Panagiotakos, D. B., & Naumovski, N. (2021). Effects of lactose-free and low-lactose dairy on symptoms of gastrointestinal health: A systematic review. *International Dairy Journal*, 114, 104936. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2020.104936>
- Shen, Y., Jin, L., Xiao, P., Lu, Y., & Bao, J. (2009). Total phenolics, flavonoids, antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight. *Journal of Cereal Science*, 49(1), 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.010>
- Silva, A. R. A., Silva, M. M. N., & Ribeiro, B. D. (2020). Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Research International*, 131. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108972>
- Silva, B. Q., & Sergiy, S. (2022). Review on milk substitutes from an environmental and nutritional point of view. *Applied Food Research*, 100105. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2022.100105>
- Silva, J. G. S., Rebellato, A. P., Caramês, E. T. dos S., Greiner, R., & Pallone, J. A. L. (2020). In vitro digestion effect on mineral bioaccessibility and antioxidant bioactive compounds of plant-based beverages. *Food Research International*, 130, 108993. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.108993>
- Singhal, S., Baker, R. D., & Baker, S. S. (2017). A comparison of the nutritional value of cow's milk and nondairy beverages. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 64(5), 799–805. <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000001380>
- Stewart, H., Kuchler, F., Cessna, J., & Hahn, W. (2020). Are plant-based analogues replacing cow's milk in the American diet? *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 52(4), 562–579. <https://doi.org/10.1017/AEE.2020.16>
- Suneetha, J., Naga, M., Srujana, S., Kumari, A., & Prathyusha, P. (2019). Processing technologies and health benefits of quinoa. *The Pharma Innovation Journal*, 8(5), 155–160.
- Tangyu, M., Muller, J., Bolten, C. J., & Wittmann, C. (2019). Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(23), 9263–9275. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9>
- Tello, A., Aganovic, K., Parniakov, O., Carter, A., Heinz, V., & Smetana, S. (2021). Product development and environmental impact of an insect-based milk alternative. *Future Foods*, 4, 100080. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2021.100080>

- Tsarakidou, P., Michaelidou, A.-M., & G. Biliaderis, C. (2020). Fermented cereal-based products: Nutritional aspects, possible impact on gut microbiota and health implications. *Foods*, 9(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/foods9060734>
- Vaikma, H., Kaleda, A., Rosend, J., & Rosenvall, S. (2021). Market mapping of plant-based milk alternatives by using sensory (RATA) and GC analysis. *Future Foods*, 4, 100049. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2021.100049>
- Vanga, S. K., & Raghavan, V. (2018). How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 10–20. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2915-y>
- Verduci, E., D'Elios, S., Cerrato, L., Comberiati, P., Calvani, M., Palazzo, S., Martelli, A., Landi, M., Trikamjee, T., & Peroni, D. G. (2019). Cow's milk substitutes for children: Nutritional aspects of milk from different mammalian species, special formula and plant-based beverages. *Nutrients*, 11(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/nu11081739>
- Verni, M., Demarinis, C., Rizzello, C. G., & Baruzzi, F. (2020). Design and characterization of a novel fermented beverage from lentil grains. *Foods*, 9(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/foods9070893>
- Wang, H., Huang, X., Tan, H., Chen, X., Chen, C., & Nie, S. (2022). Interaction between dietary fiber and bifidobacteria in promoting intestinal health. *Food Chemistry*, 393, 133407. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133407>
- Wilson, J. (2005). Milk intolerance: Lactose Intolerance and cow's milk protein allergy. *Newborn and Infant Nursing Reviews*, 5(4), 203–207. <https://doi.org/10.1053/J.NAINR.2005.08.004>
- Xiang, H., Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G. I. N., Cui, C., & Ruan, Z. (2019). Fermentation-enabled wellness foods: A fresh perspective. *Food Science and Human Wellness*, 8(3), 203–243. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.08.003>
- Yadav, S., Mishra, S., & Pradhan, R. C. (2021). Ultrasound-assisted hydration of finger millet (Eleusine Coracana) and its effects on starch isolates and antinutrients. *Ultrasonics Sonochemistry*, 73, 105542. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105542>
- Youssef, M., Lafarge, C., Valentin, D., Lubbers, S., & Husson, F. (2016). Fermentation of cow milk and/or pea milk mixtures by different starter cultures: Physico-chemical and sensorial properties. *LWT — Food Science and Technology*, 69, 430–437. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.060>
- Ziarno, M., & Cichońska, P. (2021). Lactic Acid Bacteria-Fermentable Cereal- and Pseudocereal-Based Beverages. *Microorganisms*, 9(12), 2532. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS9122532>

Идентификация Bovine Leukemia Virus (BLV) в молоке: обзор предметного поля

Е.Г. Лазарева, О.Ю. Фоменко

Всероссийский
научно-исследовательский
институт молочной
промышленности
(ФГАНУ «ВНИМИ»), г. Москва,
Россия

АННОТАЦИЯ

Введение: С 2019 г. наблюдается растущий интерес к вопросу оценки потенциальных рисков мутации вирусных инфекций животных в опасную для человека форму. Исследования в нише безопасности животноводческой продукции ведутся в нескольких направлениях, включающих анализ и оценку влияния наиболее распространенных заболеваний скота на качество и безопасность получаемого сырья. Значительный интерес вызывает идентификация Bovine leukemia virus (BLV) в молоке. Мониторинг данного вируса позволит не только оперативно отслеживать наличие вируса в фермерских хозяйствах, но и оценивать качество и безопасность молока-сырья, используемого для дальнейшей выработки молочных продуктов.

Цель: Проанализировать основные направления исследований в сфере молекулярно-генетического подхода к детекции вируса бычьего лейкоза в молоке коров.

Материалы и методы: Данный обзор предметного поля реализовывался согласно протоколу PRISMA-ScR. Подбор статей проводился в базах данных SCOPUS и ScienceDirect. Основным критерием для включения публикации в обзор являлось наличие информации о детекции BLV в молоке методом ПЦР. Критерии приемлемости включали также язык документа (английский язык), его тип и статус (опубликованные, прорецензированные, обзорные и эмпирические статьи) без ограничений по годам.

Результаты: Суммарно было извлечено 3688 документов, среди них был проведен скрининг на наличие дубликатов, в результате чего для дальнейшего анализа было извлечено 2905 результатов поиска. На этапе отбора публикаций по названию и аннотации были исключены 2601 статья, не соответствующие контексту обзора предметного поля и типу публикации. При изучении полного текста 38 статей было исключено 23. В результате анализа выбранных источников которых в обзор было включено 15 публикаций. Анализируемые исследования базировались как на простых, так и на многоэтапных методах идентификации BLV анализа. В качестве источника биоматериала трактывались кровь, молозиво, сырое молоко и мясо от различных выборок животных.

Выводы: Данный обзор предметного поля является первым обзором, обобщающим молекулярно-генетические подходы к детекции BLV в молоке. Представленные результаты указывают на наличие научной базы методов идентификации BLV для последующей разработки методов контроля наличия вируса и его провирусной нагрузки в продуктах, ужесточения контроля за распространением экономически вредного заболевания инфекционной природы, потенциально прямо или опосредованно опасного для любого потребителя молочной продукции.

Ключевые слова: вирус бычьего лейкоза, молоко, полимеразная цепная реакция, провирусная ДНК

Корреспонденция:

Лазарева Е.Г.,

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»), г. Москва, Люсиновская 35, корп. 7
E-mail: e_lazareva@vniimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 10.01.2023

Принята: 25.03.2023

Опубликована: 30.03.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Лазарева, Е. Г., Фоменко, О. Ю. (2023). Идентификация Bovine leukemia virus (BLV) в молоке: обзор предметного поля. *FOOD METAENGINEERING*, 1(1), 90-106. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.4>

Identification of Bovine Leukemia Virus (BLV) in Milk: Scoping Review

Ekaterina G. Lazareva, Oleg Yu. Fomenko

All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIM»), Moscow,
Russia

ABSTRACT

Introduction: Since 2019, there has been a growing interest in assessing the potential risks of animal viral infections mutating into a form dangerous for humans. Research in the field of livestock product safety is being conducted in several directions, including the analysis and assessment of the impact of the most common cattle diseases on the quality and safety of the raw materials obtained. Of particular interest is the identification of Bovine Leukemia Virus (BLV) in milk. Monitoring this virus will not only allow for the timely tracking of its presence in farmsteads, but also to evaluate the quality and safety of raw milk used for further dairy product production.

Purpose: To analyze the main research directions in the field of molecular-genetic approach to the detection of bovine leukemia virus in cow's milk.

Materials and Methods: This scoping review was carried out according to the protocol PRISMA-ScR. The articles were selected from the SCOPUS and ScienceDirect databases. The main criterion for including a publication in the review was the presence of information about the detection of BLV in milk by PCR method. Acceptance criteria also included document language (English), its type and status (published, peer-reviewed, review, and empirical articles) with no limitations on years.

Results: In total, 3688 documents were extracted, among which a screening for duplicates was carried out, resulting in the extraction of 2905 search results for further analysis. At the stage of selecting publications by title and abstract, 2601 articles that did not match the context of the subject field review and the type of publication were excluded. Upon studying the full text of 38 articles, 23 were excluded. As a result of the analysis of the selected sources, 15 publications were included in the review. The studies analyzed were based both on simple and multi-stage methods of BLV identification. The source of biomaterial were blood, colostrum, raw milk, and meat from different animal samples.

Conclusion: This scoping review is the first to summarize molecular-genetic approaches to the detection of BLV in milk. The presented results indicate the presence of a scientific base of methods for identifying BLV for further development of methods for controlling the presence of the virus and its proviral load in products, tightening control over the spread of economically harmful infectious diseases, potentially directly or indirectly dangerous for any consumer of dairy products.

Keywords: bovine leukemia virus; milk; polymerase chain reaction; proviral DNA

Correspondence:

Ekaterina G. Lazareva,
All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIM»),
35 Lyusinovskaya, Building 7,
Moscow, Russian Federation.
E-mail: e_lazareva@vniimi.org

Conflict of interest:

The author report the absence of a conflict of interest.

Received: 10.01.2023

Accepted: 25.03.2023

Published: 30.03.2023

Copyright: © 2023 The Authors



To cite: Lazareva, E. G., Fomenko, O. Yu. (2023). Identification of Bovine leukemia virus (BLV) in milk: Scoping review. *FOOD METAENGINEERING*, 1(1), 90-106.
<https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.4>

ВВЕДЕНИЕ

С учетом глобальных изменений в мире, вектор внимания производителей продуктов питания смещается в сторону оценки потенциальных рисков в связи с возможными мутациями вирусных инфекций животных в форму, опасную для человека (Nandi et al., 2021). Основным источником продуктов животноводства является крупный рогатый скот (КРС). Поэтому особенно остро стоит вопрос влияния заболеваний крупного рогатого скота на качество и безопасность получаемого от них сырья, в особенности по такому заболеванию, как лейкоз КРС. Данное заболевание является опухолевым и имеет инфекционную природу. Кроме того, лейкоз крупного рогатого скота (ЛКРС) имеет повсеместное распространение практически во всех странах мира (Donnik et al., 2021). Возбудителем ЛКРС выступает вирус бычьего лейкоза (BLV), который имеет филогенетическую связь с вирусом Т-клеточного лейкоза человека 1-го типа (HTLV-1). Влияние вируса лейкоза КРС на организм человека до конца не изучено (Ruiz et al., 2018). Особенностью вируса является длительный латентный период без какой-либо симптоматики, кроме наличия антител. Данный факт препятствует возможности быстрого обнаружения вирусоносителей, от которых продолжается сбор молока. Для гарантированного исключения из цикла переработки сырья низкого качества необходима разработка достоверных и быстрых методов определения BLV, в равной степени применимых ко всем пищевым объектам.

Аспекты безопасности молока от инфицированных животных до сих пор до конца не изучены. Основной спорной темой научных исследований является взаимосвязь BLV и рака молочной железы. Согласно исследованию Buehring et al. (2001), в странах с высоким уровнем потребления мясомолочной продукции от КРС были обнаружены признаки провирусного генома BLV в молочных железах. В дальнейшей работе с применением иммуноблоттинга этой же исследовательской командой было обнаружено, что в 74 % протестированных сывороток крови человека обнаруживался, по крайней мере, один изотип антител, реагирующих с капсидным антигеном BLV (Buehring et al., 2003). Исследования Nikbakht et al. (2010) продемонстрировали с помощью непрямого фермент-связанного иммуносорбентного анализа распространенность антител против BLV в образцах человека и КРС, которая составила 12,50 % и 16,73 % соответственно. Исследования тканей молоч-

ной железы с применением метода полимеразной цепной реакции (ПЦР) дополнили эти результаты, продемонстрировав детекцию провирусной ДНК BLV в тканях молочной железы (Buehring et al., 2015). Противоположные результаты представили Zhang с соавторами (Zhang et al., 2016), не получив положительные результаты ПЦР в образцах крови здоровых и больных раком молочной железы женщин. Однако они были подвергнуты критике в публикации Buehring (Buehring, 2017) из-за использования в работе коммерческих наборов, не предназначенных для анализа биоматериала человека. Далее результаты научной группы Buehring получили подтверждение в исследовании следов BLV в человеческой крови Schwingel с соавторами (Schwingel et al., 2019). Но в исследовании Ahmed с соавторами (Ahmed et al., 2019) BLV был выявлен только у 2 из 52 больных женщин, что не может быть доказательством корреляции рака молочной железы и BLV. Все описанные исследования не сосредотачивались на способах инфицирования человека и на экономическом ущербе от вируса для сельскохозяйственного сектора.

Нам не удалось обнаружить ни одного обзора, посвященного детекции BLV в молочных продуктах животноводства. Данный пробел в исследованиях может быть связан с тем, что во многих странах молоко-сырьё для обеспечения безопасности последствием разрушения посторонних микроорганизмов подвергается предварительной термизации (Galstyan et al., 2015; Turovskaya et al., 2018) и обязательной пастеризации на производстве при различной температуре и времени выдержки (Donskaya et al., 2022; Veziryan et al., 2015). В то же время нет статей, подтверждающих эффективность применяемых технологических режимов в вопросе инактивации BLV и его метаболитов. Несмотря на имеющиеся данные по определению температуры инактивации вируса (Sandoval-Monzón et al., 2021), остается неясным, насколько эффективно прошла термическая обработка и безопасно ли молоко и продукты его переработки для употребления человеком, если их дополнительно не исследуют на наличие и провирусную нагрузку BLV.

Для решения проблемы обеспечения населения безопасными продуктами питания, необходимы как продолжение исследований корреляции наличия вируса лейкоза КРС и онкозаболеваний у человека, так и разработка методов определения BLV в продуктах молочной промышленности. Цель данного обзора предметного поля — анализ имеющихся подходов к детекции

BLV методом ПЦР в молоке коров. Проведение данного анализа позволит контролировать заболевание инфекционной природы, наносящее экономический ущерб промышленности, и реализовывать качественные и безопасные молочные продукты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Протокол и регистрация

Обзор выполнен с использованием протокола PRISMA-ScR. Протокол был зарегистрирован в Open Science Framework (<https://osf.io/upd9m>)

Стратегия поиска

Поиск научной литературы был произведен по двум базам данных, ScienceDirect и Scopus. Использовались следующие поисковые запросы:

- (bovine AND leukemia AND virus)
- ({bovine leukemia virus})
- ({bovine leukemia virus} AND PCR)
- ({bovine leukemia virus} AND detection)
- ({bovine leukemia virus} AND detection AND PCR)
- ({bovine leukemia virus} AND detection AND {polymerase chain reaction})
- ({bovine leukemia virus} AND detection AND {polymerase chain reaction} AND milk)

- ({bovine leukemia virus} AND DNA)
- ({bovine leukemia virus} AND DNA AND detection)
- ({bovine leukemia virus} AND DNA AND detection AND milk)

Критерии отбора источников

В Таблице 1 даны критерии приемлемости и включения / исключения статей.

Отбор исследований

В отобранных по критериям источниках были проанализированы названия, аннотации и контент. После всех этапов сканирования были исключены 2601 публикации, 2265 из которых оказались нерелевантными уже на уровне названия и/или аннотации, 336 публикаций оказались нерелевантными с точки зрения их жанра (не эмпирические статьи и не обзорные статьи). На втором этапе был проанализирован текст всех отобранных потенциально релевантных исследований.

Извлечение и анализ данных

В процессе анализа текста источников фиксировалась следующая информация: автор(ы); год издания; происхождение/страна, в которой исследование было опубликовано или проводилось; цель(и) исследования; исследуемая популяция и размер выборки (если

Таблица 1

Критерии отбора источников для обзора предметного поля

Критерий	Включение	Исключение	Обоснование
Контекст	Объекты исследования — методология идентификации BLV методом ПЦР в молоке, отдельно или в сравнении с другими методами	Методология идентификации BLV только методами РИД и ИФА	ПЦР применителен как к крови животного, так и к молоку. Кроме того, ПЦР, в отличие от других подходов, позволяет обнаружить даже деградированную ДНК
Язык	Английский	Публикации на других языках	Для релевантности обзора оптимальным будет применение источников исключительно на английском языке.
Период	До августа 2022	Нет	Статьи не были ограничены по временному периоду в прошлом, так как тема обзора специфична и мало изучена
Типы статей	Обзорные, эмпирические	Источники, не прошедшие рецензирование (например, веб-сайты, блоги)	В виду того, что даже в рецензированных публикациях дается достаточно противоречивая информация, дабы избежать путаницы, были отсеяны материалы не рецензируемых источников
Статус публикации	Опубликованные статьи	Препринты и тезисы докладов конференций	Возможность ознакомления с заявленными в обзоре публикациями

применимо), исследуемый материал (молоко/кровь); методология идентификации BLV; ключевые выводы, относящиеся к исследовательскому вопросу(ам); doi (См. Таблица 1). Извлечение данных произведено с исключением дублей и нерелевантных источников. Все отобранные работы также были выгружены в виде файла в формате .ris и обработаны в программном обеспечении "VOSViewer" для визуализации сетей совпадений важных терминов, извлеченных из выбранных для обзора источников.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты поиска и процесс отбора

В базах данных Scopus и ScienceDirect суммарно были отобраны 3688 документов. Этапы работы с источниками представлены на Рисунке 1. Далее был проведен скрининг на наличие дубликатов, в результате чего для дальнейшего анализа было получено 2905 результатов поиска. На этапе отбора публикаций по названию и аннотации были исключены 2601 статья, не соответствующи

щие контексту обзора предметного поля и типу публикации. При изучении полного текста 38 статей было исключено 23 как не релевантные. Всего в обзор предметного поля включено 15 публикаций. Столь значимый отсев статей обусловлен тем, что их авторы формулировали нерелевантные ключевые слова (Mask, 2012) в результате чего в подборку попало значительное количество статей, находящихся вне поля нашего исследовательского интереса.

Описание отобранных публикаций

Информация об отобранных работах была выгружена из баз данных в виде файла формата .ris. Данный этап необходим для выявления ключевых слов, на основании которых формируются основные направления исследований молока на наличие BLV. Полученный файл был загружен в программу «VOSViewer». С помощью этой программы из 15 работ всего было извлечено 28 ключевых слов, которые мы в дальнейшем применили для графического представления взаимосвязи терминов в выбранных публикациях (Рисунки 2, 3).

Рисунок 1

Диаграмма процесса отбора статей для обзора предметного поля по PRISMA-ScR

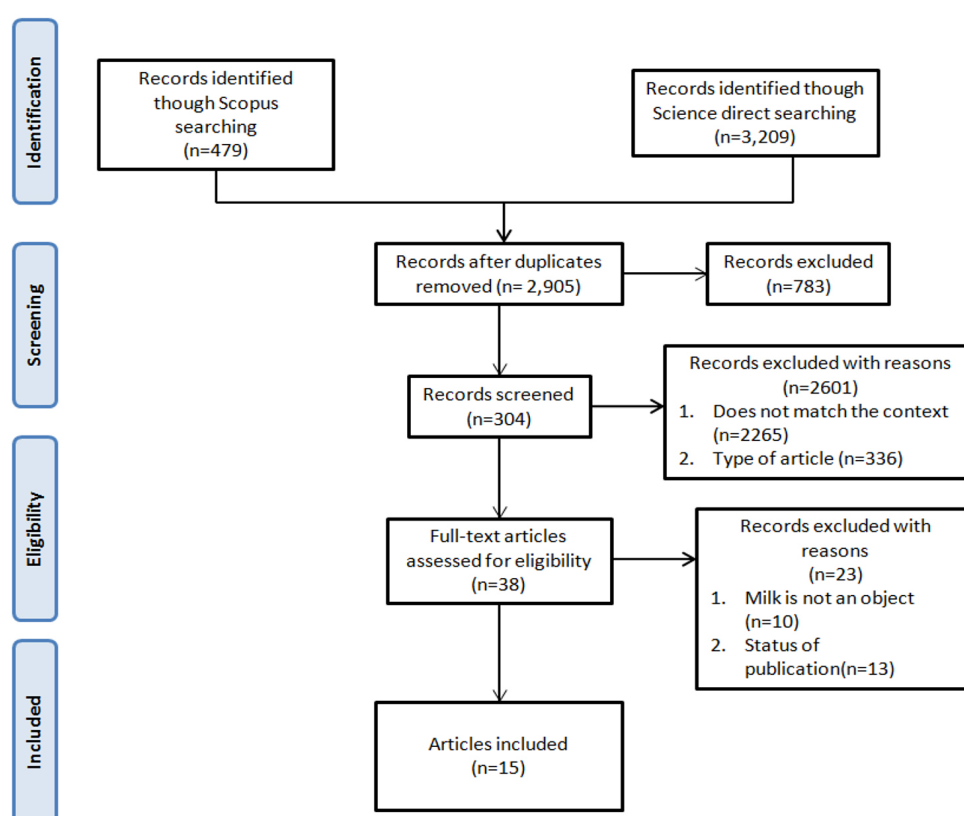
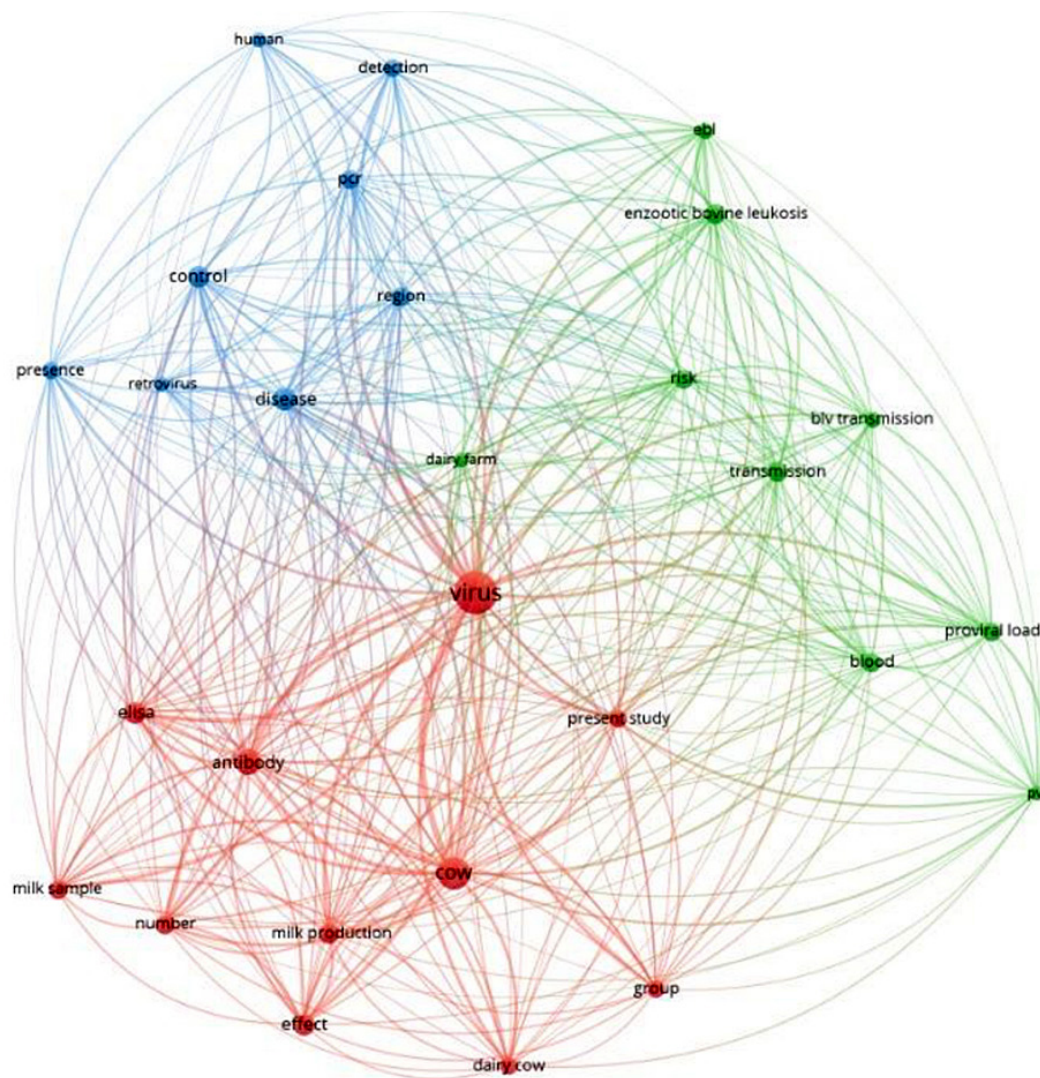


Рисунок 2

Частота встречаемости ключевых слов



Примечание: Размер точки определяется частотой встречаемости (чем больше, тем чаще). Цветом и линиями показаны связи между ключевыми словами в исследованиях.

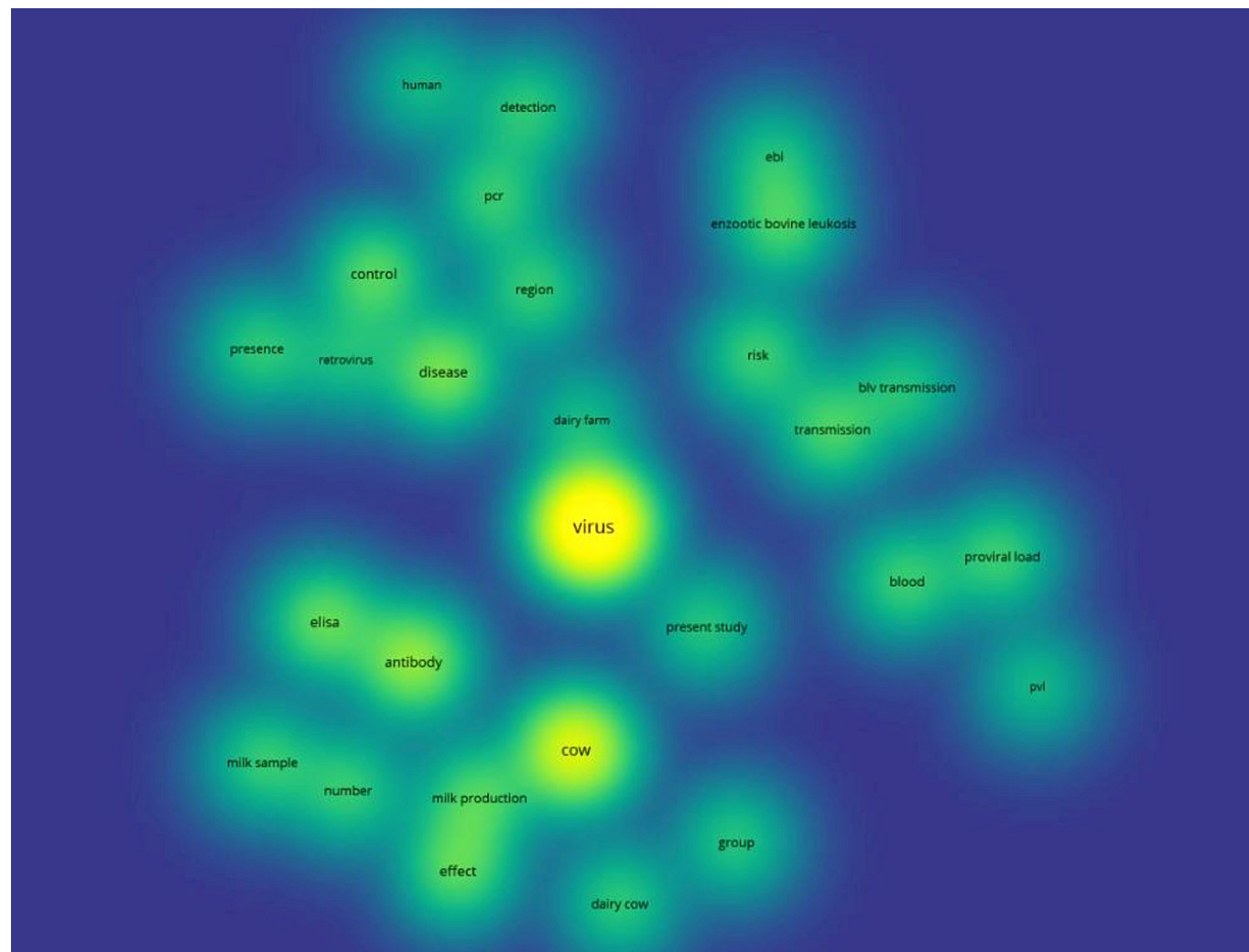
В результате анализа ключевых слов выделены 3 основных направления исследований, описанных в статьях: детекция *BLV* и его провирусной нагрузки у коров для контроля его передачи (отмечено зеленым цветом), контроль заболевания лейкозом, вызванным *BLV* (отмечено синим цветом), контроль *BLV* в образцах молока в животноводческих хозяйствах (отмечено красным цветом).

Полученные с помощью VOSViewer данные демонстрируют, что наиболее часто встречающимися ключевыми словами в отобранных работах являются: «virus» и «cow». При этом остальные ключевые слова равномерно распределены по статьям и не объединяются в категории.

Описание отобранных публикаций

В Таблице 2 дан обзор отобранных источников по основным критериям. Исследования были опубликованы в период с 2001 по 2022 годы, при этом наибольшее количество статей ($n = 5$) опубликовано японскими специалистами в 2002 (Meas et al., 2002), 2013 (Yamada et al., 2013), 2018 (Konishi et al., 2018), 2022 (Hiraoka et al., 2022; Nakanishi et al., 2022) годах. Анализ полнотекстовых источников позволил выделить основные аспекты в методологии проведения исследований, а именно используемые для выявления *BLV* методы анализа, источник биоматериала и размер выборки животных.

Карта встречаемости ключевых слов



Примечание. Встречаемость ключевых слов позиционируется яркостью и размером круга

Методология проведенных исследований включала как молекулярно-генетические методы анализа, так и серологические и гематологические методы (Felmer et al., 2005; Gutiérrez et al., 2001; Hiraoka et al., 2022; Konishi et al., 2018; Kuckleburg et al., 2003; Martin et al., 2001; Meas et al., 2002; Nakanishi et al., 2022; Úsuga-Monroy et al., 2021; Yamada et al., 2013). Количественная и вложенная полимеразные цепные реакции были наиболее используемыми методами исследования (Barzegar et al., 2021; Gutiérrez et al., 2001; Hiraoka et al., 2022; Konishi et al., 2018; Kuckleburg et al., 2003; Nakanishi et al., 2022; Olaya-

Galán et al., 2017; Petersen et al., 2018; Stobnicka-Kupiec et al., 2020; Úsuga-Monroy et al., 2021; Yamada et al., 2013). Некоторые исследования базировались на более простых модификациях метода полимеразной цепной реакции (Bojarojć-Nosowicz & Kaczmarczyk, 2006; Felmer et al., 2005; Martin et al., 2001; Meas et al., 2002). Часть работ сопровождалась дополнительно секвенированием получаемых ПЦР-продуктов и филогенетическим анализом (Barzegar et al., 2021; Felmer et al., 2005; Olaya-Galán et al., 2017). Все перечисленные методы анализа показали свою эффективность, однако они имеют ограничения по применяемым матрицам для выявления *BLV*, рассматриваемым далее.

Таблица 2
Обзор критериев отбора публикаций

№	Автор(ы)	Год издания	Происхождение / страна, в которой было опубликовано или проводилось	Цели / цель исследования	Исследуемая популяция и размер выборки/количество образцов	Методология/методы	Ключевые выводы, относящиеся к исследовательскому вопросу (вопросам)	DOI
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	M. Hiraoka, S. Takashima, Y. Wakihara, Y. O. Kamatari, K. Shimizu, A. Okada, Y. Inoshima	2022	Japan	Исследование как биомаркеров энзоотического лейкоза крупного рогатого скота (EBL) профилей матричной рибонуклеиновой кислоты (мРНК), выделенной из малых внеклеточных везикул из молока 4 здоровых и 4 инфицированных животных. Оценка как кандидатов в биомаркеры мРНК, с использованием малых внеклеточных везикул от 7 неинфицированных и 10 инфицированных голов крупного рогатого скота (КРС).	25 молочных коров голштинской породы	Гематологическое обнаружение сывороточных антител против вируса бычьего лейкоза (BLV); обнаружение провируса BLV с помощью вложенной ПЦР; измерение провирусной нагрузки BLV; измерение общей активности, выделение и характеристика малых внеклеточных везикул молока; экстракция РНК и синтез кДНК; анализ микрочипов; относительная количественная оценка мРНК, выделенной из молочных малых внеклеточных везикул с помощью количественной полимеразной цепной реакции (кПЦР).	8 мРНК были идентифицированы как потенциальные биомаркеры для мониторинга развития EBL, хотя использования одной мРНК недостаточно для биомаркирования. Поскольку в качестве среды для образцов в этих тестах использовалось молоко, их можно проводить проще и чаще, чем анализы крови. Путем комбинированного использования этих биомаркеров-кандидатов мРНК и анализа колебаний их количества можно было идентифицировать КРС, подверженный риску EBL. Это исследование сосредоточено на молочном скоте, а в будущих исследованиях необходима проверка биомаркеров с помощью крови и слюны, чтобы тесты можно было проводить не только на молочном, но и на мясном скоте, и даже в сухостойные периоды.	https://doi.org/10.3390/v14051022
2	R. Nakanishi, S. Takashima, Y. Wakihara, Y. O. Kamatari, Y. Kitamura, K. Shimizu, A. Okada, Y. Inoshima	2022	Japan	Внедрение неинвазивного и рутинного контроля риска передачи BLV с помощью микроРНК у КРС. Сравнение профилей микроРНК у 4 здоровых и 4 зараженных BLV животных с помощью анализа микрочипов. Оценка полезности идентифицированных микроРНК от 5 здоровых коров и 17 зараженных BLV с высокой провирусной нагрузкой с помощью кПЦР.	30 голштинских молочных коров	Гематология; обнаружение антител против BLV в сыворотке крови; обнаружение провируса BLV с помощью вложенной ПЦР; измерение провирусной нагрузки BLV методом кПЦР; статистический анализ	Количество hsa-miR-424-5p в молоке от зараженного BLV КРС с высокой провирусной нагрузкой было выше, чем у неинфицированного КРС. Увеличение содержания в профиле микроРНК hsa-miR-424-5p может быть одним из характерных признаков КРС с высоким риском передачи BLV. Чтобы установить критерии идентификации КРС с высоким риском передачи BLV, исследователи должны изучить комбинированные параметры в дополнение к микроРНК. Результаты исследования могут способствовать дальнейшим работам по изучению биомаркеров для предотвращения распространения BLV в стадах и контролю EBL.	https://doi.org/10.3168/jds.2021-20989

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	H. Barzegar, H. Mirshahabi, N. Motamed, M. Yavarmansh, B. M. Poor, S. R. Moaddab, M. Asgharzadeh	2021	Iran	Изучение распространения вируса BLV с использованием метода вложенной ПЦР в образцах сырого молока на северо-западе страны.	419 образцов сырого молока	Отбор проб и обработка проб; извлечение ДНК; амплификация фрагмента гена gag BLV методом вложенной ПЦР; секвенирование и филогенетический анализ.	В этом исследовании был выявлен относительно высокий уровень заражения BLV иранских молочных коров. Но, учитывая способность вируса передаваться от инфицированного здорового животного, а также человеку через употребление зараженного и непастеризованного молока, молочных и мясных продуктов, должны быть предложены профилактические меры для предотвращения передачи инфекции человеку.	https://doi.org/10.30466/VRF.2019.10.2686.2446
4	N.N. Olaya-Galán, A.P. Corredor-Figueroa, T.C. Guzmán-Garzón, K.S. Ríos-Hernández, S.P. Salas-Cárdenas, M.A. Patarroyo, M.F. Gutierrez	2017	Colombia	Выявление ДНК BLV в сыром мясе и свежем молоке (в т.ч. после доения), предназначенном для употребления, как первый шаг по оценке потенциала пищевых продуктов в передаче BLV человеку.	Суммарно 100 исследованных образцов. 50 образцов говядины весом около 15 г каждый были получены от мясников в Боготе, а 50 образцов молока были получены от ферм, специализирующихся на производстве молочных продуктов, расположенных в разных частях Колумбии.	Отбор проб; пробоподготовка; выделение нуклеиновых кислот; постановка мультиплексной и вложенной ПЦР; секвенирование	Присутствие ДНК BLV в продуктах, полученных от КРС, можно интерпретировать как шаг вперед в выявлении ранее неизвестных болезней пищевого происхождения. BLV можно считать потенциальным зоонозным агентом, даже несмотря на то, что в этом исследовании сообщалось об обнаружении неинфекционных частиц. Доказательства наличия ДНК онкогенного вируса в молочных и мясных продуктах указывают на то, что такие пищевые продукты являются потенциальным источником передачи вируса человеку и могут быть результатом неизвестных в настоящее время заболеваний. Следует изучить альтернативные пути передачи таких вирусов (т.е. передачу от человека к человеку).	https://doi.org/10.1017/S0950268817002229
5	T. Yamada, H. Shigemura, N. Ishiguro, Y. Inoshima	2013	Japan	Исследование экзосом молока от BLV-инфицированного КРС и экзосом из BLV-инфицированных культуральных клеток. Исследование передачи BLV через экзосомы in vitro.	Молоко от здорового и 2 больных животных, отбиралось после дойки и замораживалось при минус 30 °С до анализа.	Подготовка образцов молока и выделение экзосом; культивирование клеток и изоляция экзосом из среды; вестерн-блот-анализ; иммуноматричная сепарация экзосом; инокуляция клеток молоком и устойчиво инфицированными BLV клетками эмбриональной почки ягненок; ПЦР; электронная микроскопия; обратная транскрипционный анализ; статистическая обработка	Был использован эффективный метод выделения морфологически нативных и высокоочищенных экзосом коровьего молока путем ультрацентрифугирования в градиенте плотности сахарозы и иммуно-магнитной сепарации, что привело к небольшому извлечению экзосом. Нельзя полностью игнорировать возможность инфицирования BLV через экзосомы молока, и необходимы дальнейшие детальные исследования инфекции BLV, связанной с экзосомами молока, как in vitro, так и in vivo.	https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077359

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	M.I. Petersen, I. Alvarez K.G. Trono, J.P. Jaworski	2018	Argentina	Проверка недорогой кПЦР для обнаружения провирусной ДНК BLV. В целом, анализ позволил высокочувствительно и специфично обнаруживать провирусную ДНК BLV из очищенных лейкоцитов периферической крови и молочной матрицы. Краситель SYBR Green может связываться с любым продуктом, образуя один участок амплификации, и эти участки амплификации обычно имеют одинаковый внешний вид, независимо от того, состоит ли амплификация из мишени, не мишени или смеси того и другого. Учитывая это, специфичность реакции дополнительно подтверждается анализом кривых диссоциации и электрофорезом в агарозном геле.	Контрольные образцы ДНК вируса лейкоза КРС: 12 серологически положительных и 2 серологически отрицательных животных из 7 стран (Украина, Россия, Молдова, Хорватия, Япония, Аргентина и Польша).	Подготовка эталонных образцов для исследования; анализ затрат на количественную ПЦР в режиме реального времени; кПЦР в реальном времени с использованием красителя SYBR Green; стандартная кривая для количественного определения копий BLV Po; эффективность кПЦР с SYBR Green при использовании молочной матрицы; вложенная ПЦР; ИФА-анализ для выявления антител против BLV.	Анализ позволил высокочувствительно и специфично обнаруживать провирусную ДНК BLV из очищенных лейкоцитов периферической крови и молочной матрицы. Краситель SYBR Green может связываться с любым продуктом, образуя один участок амплификации, и эти участки амплификации обычно имеют одинаковый внешний вид, независимо от того, состоит ли амплификация из мишени, не мишени или смеси того и другого. Учитывая это, специфичность реакции дополнительно подтверждается анализом кривых диссоциации и электрофорезом в агарозном геле.	https://doi.org/10.3168/jds.2017-14253
7	A. Stobnicka-Kupiec, M. Golofit-Szymczak, R. L. Górny, M. Cyprowski	2020	Poland	Оценка распространенности вирусов КРС (BLV и аденовируса КРС-BADV) на рабочих местах традиционных молочных заводов. Оценка потенциальной роли воздушного и поверхностного загрязнения в распространении этих вирусов, полученных из сырого молока.	Общее количество проб – 122, включая 37 проб воздуха (биоаэрозоли), 40 проб поверхности и 45 проб молока, было проверено на наличие геномов BLV и BADV с использованием метода RT-qPCR / qPCR.	Характеристика мест отбора проб; отбор проб воздуха; отбор проб с поверхностей; отбор проб молока; выделение вирусной РНК/ДНК; проведение кПЦР с обратной транскрипцией и кПЦР для выявления вирусных геномов; контроль температуры и относительной влажности воздуха; статистическая обработка данных	Исследование показало, что вирусы присутствовали в 7 пробах воздуха помещений (среди них 71,4% были BLV-положительными и 28,6% были BADV-положительными), 14 проб с поверхностей (из них 85,7% были BLV-положительными и 14,3% были BADV-положительными) и 34 молочных проб (все были только BLV-положительными) образцах. Для снижения вероятности передачи вируса человеку следует внедрить эффективные процедуры очистки поверхностей, разрушающие вирусные частицы, и использовать средства индивидуальной защиты, особенно в производственных помещениях. Поскольку сырое молоко может быть источником вирусов КРС, необходимо срочно разработать стратегии как для контроля, так и для искоренения BLV и BADV среди КРС.	https://doi.org/10.1080/5459624.2020.1742914
8	M. Konishi, H. Ishizaki, K. Kameyama, K. Murakami, T. Yamamoto	2018	Japan	Исследование колебаний в титре антител и провирусной нагрузки в молозиве/молоке и периферической крови инфицированных животных в период лактации для оценки защитных способностей антител молозива.	—	Измерение титра антител; количественная оценка соматических клеток; провирусной нагрузки (ПЦР в режиме реального времени).	Была обнаружена сильная защитная активность антител молозива против инфекции BLV in vitro, обеспеченная антителом против gp51, как это наблюдалось в сыворотке крови.	https://doi.org/10.1186/s12917-018-1724-5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	C. J. Kuckleburg, C. C. Chase, E. A. Nelson, S. A. E. Marras, M. A. Dammen, J. Christopher-Hennings	2003	United States	Разработка методов гнездовой ПЦР (nPCR) и ПЦР в реальном времени для обнаружения BLV в крови и молоке с использованием географически разнообразной популяции естественно инфицированного КРС с известным серологическим статусом. Оценка влияния стадии лактации на обнаружение BLV в молоке	Использовался бессимптомный взрослый голштинский скот (n = 101) из серологически положительных стад BLV. Этот крупный рогатый скот был из Кентукки (n = 8), Миннесоты (n = 8), Южной Дакоты (n = 23), Висконсина (n = 42) и Оклахомы (n = 20).	Клетки осадили центрифугированием, а мононуклеарные клетки периферической крови получили с использованием градиента фиколл-диатриазол; выделяли ДНК коммерческим набором; с помощью nPCR оценивали 3 пары праймеров из 3 разных областей генома (ro1, en1, gaq); праймеры из области ro1 дополнительно оценивали в ПЦР в реальном времени; ПЦР-продукт внешнего ро1 клонировали в систему клонирования pGEMf и использовали в качестве положительного контроля, как и ДНК из клеточной линии эмбриона ягненка, персистентно инфицированного BLV.	Показано, что использование ПЦР с праймерами из полигенного региона дает наибольшую чувствительность и позволяет выявить наибольшее количество BLV-инфицированного КРС из географически различных регионов. Учитывая экономические затраты, связанные с инфекцией BLV, и озабоченность общественного здравоохранения по поводу ретровирусов в животных и фармацевтических продуктах, обнаружение BLV в образцах крови и молока остается серьезной проблемой.	https://doi.org/10.1177/104063870301500117
10	C. Úsuga-Monroy, F. J. Díaz, J. Echeverri-Zuluaga, L. G. González-Herrera, A. López-Herrera	2021	Colombia	Определение присутствия вируса лейкомии КРС в молозиве и его способности заражать новорожденных телат.	Образцы крови, молозива и молока; экстракция сыворотки из образцов молока; выделение ДНК; вложенная ПЦР; иммуноферментный анализ (ELISA); секвенирование ПЦР-продуктов; анализ данных.	Отбор образцов крови, молозива и молока; экстракция сыворотки из образцов молока; выделение ДНК; вложенная ПЦР; иммуноферментный анализ (ELISA); секвенирование ПЦР-продуктов; анализ данных.	Шесть из семи коров дали положительный результат на BLV с помощью ELISA, а пять из семи коров были положительными с помощью ПЦР в день отела. При рождении ни у одного из телат не было антител к BLV; они были получены в результате потребления молозива и присутствовали в течение остальных дней оценки (15, 30, 45). Два из семи телат были положительными при молекулярном обнаружении ДНК провирусного гена env на 15-й день, а один теленок был положительным на 30-й день. Это первое сообщение о присутствии ДНК BLV в образцах молозива у голштинских коров из колумбийских стад. Полученные результаты подтверждают, что молозиво является потенциальным средством вертикальной передачи инфекции BLV.	https://doi.org/10.29393/CHJAA537-19PB5A50019
11	B. Bojarojć-Nosowicz, E. Kaczmarszyk	2006	Poland	Определение взаимосвязи между полиморфизмом лейкоцитарной кислой фосфатазы крови, инфекцией BLV, количеством соматических клеток и составом молока в I триместре лактации.	65 коров черно-пестрой породы в возрасте 3-6 лет из лейкозного стада.	Выделение ДНК и постановка ПЦР; подсчет соматических клеток; определение физико-химических показателей молока и микробиологические тесты; статистический анализ данных.	Полученные результаты свидетельствуют о связи природной BLV-инфекции с нарушением секреции молочной железы у коров, тогда как связь с полиморфизмом кислой фосфатазы не выражена. Полученные результаты побуждают к продолжению изучения роли лейкоцитарной кислой фосфатазы крови в патогенезе мастита.	https://doi.org/10.5194/aab-49-17-2006

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	S. E. Gutiérrez, G. L. Dolcini, G. H. Arroyo, C. R. Dubra, J. F. Ferrer, E. N. Esteban	2001	Argentina	Разработка ИФА для выявления антител к BLV, сопоставимого с анализом радиоиммунопреципитации (RIP), оценка использования этого метода для идентификации стад, инфицированных BLV; разработка ПЦР для прямой диагностики BLV.	КРС голштинской, джерсейской и гернейской пород.	Сбор образцов; серологические тесты; RIP анализ; метод ПЦР	Чувствительность и специфичность ИФА были сопоставимы с чувствительностью и специфичностью анализа RIP. Использование ИФА на объединенных образцах молока позволило идентифицировать стада, в которых распространены инфекции BLV среди лактирующих коров составляла всего 2,5%. Объединенные образцы молока из стад свободных от BLV, не реагировали на ИФА. Весь КРС, у которого были положительные результаты вложенной ПЦР, имел антитела к BLV, но КРС с неизменно низкими титрами антител требовал исследования последовательных образцов ДНК для выявления вирусных последовательностей. Ни у одного из 63 голов КРС с отрицательными антителами не было положительных результатов ПЦР.	https://doi.org/10.2460/ajvr.2001.62.1571
13	D. Martin, A. Arjona I. Soto N. Barquero M. Viana Gómez-Lucía E.	2001	Spain	Сравнение прямых и непрямых методов диагностики BLV-инфицированных животных в двух стадах в Испании с разными значениями распространенности заболевания, для определения преимуществ и применимости диагностических методов. Сравнительная оценка ДНК, выделенной из моноцитов периферической крови или из лейкоцитов молока, в ПЦР-диагностике BLV.	Образцы были взяты на двух фермах в центральной Испании. Стадо с высокой серопозитивностью было обозначено как «А». Стадо с низкой серопозитивностью – «Ап». В стаде «А» была отобрана кровь (с и без антикоагулянта) у 17 животных и молоко у 15 из 17; в стаде «Ап» образцы крови с антикоагулянтом и без него отобрали от 15 животных, без отбора молока.	Отбор образцов сыворотки; выделение лейкоцитов; отбор образцов молока; фенольная экстракция ДНК; ПЦР; серологические тесты (иммуноферментный анализ и иммунодиффузия в агаровом геле (AGID)); статистический анализ	При выборе диагностического теста на BLV необходимо проанализировать преследуемую цель. В стадах с высокой серопревалентностью следует использовать высокоспецифичные тесты, такие как AGID, чтобы гарантировать, что животные, считающиеся положительными, действительно положительные, даже с риском получения ложноотрицательных результатов. Очевидно, что прямые вирусологические методы были бы лучше, но цена и простота выполнения серологических методов делают их более целесообразными при работе с большим количеством образцов. Напротив, в стадах с низкой серопревалентностью рекомендуется выбирать методы с высокой чувствительностью, такие как ПЦР, чтобы гарантировать, что все животные, считающиеся отрицательными, действительно отрицательные, даже с риском получения ложноположительных результатов. Эта рекомендация основана на том факте, что методы ПЦР позволяют выявлять животных, которые могут быть серонегативными, и, таким образом, могут не заметить некоторых инфицированных животных. Таким образом, серологические тесты и вирусологические тесты дополняют друг друга, даже если они представляют собой разные подходы, в которых исследуются два разных последствия вирусной инфекции, и поэтому их трудно сравнивать.	https://doi.org/10.1046/j.1439-0450.2001.00424.x

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	S. Meas, T. Usui, K. Ohashi, C. Sugimoto, M. Onuma	2002	Japan	Изучить возможность передачи вируса BLV и вируса иммунодефицита (BIV) через молоко или молоко.	Образцы молока и молока были взяты у инфицированных матерей одновременно с забором крови у их потомства.	Отбор образцов крови, сыворотки, молока и молока и схема отбора пар мать–теленок; серологические тесты; анализ синцития; полимеразная цепная реакция для определения BV и BLV	BIV может передаваться потомству внутриутробно, а BLV может передаваться через молоко или молоко, если самки инфицированы как BV, так и BLV. Для предотвращения внутриутробной передачи доступен метод переноса эмбрионов, а для предотвращения передачи вирусов с молозивом или молоком их следует пастеризовать перед кормлением (56°C в течение 30 минут). Предоставлены дополнительные доказательства вертикальной передачи BLV и/или BV, но еще предстоит изучить ряд потенциальных факторов инфицирования матери и плода, включая стадию материнской инфекции и вирусную нагрузку матери во время беременности.	https://doi.org/10.1016/S0378-1135(01)00458-8
15	R. Felmer, G. Muñoz, J. Zúñiga, M. Recabal	2005	Chile	Оценка пригодности использования сборных образцов молока для изучения встречаемости различных вариантов BLV-вируса у естественно инфицированного КРС. Эта стратегия была оценена в регионе на юге Чили (IX регион), представляющем собой важный район производства молока в стране.	Отобраны образцы молока, представляющие вклад примерно 50 коров на стадо. Эти стада были хорошо распределены в регионе на юге Чили (IX регион), который представляет собой важную область производства молока в стране. 60 образцов молока были проанализированы с помощью непрямого ИФА-теста (SVANOVIR, Швеция) в соответствии с инструкциями производителя. Из этих образцов 33 сильно серопозитивных и 10 серонегативных образцов молока были использованы для получения ДНК и проведения BLV-специфичной вложенной ПЦР.	Отбор проб и обнаружение антител к BLV; выделение ДНК; амплификация фрагмента env BLV; титрование провируса RFLP; клонирование и секвенирование ДНК; анализ последовательности; филогенетический анализ	Во всех проанализированных серопозитивных массовых образцах молока (43) амплифицировался ожидаемый фрагмент 444 п.н., соответствующий части гена env BLV. Анализ RFLP выявил наличие двух из трех известных подгрупп вариантов провируса BLV в чилийских стадах (австралийская и бельгийская подгруппы).	https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2005.04.005

Источник биоматериала

В проанализированных исследованиях объектом работы в основном была кровь животных. Например, в недавних статьях японских авторов (Hiraoka et al., 2022; Nakanishi et al., 2022) кровь была необходима для проведения гематологических исследований, подкрепляющих основной этап работы, который базируется на профилях разных РНК малых внеклеточных везикул молока. Ранее в исследовании колумбийских авторов (Olaya-Galán et al., 2017) в дополнение к исследованиям на сыром молоке ДНК выделялась из сырой говядины. В некоторых исследованиях акцент был сделан на молозиво, как на объект для измерения провирусной нагрузки (Konishi et al., 2018; Meas et al., 2002; Úsuga-Monroy et al., 2021). Несмотря на разнообразие исследуемых матриц, важным аспектом проведения достоверных исследований по выявлению BLV является выборка животных.

Исследуемые выборки

Выборка животных является очень важным аспектом в проведении исследований, особенно в области научных исследований, связанных с биологическими и медицинскими проблемами. Она может оказать значительное влияние на результаты и выводы, сделанные на основе данных исследования. Наиболее значимые для нас результаты были получены на самых разных выборках изучаемых животных: от 3 (Yamada et al., 2013), 14 (Petersen et al., 2018; Úsuga-Monroy et al., 2021), 15 (Martin et al., 2001), 25 (Hiraoka et al., 2022), 30 (Nakanishi et al., 2022), 45 (Stobnicka-Kupiec et al., 2020), 50 (Olaya-Galán et al., 2017), 63 (Gutiérrez et al., 2001), 65 (Bojarójc-Nosowicz & Kaczmarczyk, 2006), 101 (Kuckleburg et al., 2003), 403 (Barzegar et al., 2021) голов КРС. Так как на производство молоко зачастую поступает в смешанном виде с совершенно разных хозяйств, наиболее важным запросом в молочной промышленности являются исследования, проведенные на сборном молоке (Felmer et al., 2005; Gutiérrez et al., 2001). Результаты и выводы, сделанные на основе данных исследования, могут значительно отличаться в зависимости от того, какая выборка была использована. Поэтому, для достижения достоверных результатов, необходимо тщательно подходить к выбору животных для исследования. В случае с молочной промышленностью, исследования на сборном молоке могут оказаться наиболее релевантными, так как это позволяет учесть влияние разных хозяйств на качество молока.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Цель данного обзора предметного поля — анализ имеющихся подходов к детекции BLV методом ПЦР в молоке коров. Мы проанализировали 3688 документов и отобрали 15 статей, которые содержали качественную и количественную информацию о детекции вируса лейкоза КРС в молочных объектах. Основным тезисом всех отобранных в данном обзоре статей является тот факт, что BLV является серьезной проблемой для животноводства. Бычий лейкоз вызывает раковые опухоли и другие нарушения в организме крупного рогатого скота, что приводит к снижению их продуктивности и увеличению затрат на лечение и уход. Кроме того, не существует ни вакцины против инфекции BLV, ни лечения лейкоза КРС, что может привести к потере животных и значительному экономическому ущербу для фермеров.

Вопреки развитию молочной промышленности, основные способы производства остались неизменными. Несмотря на увеличение численности стад и увеличение количества вакцинаций и гормонального лечения, методы доения по-прежнему остаются исходными: ручное в случае небольших ферм и автоматизированное в случае агропромышленных комплексов. В то же время, развитие технологий привело к изменениям в методах содержания скота. Например, пастеризация молозива перед кормлением телят позволяет инактивировать вирус в нем и предотвратить последующую его передачу. При этом некоторые факторы риска, такие как контакт между животными и использование игл для забора крови, остаются значимыми.

Мы разделяем мнение ряда исследователей (Hiraoka et al., 2022; Nakanishi et al., 2022) о том, что молекулярно-генетические методы анализа, в частности ПЦР могут помочь развить новый уровень диагностики в животноводстве, предложивших как биомаркеры энзоотического лейкоза КРС некоторые матричные (Hiraoka et al., 2022) и микроРНК (Nakanishi et al., 2022). Гипотеза этих авторских коллективов заключалась в том, что поскольку лейкоз КРС фактически является раком крови у животных, то по аналогии с диагностикой рака у человека, РНК малых внеклеточных везикул молока могут отражать биологические реакции хозяина. Hiraoka et al. (2022) подчеркивают, что диагностика BLV, прогрессирования заболевания, обнаружение ДНК BLV, измерение числа копий BLV и тестирование на наличие антител, — все эти операции базируются на анализе крови.

Тогда как сбор крови у КРС является задачей времязатратной (это отдельная рабочая операция) и сложной (требуется специально обученный сотрудник). А сбор молока производится априори, поскольку молоко и высокие надои — конечная цель молочной фермы. Поэтому тестирование животных на *BLV* через экзосомы молока является перспективным, неинвазивным, безболезненным для коровы методом диагностики, который, по мнению Nakanishi et al. (2022), представляется возможным адаптировать и под мясной скот, и под коров в сухостойный период.

Единственным очевидным минусом данного метода является потребность в полноценно оснащенных исследовательских центрах, куда фермеры могли бы рутинно сдавать накопленные образцы молока от своего поголовья. Однако, на наш взгляд, им можно пренебречь, учитывая, что следующим этапом после разработки диагностических методов обычно идет их модернизация, в том числе с целью удешевления и упрощения. Так аргентинскими учеными была предложена схема недорогой количественной полимеразной цепной реакции, позволяющей высокочувствительно и специфично обнаруживать провирусную ДНК *BLV* в очищенных лейкоцитах периферической крови и в молочной матрице (Petersen et al., 2018).

Сугубо важным после аспектов правильной детекции вируса является понимание путей его распространения. Распространение вируса бычьего лейкоза происходит через горизонтальные и вертикальные пути передачи, бессимптомно. К горизонтальным путям переноса инфекции относятся, например, плохая санитария производства, прямой контакт больных и здоровых животных, ветеринарные мероприятия, проведенные с нарушением тех же санитарных правил. Мы находим, что теоретически их можно нивелировать повышением культуры производства и усилением контроля. Необходимость этого подчеркивается в работе Stobnicka-Kurpiec et al. (2020) по оценке потенциальной роли воздушного и поверхностного загрязнения в распространении вируса бычьего лейкоза и аденовируса.

Вертикальные пути переноса вируса, по нашему мнению, требуют большего внимания, а именно изучение перинатальной передачи вируса через кровь, трансплацентарное проникновение и постнатальный путь заражения через молозиво и молоко. В работе Konishi et al. (2018) исследование колебаний антител и провирусной нагрузки в молоке и молозиве, а также перифе-

рической крови инфицированных животных в период лактации для оценки защитных способностей антител молозива показал сильную защитную активность антител молозива против инфекции, обеспеченную антителом против gp51. Однако в другом исследовании (Úsuga-Monroy et al., 2021) была показана возможность передачи инфекции через молозиво новорожденным телятам, у которых не было антител к *BLV* в день отела. Анализируя и одни, и другие результаты, а также рекомендации по пастеризации молозива и молока при 65°C в течение 30 минут перед кормлением телят (Meas et al., 2002), нам кажется рациональным внедрение всех возможных мер предосторожности при работе с молодым поголовьем, от которого зависит благополучие всего производственного комплекса.

С развитием молекулярно-генетических методов исследования начал активно обсуждаться вопрос безопасности молока как источника инфицирования человека вирусом бычьего лейкоза. Внимание к данной теме было и остается связано с публикациями, анализирующими взаимосвязь рака молочной железы с присутствием *BLV* в женском организме (G. Buehring et al., 2001; G. C. Buehring et al., 2003). Опубликованные по настоящее время данные по вопросу инфицирования рассматриваемым вирусом человека являются противоречивыми. Часть ученых склоняется к тому, что вирус бычьего лейкоза может быть передан человеку различными путями (Buehring et al., 2014), другие это оспаривают (Zhang et al., 2016). Некоторые обоснованно замечают, что пищевые продукты могут быть источниками возбудителей пока не изученных заболеваний человека (Olaya-Galán et al., 2017).

В рамках данного обзора мы не смогли обнаружить публикации по исследованию молока и молочных продуктов, прошедших термическую обработку. Предположительно, данный факт связан с запретом реализации молока от лейкозных коров и исследованиями, которые показывают безопасность пастеризованного молока из-за инактивации вируса. Мы бы хотели отметить тот факт, что эффективность пастеризации зависит от таких переменных, как температура, время выдержки и состав исследуемого продукта, так как, не смотря на инактивацию, денатурация ДНК провируса *BLV* может не произойти (Sandoval-Monzón et al., 2021). Таким образом, наше исследование подтверждает необходимость дальнейшей проработки элементов контроля продуктов молочной промышленности для обеспечения насе-

ления гарантированно безопасными продуктами питания. Мы считаем, что ранее широкое распространение исследований по молекулярно-генетической детекции BLV в молоке и молочных продуктах было ограничено рядом технических условий. Например, не было методов, адаптированных под молочные системы, прошедшие технологическую обработку.

Важно отметить тот факт, что в ранее описанных работах по выявлению следов вируса бычьего лейкоза у человека не были детализированы рационы питания исследованных пациентов. Не смотря на положительные или отрицательные результаты проведенных исследований, трудно их интерпретировать с точки зрения безопасности употребляемых продуктов животного происхождения. Вопрос корреляции BLV и рака молочной железы изучается в странах, где в основном рационе человека присутствуют продукты животного происхождения, а именно получаемые от КРС. Преобладающее количество исследований проведены в США (12), далее идут такие страны, как Австралия (3), Австралия (3), Бразилия (3) и Колумбия (3). Следовательно, данная зависимость подтверждает актуальность проведения мониторинга продуктов животноводства для оценки наличия и провирусной нагрузки BLV.

ВЫВОДЫ

В рамках обзора предметного поля была проанализирована литература по диагностике вируса бычьего лейкоза у КРС в молоке с применением молекулярно-генетических методов анализа. Проверив 3688 публикаций, мы сделали вывод, что данная тема редко изучается с точки зрения безопасности молока и молочных продуктов. При этом был выявлен ряд направлений, обусловленных стремлением нивелировать распространение BLV среди мясного и молочного скота. Хотя все

представленные эмпирические статьи содержат хорошее теоретическое обоснование проведения исследований, наша работа впервые сосредоточена на молоке, как на объекте серологических и молекулярно-генетических методов детекции BLV, из-за чего мы обнаружили ряд важных пробелов. Чтобы полностью понять воздействие BLV на молочную промышленность и ее потребителей, необходимы более всесторонние исследования. Мы считаем, что результаты исследований молока на наличие BLV покажут эффективность существующих технологических этапов обработки молока для обеспечения его безопасности. Несмотря на это, полученные результаты указывают на необходимость улучшения научной базы и ужесточения контроля за распространением экономически вредного заболевания инфекционной природы, потенциально прямо или опосредованно опасного для человека. Данная статья может послужить толчком к пересмотру критериев безопасности молока и молочных продуктов. Применение метода ПЦР позволит оперативно провести оценку молока и продуктов его переработки. Для расширения критериев безопасности и разработки единой методологии оценки молока и молочных продуктов необходимо провести дополнительные исследования для определения ограничений, при которых продукт можно считать безопасным.

ВКЛАД АВТОРОВ:

Екатерина Лазарева: концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, визуализация, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Олег Фоменко: курирование данных, написание — подготовка черновика рукописи, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

REFERENCE

- Ahmed, M., Sami, E., Elhasen Abdalla, M., Israa, M., Hussein, E. A., Isam, M., & Khalid, A. (2019). Molecular detection of Bovine Leukemia Virus (BLV) in patients with breast cancer in Khartoum state, Sudan. *SAJ Cancer Science*, 6(1), Article 105.
- Al-Saffar, A. M. (2022). Validating the preeminence of biochemical properties of camel over cow and goat milk during the Covid-19. *Food Science and Nutrition*, 10(8), 2786–2793. <https://doi.org/10.1002/FSN3.2881>
- Alabbbody, H. H. K. (2018). Bovine leukosis and the possibility to cause cancer in humans: A scientific review. *The Iraqi Journal of Veterinary Medicine*, 42(1), 52-60. <https://doi.org/10.30539/iraqijvm.v42i1.31>
- Barzegar, H., Mirshahabi, H., Motamed, N., Yavarmanesh, M., Poor, B. M., Moaddab, S. R., & Asgharzadeh, M. (2021). Identification of bovine leukemia virus in raw milk samples

- in north-west of Iran. *Veterinary Research Forum*, 12(2), 223-227. <https://doi.org/10.30466/vrf.2019.102686.2446>
- Bojarojć-Nosowicz, B., & Kaczmarczyk, E. (2006). Somatic cell count and chemical composition of milk in naturally BLV-infected cows with different phenotypes of blood leukocyte acid phosphatase. *Archives Animal Breeding*, 49(1), 17–28. <https://doi.org/10.5194/aab-49-17-2006>
- Buehring, G. C. (2017). Response to “Lack of association between bovine leukemia virus and breast cancer in Chinese patients.” *Breast Cancer Research*, 19(1), Article 24. <https://doi.org/10.1186/s13058-017-0808-7>
- Buehring, G. C., Philpott, S. M., & Choi, K. Y. (2003). Humans have antibodies reactive with Bovine Leukemia Virus. *AIDS Research and Human Retroviruses*, 19(12), 1105-1113. <https://doi.org/10.1089/088922203771881202>
- Buehring, G. C., Shen, H. M., Jensen, H. M., Jin, D. L., Hudes, M., & Block, G. (2015). Exposure to bovine leukemia virus is associated with breast cancer: A case-control study. *PLoS One*, 10(9), e0134304. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0134304>
- Buehring, G. C., Shen, H. M., Jensen, H. M., Yeon Choi, K., Sun, D., & Nuovo, G. (2014). Bovine leukemia virus DNA in human breast tissue. *Emerging Infectious Diseases*, 20(5), 772-782. <https://doi.org/10.3201/eid2005.131298>
- Buehring, G., Choi, K., & Jensen, H. (2001). Bovine leukemia virus in human breast tissues. *Breast Cancer Research*, 3(51), Article A14. <https://doi.org/10.1186/bcr338>
- Donnik, I. M., Gulyukin, M. I., Busol, V. A., Kovalenko, L. V., & Kovalenko, A. M. (2021). Bovine leukemia virus infection — Diagnostics, eradication, and anthroponozoonotic potential (background). *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya*, 56(2), 230-244. <https://doi.org/10.15389/AGROBIOLOGY.2021.2.230RUS>
- Donskaya, G. A., Krekker, L. G., Drozhzhin, V. M., & Kolosova, E. V. (2022). Lipid peroxidation and milk heat treatment to prepare fermented milk product of mixed fermentation. *Bulletin of KSAU*, 5, 226–233. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-5-226-233>
- Felmer, R., Muñoz, G., Zúñiga, J., & Recabal, M. (2005). Molecular analysis of a 444 bp fragment of the bovine leukaemia virus gp51 env gene reveals a high frequency of non-silent point mutations and suggests the presence of two subgroups of BLV in Chile. *Veterinary Microbiology*, 108(1–2), 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2005.04.005>
- Galstyan, A. G., Radaeva, I. A., Chervetsov, V. V., Turovskaya, S. N., Illarionova, E. E., & Petrov, A. N. (2015). Improvement of the canned milk products quality to the application of the pasteurized raw milk. *Dairy Industry*, 5, 42–44.
- Gutiérrez, S. E., Dolcini, G. L., Arroyo, G. H., Dubra, C. R., Ferrer, J. F., & Esteban, E. N. (2001). Development and evaluation of a highly sensitive and specific blocking enzyme-linked immunosorbent assay and polymerase chain reaction assay for diagnosis of bovine leukemia virus infection in cattle. *American Journal of Veterinary Research*, 62(10), 1571-1577. <https://doi.org/10.2460/ajvr.2001.62.1571>
- Hiraoka, M., Takashima, S., Wakihara, Y., Kamatari, Y. O., Shimizu, K., Okada, A., & Inoshima, Y. (2022). Identification of potential mRNA biomarkers in Milk Small Extracellular Vesicles of Enzootic Bovine Leukosis Cattle. *Viruses*, 14(5), 1022. <https://doi.org/10.3390/v14051022>
- Konishi, M., Ishizaki, H., Kameyama, K. I., Murakami, K., & Yamamoto, T. (2018). The effectiveness of colostral antibodies for preventing bovine leukemia virus (BLV) infection in vitro. *BMC Veterinary Research*, 14(1), Article 419. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1724-5>
- Kuckleburg, C. J., Chase, C. C., Nelson, E. A., Marras, S. A. E., Dammen, M. A., & Christopher-Hennings, J. (2003). Detection of bovine leukemia virus in blood and milk by nested and real-time polymerase chain reactions. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 15(1), 72-76. <https://doi.org/10.1177/104063870301500117>
- Mack, C. (2012). How to write a good scientific paper: title, abstract, and keywords. *Journal of Micro/Nanolithography, MEMS, and MOEMS*, 11(2), 020101. <https://doi.org/10.1117/1.jmm.11.2.020101>
- Martin, D., Arjona, A., Soto, I., Barquero, N., Viana, M., & Gómez-Lucía, E. (2001). Comparative study of PCR as a direct assay and ELISA and AGID as indirect assays for the detection of bovine leukaemia virus. *Journal of Veterinary Medicine, Series B*, 48(2), 97-106. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0450.2001.00424.x>
- Meas, S., Usui, T., Ohashi, K., Sugimoto, C., & Onuma, M. (2002). Vertical transmission of bovine leukemia virus and bovine immunodeficiency virus in dairy cattle herds. *Veterinary Microbiology*, 84(3), 275-282. [https://doi.org/10.1016/S0378-1135\(01\)00458-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1135(01)00458-8)
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., ... Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264-269. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>
- Nakanishi, R., Takashima, S., Wakihara, Y., Kamatari, Y. O., Kitamura, Y., Shimizu, K., Okada, A., & Inoshima, Y. (2022). Comparing microRNA in milk small extracellular vesicles

- among healthy cattle and cattle at high risk for bovine leukemia virus transmission. *Journal of Dairy Science*, 105(6), 5370–5380. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20989>
- Nandi, J. S., Rathore, S. S., & Mathur, B. R. (2021). Transmission of infectious viruses in the natural setting at human-animal interface. *Current Research in Virological Science*, 2, 100008. <https://doi.org/10.1016/j.crviro.2021.100008>
- Nikbakht, G., Rabbani, M., Emam, M., & Rezatogfighi, E. (2010). Serological and genomic detection of bovine leukemia virus in human and cattle samples. *International Journal of Veterinary Research*, 4(4), 253–258.
- Olaya-Galán, N. N., Corredor-Figueroa, A. P., Guzmán-Garzón, T. C., Ríos-Hernandez, K. S., Salas-Cárdenas, S. P., Patarroyo, M. A., & Gutierrez, M. F. (2017). Bovine leukaemia virus DNA in fresh milk and raw beef for human consumption. *Epidemiology and Infection*, 145(15), 3125–3130. <https://doi.org/10.1017/S0950268817002229>
- Petersen, M. I., Alvarez, I., Trono, K. G., & Jaworski, J. P. (2018). Quantification of bovine leukemia virus proviral DNA using a low-cost real-time polymerase chain reaction. *Journal of Dairy Science*, 101(7), 6366–6374. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14253>
- Ruiz, V., Porta, N. G., Lomónaco, M., Trono, K., & Alvarez, I. (2018). Bovine Leukemia virus infection in neonatal calves. risk factors and control measures. *Frontiers in Veterinary Science*, 5, Article 267. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00267>
- Sandoval-Monzón, R. S., Arévalo-Rodríguez, I. C. K., Carrillo-Torres, A. A., & Ruiz-García, L. F. (2021). Efficacy of physical and chemical treatments on the inactivation of bovine leukosis virus present in milk. *Clinical and Experimental Vaccine Research*, 10(1), 52–58. <https://doi.org/10.7774/cevr.2021.10.1.52>
- Schwingel, D., Andreolla, A. P., Erpen, L. M. S., Frandoloso, R., & Kreutz, L. C. (2019). Bovine leukemia virus DNA associated with breast cancer in women from South Brazil. *Scientific Reports*, 9(1), 2949. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39834-7>
- Stobnicka-Kupiec, A., Gołofit-Szymczak, M., Górny, R. L., & Cyprowski, M. (2020). Prevalence of Bovine Leukemia Virus (BLV) and Bovine Adenovirus (BAdV) genomes among air and surface samples in dairy production. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 17(6), 312–323. <https://doi.org/10.1080/15459624.2020.1742914>
- Turovskaya, S. N., Galstyan, A. G., Petrov, A. N., Radaeva, I. A., Illarionova, E. E., Semipyatniy, V. K., & Khurshudyan, S. A. (2018). Safety of canned milk as an integrated criterion of their technology effectiveness russian experience. *Food Systems*, 1(2), 29–54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54>
- Úsuga-Monroy, C., Díaz, F. J., Echeverri-Zuluaga, J., González-Herrera, L. G., & López-Herrera, A. (2021). Presence of bovine leukemia virus in colostrum samples and its potential to infect newborn calves. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 37(2), 167–176. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS37-19PBCA50019>
- Vafin, R. R., Gilmanov, K. K., Galstyan, A. G., Pryanichnikova, N. S., Bigaeva, A. V., Lazareva, E. G., & Kazakova, V. S. (2021). Technology of bovine leukemia virus genodiagnostics in cattle, in produced raw materials and products. *Series Chemistry and Technology*, 1, 119–125. <https://doi.org/10.32014/2021.2518-1491.15>
- Veziryan, V. A., Evdokimov, I. A., Veziryan, A. A., & Anisimov, S. V. (2015). Production of cheese according to the technology of separate pasteurization of milk mixture. *Cheesemaking and Buttermaking*, 1, 34–36.
- Yamada, T., Shigemura, H., Ishiguro, N., & Inoshima, Y. (2013). Cell Infectivity in Relation to Bovine Leukemia Virus gp51 and p24 in Bovine Milk Exosomes. *PLoS ONE*, 8(10), e77359. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077359>
- Yang, Y., Fan, W., Mao, Y., Yang, Z., Lu, G., Zhang, R., Zhang, H., Szeto, C., & Wang, C. (2016). Bovine leukemia virus infection in cattle of China: Association with reduced milk production and increased somatic cell score. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3688–3697. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10580>
- Zhang, R., Jiang, J., Sun, W., Zhang, J., Huang, K., Gu, X., Yang, Y., Xu, X., Shi, Y., & Wang, C. (2016). Lack of association between bovine leukemia virus and breast cancer in Chinese patients. *Breast Cancer Research*, 18(1), Article 101. <https://doi.org/10.1186/s13058-016-0763-8>