

Том 55, № 2, 2025
Vol. 55, № 2, 2025

ISSN 2074-9414
ISSN 2313-1748

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Food Processing:
Techniques and Technology



1} Кемеровский
государственный
университет
Объединяем
знания и людей

Национальный, рецензируемый научный журнал, посвященный вопросам пищевой промышленности и смежных отраслей. Журнал включен в SCOPUS, RSCI, Белый список, Перечень ВАК (категория К1).

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

интеллектуальной, преодоление разрыва между изданиями регионального, национального и федерального уровней. Журнал призван освещать актуальные проблемы в пищевой и смежных отраслях, продвигать новые перспективные технологии в широкую аудиторию научных и практических работников, преподавателей, аспирантов, студентов, предпринимателей, а также оказывать содействие в подготовке высококвалифицированных специалистов.

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

Главный редактор:

А.Ю. Просеков, академик РАН, д-р техн. наук, д-р биол. наук, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия.

Зам. главного редактора:

А.Н. Петров, академик РАН, д-р техн. наук, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия;

О.О. Бабич, д-р техн. наук, Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия.

Редакционная коллегия:

Е.В. Абакумов, профессор РАН, д-р биол. наук, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия;

И.В. Алтухов, д-р техн. наук, ООО «Промышленные технологические инновации», Иркутск, Россия;

В.В. Бахарев, д-р хим. наук, Самарский государственный технический университет, Самара, Россия;

С.М. Бычкова, д-р экон. наук, Гатчинский государственный университет, Гатчина, Россия;

А.Г. Галстян, академик РАН, д-р техн. наук, Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, Москва, Россия;

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

И.Ф. Горлов, академик РАН, д-р с.-х. наук, Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции, Волгоград, Россия;

Г.М. Гриценко, д-р экон. наук, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Россия;

Н.И. Дунченко, д-р техн. наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

И.А. Евдокимов, член-корр. РАН, д-р техн. наук, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия;

А.В. Заушницина, д-р биол. наук, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;

Ю. Йианг, Ph. D., Колледж пищевых наук Северо-Восточного сельскохозяйственного университета, Харбин, Китай;

А.П. Каледин, д-р биол. наук, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия;

А.Б. Капранова, д-р физ.-мат. наук, Ярославский государственный технический университет, Ярославль, Россия;

Н.И. Кашеваров, академик РАН, д-р с.-х. наук, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Россия;

В.Г. Лобанов, д-р техн. наук, Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия;

Г.О. Магомедов, д-р техн. наук, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;

О.А. Неверова, д-р биол. наук, Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия;

С.Л. Тихонов, д-р техн. наук, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия;

О.А. Фролова, д-р экон. наук, Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия;

Г.Ш. Хайдаров, канд. техн. наук, Узбекско-Финский педагогический институт, Самарканд, Узбекистан;

В.Н. Хмелев, д-р техн. наук, Бийский технологический институт Алтайского государственного технического университета, Бийск, Россия;

Ю.С. Хотимченко, д-р биол. наук, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия;

С.В. Шахов, д-р техн. наук, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия;

И.В. Юдаев, д-р техн. наук, Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия.

Материалы публикуются на условиях лицензии CC BY 4.0.

Выпускающий редактор: А.И. Лосева

Ответственный за выпуск: Е.В. Дмитриева

Литературные редакторы: Е.А. Кривошеева, К.А. Николаева

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

Дизайн и компьютерная верстка: Е.В. Волкова

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

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

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

Дата выхода в свет 23.06.25

Усл. п. л. 26,74. Тираж 500 экз.

Цена свободная. Выходит 4 раза в год

Подписной индекс по интернет-каталогу агентства «Урал-Пресс» – 41672

Регистрационный номер СМИ серия ПИ № ФС77-72313 выдан Роскомнадзор

© Составление, сопроводительный текст, редакционно-издательское оформление, Кемеровский государственный университет, 2025

Колонка главного редактора
<https://fptt.ru>

В последние годы российский АПК демонстрирует стабильный рост производства, обеспечивая население страны широким ассортиментом основных продуктов питания. По данным Минсельхоза России, в 2024 г. были полностью достигнуты пороговые значения продовольственной безопасности по производству основных видов продукции, а показатели самообеспеченности по отдельным видам продукции выросли. По многим ключевым направлениям АПК России занимает лидерские позиции на мировом рынке и укрепляет свою роль в обеспечении глобальной продовольственной безопасности.

На фоне роста российского сельского хозяйства особое место занимает животноводство, оставаясь одной из базовых и перспективных отраслей. Оно дает порядка 45 % от всей валовой продукции, собирает около 75 % основных производственных фондов и 70 % трудовых ресурсов в сельском хозяйстве.

По данным Росстата, в январе 2025 г. объем сельскохозяйственного производства увеличился на 2,1 % по сравнению с аналогичным периодом 2024 г. Производство скота и птицы в живом весе выросло на 3 %. Однако, несмотря на общий рост показателей, наблюдается сокращение численности крупного рогатого скота. К концу января 2025 г. поголовье КРС составило 16,3 млн голов – это на 4 % меньше, чем в январе 2024 г. Численность коров также снизилась до 7,2 млн голов. Аналогичная тенденция затронула и другие виды животных – овец, коз, свиней.

Условиями стабильного экономического развития АПК, и особенно животноводства, являются благоприятная эпизоотическая ситуация, снижение уровня загрязнения окружающей среды биологическими отходами, повышение качества и экологической безопасности сырья и продукции животного происхождения. Определяющее значение имеет развитие ветеринарии, создание новых методов лечения и профилактики заболеваний у животных. Это способствует улучшению здоровья животных и повышению качества продукции животноводства, а также стимулирует профессиональный рост ветеринаров.

Ветеринарная экология и лейкозология – важные области ветеринарной науки, направленные на сохранение здоровья животных и обеспечение производства безопасной продукции животноводства. Ветеринарная экология рассматривает влияние различных факторов окружающей среды на здоровье и благополучие животных, в то время как лейкозология занимается изучением лейкозов – группы заболеваний, характеризующихся злокачественным размножением клеток крови. Эти области тесно взаимосвязаны, поскольку многие факторы окружающей среды могут влиять на восприимчивость животных к вирусным заболеваниям, в том числе и к лейкозам.

Значительный вклад в решение вопросов профилактики и лечения болезней животных в экологически неблагополучных территориях, подверженных воздействию выбросов промышленных предприятий, внесла Донник Ирина Михайловна – академик РАН, доктор биологических наук, профессор, лауреат государственной премии Правительства РФ в области науки и техники.

Академик И. М. Донник – ведущий ученый в области сельского хозяйства, инфекционных болезней животных, экологии и биотехнологии. Ее достижения и разработки в области клинической иммунологии и онкологии животных, радиологии и экологического мониторинга агропромышленного производства широко известны как в России, так и за рубежом. Она является академиком Национальной академии наук Беларуси, академиком Монгольской академии наук, почетным профессором университетов Венгрии, Польши, Киргизии и Казахстана.

Ирина Михайловна Донник разработала и научно обосновала систему оздоровления сельскохозяйственных животных от инфекционных заболеваний, в том числе от лейкоза крупного рогатого скота и туберкулеза, с учетом региональных особенностей. Внедрение методов диагностики болезней у крупного рогатого скота позволило устранить инфекционные заболевания у этих сельскохозяйственных животных в Уральском регионе и снизить заболеваемость в других регионах. Ликвидация лейкоза коров на Среднем Урале позволила предотвратить экономической ущерб в 2,5 млрд рублей.

Результаты научной и профессиональной деятельности академика И. М. Донник внесли неоценимый вклад в развитие ветеринарной экологии и лейкозологии, ветеринарной иммунологии, инфекционной патологии сельскохозяйственных животных в экологически неблагополучных территориях, признаны научным сообществом и широко внедряются в практику, в том числе разработаны и применяются новые Правила по борьбе с лейкозом крупного рогатого скота в РФ (утверждены Минсельхозом России в 2021 г.).

Ирина Михайловна принимает участие в подготовке молодых научных кадров и ведет активную общественную работу. Также руководит двумя научными школами: биоресурсы, мобилизация, сохранение и использование генофонда растений, животных и микроорганизмов; система экологического мониторинга и санитарного прогнозирования. Под ее научным руководством защищены более 30 кандидатских и докторских диссертаций.

Редакция журнала сердечно поздравляет академика РАН, доктора биологических наук, профессора Ирину Михайловну Донник с юбилеем, который она отметила 2 июня. Искренне желаем крепкого здоровья и благополучия, неиссякаемой энергии и вдохновения для новых идей и научных достижений, а также счастья и спокойствия в окружении близких, коллег и учеников!

Ректор, главный редактор,
академик РАН, профессор,
Заслуженный работник высшей школы РФ,
лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники

А. Ю. Просеков 

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2568>
<https://elibrary.ru/RKMUFG>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

«Сырная проблема»: попытка объективного количественного анализа в региональном аспекте



Н. М. Сурай^{1,*}, А. И. Черкасский², А. Л. Таточенко³,
Н. А. Теплая⁴, Г. В. Корнева⁴, А. А. Терехова⁴

¹ Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова^{ROR}, Москва, Россия

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»^{ROR}, Москва, Россия

³ Институт государственного администрирования^{ROR}, Москва, Россия

⁴ Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)^{ROR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 15.04.2024

Принята после рецензирования: 24.05.2024

Принята к публикации: 01.04.2025

*Н. М. Сурай: natalya.mixajlova.1979@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6219-4363>

А. Л. Таточенко: <https://orcid.org/0000-0001-8745-3181>

Н. А. Теплая: <https://orcid.org/0000-0002-4090-7577>

Г. В. Корнева: <https://orcid.org/0000-0002-1096-1812>

А. А. Терехова: <https://orcid.org/0000-0003-0663-9262>

© Н. М. Сурай, А. И. Черкасский, А. Л. Таточенко, Н. А. Теплая,
Г. В. Корнева, А. А. Терехова, 2025



Аннотация.

Молоко и молокопродукты – незаменимые компоненты ежедневного рациона россиян. В непростых экономических условиях наблюдается тенденция снижения и объема импортной продукции, в том числе молочной, и наращивания производства внутри страны. Потребление сыра населением Российской Федерации ниже рациональной нормы. Таким образом, вопрос потенциала повышения выпуска сыра российскими производителями является крайне актуальным. Цель исследования – проанализировать возможности увеличения выпуска сыра российскими производителями.

Объектом исследования послужил сегмент сыроделия молочной отрасли. Предметы – основные показатели работы отрасли в субъектах РФ, критерии лидерства субъектов федерации в сыроделии, показатели обеспеченности субъектов-лидеров сырьем и производственной инфраструктурой. При выполнении исследования использовались методы статистики и математического анализа. Данные о деятельности сегмента сыроделия в субъектах РФ систематизировались по комплексу показателей, для которых рассчитывались основные статистические характеристики. Субъекты-лидеры в производстве сыра определялись на основе метода ранжирования. Оценка натуральности сырной продукции выполнялась на основании предложенной авторами расчетной процедуры. Методы корреляционного анализа применялись при проверке связей между валовым производством сыра в субъектах федерации и их сырьевой обеспеченностью.

В РФ производится более 900 тыс. т сыра и сырных продуктов, 300 тыс. т импортируется. Душевое потребление сыра составляет 6,5 кг в год, но собственным производством обеспечивается лишь 4,2 кг, или 60 % от рациональной нормы потребления. В значительных объемах сыр производится в 38 субъектах федерации, 20 из них обеспечивают более 78 % общего производства по РФ, первенство принадлежит Алтайскому краю. Ряд субъектов-лидеров сыроделия испытывают острый дефицит молочного сырья, в то же время в ряде субъектов, успешно производящих молоко, инфраструктура переработки развита недостаточно, вследствие чего объемы производства сыра в них малы. Молочная отрасль РФ испытывает недостаток сырья из-за постоянного уменьшения поголовья коров в последние два десятилетия. Для обеспечения устойчивой сырьевой базы сыроделия поголовье молочного стада необходимо увеличить минимум на 1,2 млн голов, что обеспечит рост валового производства молока на 9,8 млн т (29,6 % к показателю 2022 г.).

Важнейшими компонентами решения проблемы повышения производства сыра являются увеличение поголовья дойных коров, предпочтительно племенных, в сельскохозяйственных организациях, а также стимулирование процессов открытия сыроварен в фермерских хозяйствах. Реализация обоих мероприятий требует эффективных мер поддержки на федеральном и региональном уровнях.

Ключевые слова. Сыроделие, лидерство, регионы, ранжирование, потребление, рациональные нормы, продовольственная безопасность, сырьевая база

Для цитирования: Сурай Н. М., Черкасский А. И., Таточенко А. Л., Теплая Н. А., Корнева Г. В. и др. «Сырная проблема»: попытка объективного количественного анализа в региональном аспекте. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 226–243. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2568>

“The Cheese Issue”: An Attempt at an Objective Quantitative Analysis in the Regional Perspective

Natalya M. Suray^{1,*}, Andrey I. Cherkassky²,
Alexander L. Tatochenko³, Naila A. Teplaya⁴,
Galina V. Korneva⁴, Anna A. Terekhova⁴

¹ Plekhanov Russian University of Economics^{ROR}, Moscow, Russia

² National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute)^{ROR}, Moscow, Russia

³ Institute of State Administration^{ROR}, Moscow, Russia

⁴ Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University)^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 15.04.2024
Revised: 24.05.2024
Accepted: 01.04.2025

*Natalya M. Suray: natalya.mixajlovna.1979@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6219-4363>
Alexander L. Tatochenko: <https://orcid.org/0000-0001-8745-3181>
Naila A. Teplaya: <https://orcid.org/0000-0002-4090-7577>
Galina V. Korneva: <https://orcid.org/0000-0002-1096-1812>
Anna A. Terekhova: <https://orcid.org/0000-0003-0663-9262>

© N.M. Suray, A.I. Cherkassky, A.L. Tatochenko, N.A. Teplaya,
G.V. Korneva, A.A. Terekhova, 2025



Abstract.

Milk and dairy products are traditional components of Russian diet. In difficult economic conditions, dairy import tends to decrease, and the national dairy industry tries to compensate for it. Today, the cheese consumption in Russia is below the rational standard, which makes it necessary to boost the domestic cheese production. The authors studied the cheese segment of the domestic dairy industry to analyze the possibilities of increasing cheese production. The research relied on the leadership criteria and the main industrial indicators in the regions, e.g., raw materials and production infrastructure, which were subjected to statistical and mathematical processing. The data were systematized by a set of indicators with precalculated statistical characteristics, which made it possible to rank the national cheese leaders. The organic index of cheese products was measured based on the protocol proposed by the authors. The correlation analysis revealed the links between the gross cheese production in the regions and their raw material supply.

The Russian Federation produces more than 900,000 tons of cheese and cheese products and imports 300,000 tons. The current per capita consumption of cheese is 6.5 kg per year, but domestic companies provide only 4.2 kg, i.e., 60% of the rational consumption rate. The list of the cheese leaders includes 38 regions, 20 of which provide more than 78% of the total national production, with the Altai Region leading the way. However, some of these cheese-making regions are currently experiencing an acute shortage of dairy raw materials, while some milk-producing regions have a poor processing infrastructure that cannot support cheese production. The national dairy industry has not enough raw materials as a result of a long-term dairy cattle decrease over the past two decades. A sustainable raw material base for cheese making needs 1.2 million more cows to increase the gross milk production by 9.8 million tons (29.6% of the data for 2022).

“The cheese issue” can be resolved by increasing the population of pedigree dairy cattle and encouraging farmers to start cheese dairy businesses. Both measures require strong federal and regional support.

Keywords. Cheese production, leadership, regions, ranking, consumption, rational norms, food security, raw materials base

For citation: Suray NM, Cherkassky AI, Tatochenko AL, Teplaya NA, Korneva GV, *et al.* “The Cheese Issue”: An Attempt at an Objective Quantitative Analysis in the Regional Perspective. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):226–243. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2568>

Введение

Незаменимым компонентом повседневной диеты жителей Российской Федерации являются молоко и молочные продукты, для них Минздравом РФ установлена рациональная норма потребления (РНП) – 325 кг

на человека в год в пересчете на молоко. В перечне молокопродуктов важное место занимает сыр – источник полноценного животного белка, витаминов, микроэлементов и ферментов, РНП по сыру составляет 7 кг. Сыр может быть отнесен к группе функциональных

продуктов для лиц старшего возраста [1], что особенно актуально в условиях старения общества, обусловленного негативной демографической динамикой. При этом Минздравом РФ рекомендовано употребление именно натурального сыра как составляющей здоровой диеты, но не сырных продуктов, изготавливаемых по сырным технологиям с частичной заменой сливок растительными жирами. Сырные аналоги получили распространение по трем основным причинам: дефицит молока как основного сырья для изготовления сыра [2], стремление производителей к удешевлению технологии производства [3], увлечение в современном обществе веганскими диетами [4].

Душевое потребление молока в 2022 г. составило 241 кг, что соответствует 74 % от РНП. Сведения о потреблении сыра ведомство не обнародует, однако эти данные можно найти на информационных ресурсах агропромышленного комплекса и молочной отрасли. Согласно им, душевое потребление сыра в РФ без учета сырных продуктов достигло в 2022 г. 6,5 кг [5], при этом около 75 % реализованной на внутреннем сыром рынке продукции, по данным информационного агентства Milknews, было российского производства. С учетом этого фактическое потребление сыра жителями РФ находится на уровне 88 % от РНП, причем собственное производство обеспечивает лишь 66 % от нормы. Как следствие, Россия выступает активным импортером на мировом сыром рынке [6], примерно 90 % продукции поступает из союзной Беларуси, а также из Аргентины (4 %), Сербии (3 %), Уругвая (1 %) и Швейцарии (1 %). Совокупный объем импорта сыра в 2022 г. составил более 300 тыс. т, в том числе свыше 280 тыс. т – из Беларуси. Наряду с импортом имеет место и экспорт сырной продукции, однако его объемы невелики – около 30 тыс. т, поставки осуществляются преимущественно в страны СНГ (Казахстан, Узбекистан), а также в Китай и Монголию. Согласно данным информационного агентства Milknews, ассортимент составляют в основном бутербродные полутвердые сыры известных еще со времен СССР марок – Российский, Костромской, Пошехонский, а также творожные и плавленые. Важны роли производственно-сбытовых цепочек в обеспечении продовольственной безопасности и характеристики их структурных компонентов как в России, так и за рубежом [7].

В современных экономических условиях сокращаются объемы импорта за счет наращивания внутреннего производства, это касается и сегмента пищевой продукции. Цель – анализ возможностей увеличения выпуска сыра российскими производителями.

Задачи:

1. Оценка реальных объемов выпуска сыра в РФ, поскольку данные источника [5] и информационного агентства Milknews, не подтверждаемые Росстатом, требуют уточнения.

2. Выявление субъектов федерации, играющих ключевую роль в обеспечении населения сыром.

3. Анализ факторов, ограничивающих возможности увеличения производства сыра в субъектах-лидерах сыроделия, и поиск возможных путей решения существующей проблемы.

Объекты и методы исследования

В работе изучался сегмент сыроделия в молочной отрасли России. Предметы исследования:

- показатели валового и душевого производства сыра и сырных продуктов в различных субъектах РФ;
- уровень самообеспеченности РФ натуральным сыром и целевые показатели объемов производства для достижения соответствия требованиям РНП и продовольственной безопасности;
- критерии лидерства субъектов федерации в обеспечении населения РФ сыром и соответствующий перечень субъектов-лидеров;
- состояние сырьевой и производственной базы субъектов-лидеров сыроделия и необходимые меры их развития для достижения целевых показателей.

Информационной базой исследования послужили материалы статей, опубликованных в ведущих научных российских и зарубежных журналах в 2018–2023 гг. Состояние мирового и российского рынков сыра проанализировано авторами по работам [6, 8, 9], современные технологии переработки молока и их влияние на свойства получаемой продукции – по [1, 3, 4, 10–12], вопросы сырьевого обеспечения отрасли сыроделия – по [2, 13–16]. Источниками актуальных данных о деятельности российского агропромышленного комплекса и молочной отрасли выбраны материалы официальной отчетности, а также ежегодники Росстата и Минсельхоза РФ [17–19]. В качестве дополнительных источников информации использованы документы нормативного и справочного характера министерств и ведомств, имеющих отношение к тематике исследования: Приказ Министерства здравоохранения РФ № 614 от 19.08.2016; ИТС 45-2017; Постановление Правительства РФ № 1733 от 30.09.2022; справочник молочной отрасли 2022 г. (Союзмолоко); информационное агентство Milknews.

При работе с данными применялись методы обобщения, систематизации, статистического и математического анализа. Для количественных показателей производства сыра в субъектах федерации рассчитывались основные статистические характеристики (выборочное среднее, среднееквадратическое отклонение, коэффициент вариации, а также интервальные оценки, если имелась соответствующая возможность). Ввиду высокой варьированности признаков лидерства при определении субъектов-лидеров сыроделия использовался метод ранжирования. Уточнение показателей производства натурального сыра в субъектах федерации и по РФ в целом проводилось на основе предложенной авторами расчетной процедуры, оценивающей массу молока, расходуемую на изготовление единицы массы сырной продукции. Характер и теснота связей между

валовым производством сыра в субъектах федерации и их сырьевой обеспеченностью определялись с помощью корреляционного анализа.

Авторы полагают, что полнота информационной базы и использованный методический инструментарий обеспечивают достаточную объективность и достоверность результатов исследования.

Результаты и их обсуждение

Основные количественные показатели производства сыра в РФ. В настоящее время в РФ вырабатывается более 900 тыс. т сырной продукции [5], интерес представляет выявление субъектов федерации, играющих ключевую роль в ее производстве. При этом имеется в виду именно натуральный сыр, относящийся к категории продуктов БЗМЖ. Критерии определения лидерства субъектов РФ могут быть следующими:

1. Объем производства сыра и сырных продуктов в абсолютном, т, и душевом, кг/человек, выражении. Первый показатель отражает возможности субъекта федерации в обеспечении общей потребности РФ в сырной продукции, второй вносит корректировки по фактору масштаба (крупный субъект с большей численностью населения практически всегда производит больше продукции, в особенности пищевой). На данном этапе анализа сыр не дифференцируется от сырных продуктов, поскольку в официальной отчетности Росстата, Минсельхоза и Национального союза производителей молока (Союзмолоко) эти два вида продукции учитываются нераздельно – в физическом весе и в пересчете на молоко.

2. Объем производства молока в абсолютном, тыс. т, и душевом, кг/человек, выражении. Показатель характеризует сырьевую самообеспеченность субъекта федерации: практика сыроделия показывает, что производители чаще всего вырабатывают качественный продукт из молока высокой сыропригодности от собственного дойного стада, получающего сбалансированные натуральные корма без фармакологических добавок [2]. Для субъектов федерации, производящих молоко в значительных количествах, но не перерабатывающих его в сыр, показатель отражает потенциал развития региональной отрасли сыроделия.

3. Доля от общего объема производств молока, %, направляемая на изготовление сыра и сырных продуктов. Показатель отражает удельный вес сыроделия в переработке молока.

4. Количество молока, кг, расходуемое на производство 1 кг сыра и сырных продуктов. Показатель отражает степень натуральности продукции: для производства 1 кг сыра необходимо от 7–8 кг молока (мягкий творожный) до 14–16 кг (твердый выдержанный), а в сырных продуктах содержание молочных заменителей не должно превышать 50 % (ИТС 45-2017). Соответственно, предпочтение будет отдано производителю, расходуемому большее количество молока

на единицу веса конечной продукции. По данному показателю можно определить долю натурального сыра в сырной продукции – этот вопрос рассмотрен в настоящей работе.

На начальном этапе исследования провели количественный анализ по перечисленным выше показателям, их значения (по состоянию на конец 2022 г.) могут быть установлены по Справочнику молочной отрасли 2022 г. (Союзмолоко). Информация источника соответствует приводимой Росстатом и Минсельхозом, но при этом более подробна и оперативна (табл. 1).

Несложные арифметические расчеты на основании табличных данных показывают следующее:

Представленные 38 субъектов федерации обеспечивают 87 % общероссийского производства сыра и сырных продуктов. Наиболее крупные доли в общем производстве имеют Московская область (14 %), Алтайский край (9 %) и Брянская область (8 %) – строки 1–3. Еще 7 субъектов (Воронежская область – Республика Адыгея, строки 4–10) занимают ниши от 5 до 3 %. Индивидуальные доли остальных 28 субъектов РФ составляют по 2 % и менее, в том числе менее 1 % – у 12 субъектов (Вологодская область – Забайкальский край, строки 27–38). При этом 17 субъектов с долями 2 % и выше (Московская область – Башкортостан, строки 1–17) вырабатывают 695 тыс. т сырной продукции, или 76 % от общего объема. В данных субъектах проживает 45,3 млн человек, или 31 % населения РФ. Приведенные соотношения отражают принцип Парето (25 % усилий обеспечивают 75 % результата).

В субъектах федерации, представленных в таблице 1, проживает 60 % населения РФ, при этом вариация по численности населения очень сильна – от 8,6 млн человек (Московская область) до 498 тыс. человек (Адыгея). Как следствие, оценки лидерства на основе валового производства целесообразно скорректировать по фактору масштаба – путем расчета душевых показателей. Среднее значение по 38 субъектам федерации равно 9,0 кг, это почти в 1,5 раза больше, чем по РФ в целом (6,2 кг). Выражено лидируют Брянская область (63,3 кг), Адыгея (51,9 кг) и Алтайский край (40,0 кг) – строки 2, 3, 10. Однако следует учитывать, что справочник молочной отрасли 2022 г. (Союзмолоко) приводит данные по производству сыра и сырных продуктов, т. е. объемы производства натурального сыра могут оказаться существенно меньшими. Кроме того, в 10 субъектах РФ (Саратовская область – Забайкальский край, строки 29–38) значения показателя не превышают 1 кг, хотя объемы производства молока в них значительны (в Саратовской области на душу – 315 кг, в Ленинградской – 336 кг, в Оренбургской – 326 кг, строки 29, 30, 33). Вероятно, в этих субъектах не созданы благоприятные условия для переработки молока на сыр.

Представленные в таблице 1 субъекты РФ обеспечивают 80 % всероссийского производства молока, тройка лидеров: Татарстан с долей 6 %, Краснодарский

Таблица 1. Основные показатели производства сыра и сырных продуктов в субъектах РФ

Table 1. Key indicators of cheese production in Russia's regions

№	Субъект федерации	Население, тыс. человек	Производство сыра и сырных продуктов		Душевое производство сыра и сырных продуктов, кг	Производство молока, тыс. т	Душевое производство молока, кг	Доля молока на сыр и сырные продукты, %	Доля молока в сыре и сырных продуктах, кг/кг
			т	в пересчете на молоко, т					
1	Московская область	8591,7	128069,0	1104720	14,9	731,7	85	151,0	8,6
2	Алтайский край	2131,0	85278,0	622917	40,0	1140,4	535	55,0	7,3
3	Брянская область	1152,5	73007,0	466890	63,3	304,6	264	153,0	6,4
4	Воронежская область	2285,3	48994,0	411444	21,4	1055,8	462	39,0	8,4
5	Республика Татарстан	4001,6	45543,0	311236	11,4	2037,9	509	15,0	6,8
6	Белгородская область	1514,5	43324,0	381251	28,6	721,8	477	53,0	8,8
7	Пермский край	2508,4	42488,0	225412	16,9	567,0	226	40,0	5,3
8	Омская область	1832,1	36256,0	206183	19,8	608,3	332	34,0	5,7
9	Удмуртская Республика	1442,3	31116,0	266300	21,6	957,2	664	28,0	8,6
10	Республика Адыгея	498,0	25822,0	194042	51,9	120,2	241	161,0	7,5
11	Краснодарский край	5819,3	21123,0	182106	3,6	1630,1	280	11,0	8,6
12	Республика Мордовия	771,4	20683,0	181841	26,8	503,6	653	36,0	8,8
13	Волгоградская область	2470,1	20569,0	165295	8,3	586,5	237	28,0	8,0
14	Ростовская область	4144,1	19658,0	158047	4,7	1101,9	266	14,0	8,0
15	Псковская область	587,8	19325,0	126853	32,9	208,9	355	61,0	6,6
16	Тульская область	1481,5	18483,0	150922	12,5	201,4	136	75,0	8,2
17	Республика Башкортостан	4077,6	15221,0	133947	3,7	1586,1	389	8,0	8,8
18	Ярославская область	1194,6	13566,0	82538	11,4	355,4	298	23,0	6,1
19	Свердловская область	4239,2	11337,0	91143	2,7	846,1	200	11,0	8,0
20	Рязанская область	1088,9	11202,0	62718	10,3	594,7	546	11,0	5,6
21	Владимирская область	1325,5	9181,0	45319	6,9	471,9	356	10,0	4,9
22	Ставропольский край	2891,2	8368,0	54184	2,9	538,5	186	10,0	6,5
23	Новосибирская область	2794,3	7641,0	47125	2,7	893,9	320	5,0	6,2
24	Нижегородская область	3062,0	7589,0	65649	2,5	667,5	218	10,0	8,7
25	Чувашская Республика	1173,2	6914,0	33906	5,9	465,5	397	7,0	4,9
26	Кировская область	1138,1	5992,0	50508	5,3	792,9	697	6,0	8,4
27	Вологодская область	1128,8	3030,0	26664	2,7	607,5	538	4,0	8,8

Продолжение таблицы 1

№	Субъект федерации	Население, тыс. человек	Производство сыра и сырных продуктов		Душевое производство сыра и сырных продуктов, кг	Производство молока, тыс. т	Душевое производство молока, кг	Доля молока на сыр и сырные продукты, %	Доля молока в сыре и сырных продуктах, кг/кг
			т	в пересчете на молоко, т					
28	Кабардино-Балкарская Республика	903,3	2704,0	19145	3,0	580,9	643	3,0	7,1
29	Саратовская область	2404,9	2359,0	20391	1,0	756,7	315	3,0	8,6
30	Ленинградская область	2023,8	1988,0	15505	1,0	679,1	336	2,0	7,8
31	Красноярский край	2845,5	1837,0	16167	0,6	610,8	215	3,0	8,8
32	Республика Дагестан	3209,8	1655,0	14565	0,5	908,1	283	2,0	8,8
33	Оренбургская область	1841,4	1037,0	9126	0,6	600,7	326	2,0	8,8
34	Тюменская область	3778,1	1022,0	8995	0,3	570,5	151	2,0	8,8
35	Иркутская область	2344,4	649,0	3463	0,3	460,8	197	1,0	5,3
36	Астраханская область	950,6	161,0	1413	0,2	178,2	187	1,0	8,8
37	Тверская область	1211,2	101,0	893	0,1	203,5	168	< 0,1	8,8
38	Забайкальский край	992,4	0,5	4	< 0,1	316,1	319	< 0,1	8,0
Итого		87850,1	793292,5	5958827	9,0	26162,7	298	23,0	7,5
РФ		146447,4	912375,0	7015430	6,2	32983,7	225	21,0	7,7

край и Башкортостан (по 5 %) – строки 5, 11, 17. Еще 7 субъектов РФ имеют доли по 3 % (Алтайский край, Ростовская, Воронежская, Новосибирская и Свердловская области, а также Удмуртия и Дагестан), доли остальных 28 субъектов составляют 2 % и менее – почти как в случае с производством сыра. Однако отличие заключается в том, что долю менее 1 % имеет лишь один субъект федерации – Адыгея, что может быть объяснено его малым масштабом (в республике проживает 0,3 % населения РФ). Очевидно, молоко является более востребованным продуктом повседневного спроса, чем сыр, поэтому объемы его производства в субъектах РФ подвержены меньшей вариации. Более 600 кг молока на душу населения производят Кировская область, Удмуртия, Мордовия и Кабардино-Балкария, более 500 кг – Рязанская, Вологодская области, Алтайский край и Татарстан, более 450 кг – Белгородская и Воронежская области. Таким образом, 10 субъектов федерации превышают общероссийский показатель (225 кг) более чем вдвое, а среднее душевое производство молока в 38 субъектах (298 кг) в 1,3 раза выше, чем по РФ в целом. Тем не менее даже в этих субъектах федерации в совокупности РНП по молоку не достигается – 325 кг.

Справочник молочной отрасли 2022 г. (Союзмолоко) приводит данные по производству сыра и сырных продуктов как в физическом весе, так и в пересчете на молоко. Отношение последнего показателя к валовому производству молока представляет собой долю сырья, перерабатываемого на продукты сыроделия. В среднем по РФ эта доля составляет 21 %, по 38 рассматриваемым субъектам федерации – 23 %, т. е. разница невелика. Выделяются Адыгея, Брянская и Московская области: в них значение показателя составляет 161, 153 и 151 % соответственно (строки 1, 3, 10). Это говорит о недостаточной сырьевой самообеспеченности субъектов РФ. В Тульской, Псковской, Белгородской областях и Алтайском крае на нужды сыроделия направляется 53–75 % производимого молока, в Ярославской, Воронежской, Омской, Волгоградской областях, Мордовии, Удмуртии и Пермском крае – 23–40 %. Таким образом, лишь в 16 субъектах федерации значение показателя находится на уровне среднего по группе (23 %) или выше. В остальных 22 субъектах доля переработки даже ниже, чем в среднем по РФ (максимум – 1 % в Татарстане), в том числе в 16 субъектах значение показателя опускается ниже 10 % (минимум – менее 0,1 % в Тверской области и Забайкальском крае).

Отношение объемов производства сыра и сырных продуктов в пересчете на молоко и в физическом весе показывает, сколько молока присутствует в единице массы сырной продукции. В среднем по РФ значение показателя равно 7,7 кг, по 38 рассматриваемым субъектам – 7,5 кг, разница составляет менее 3 %. Максимальные значения (8,8 кг) достигаются в 10 субъектах РФ, значения ниже среднего по группе – в 14, в том числе минимальные (менее 5 %) – во Владимирской области и Чувашии.

Из рассмотрения исключена Москва с объемом производства сыра и сырных продуктов 19,8 тыс. т (2,2 % в структуре целого по РФ), т. к. не имеет собственной сырьевой базы сыроделия. Практически вся московская продукция производится на заводе плавящих сыров «Карат» (известные со времен СССР марки «Дружба», «Волна», «Янтарь» и пр.). Согласно справочнику молочной отрасли 2022 г. (Союзмолоко), объем выпуска сыра и сырных продуктов составляет 171,9 тыс. т в пересчете на молоко, которого в мегаполисе производится всего 4,4 тыс. т, его обеспечивает стадо в 570 коров. Таким образом, более чем 97 % сырной продукции вырабатывается из привозного сырья, которое во времена СССР поставлялось из Московской области в кратчайшие сроки в свежем виде. Однако в настоящее время область сама испытывает острый дефицит молока, восполняя его за счет поставок из сопредельных регионов. При этом не все поставляемое в столицу молочное сырье удовлетворяет требованиям сыропригодности [11], что негативно сказывается на потребительских свойствах конечного продукта. Проблему с качеством продукта создает не использование сухого молока – его применение заложено в технологии производства плавящих сыров (ИТС 45-2017), а распространенная практика использования сырья, при которой дорогостоящий молочный жир заменяется растительным. Такое сырье не может быть классифицировано ни как молоко, ни даже как молочный продукт. Как следствие, при введении новых правил маркировки молочной продукции (Постановление Правительства РФ № 1733 от 30.09.2022), цель которых – борьба с фальсификатом, руководство завода «Карат» всерьез рассматривало вариант переноса части производства в Беларусь.

Заметим, что субъекты федерации, играющие ключевую роль в производстве российской сырной продукции, присутствуют во всех федеральных округах: 10 из них (26 %) расположены в Приволжском округе, 9 (24 %) – в Центральном, 6 (16 %) – в Южном, 5 (13 %) – в Сибирском, 3 (8 %) – в Северо-Западном, по 2 (по 5 %) – в Уральском и Северо-Кавказском и 1 (3 %) – в Дальневосточном. Выраженная неравномерность концентрации может быть объяснена различиями демографических, климатических, инфраструктурных условий в субъектах РФ, а также сложившимися в них культурно-историческими и бытовыми традициями.

Субъекты Российской Федерации – лидеры сыроделия. Почти все показатели, используемые для определения регионов-лидеров сыроделия, сильно варьируются. Расчетные значения коэффициентов вариации составляют: для валового производства сыра и сырных продуктов – 129 %, душевого – 126 %; для валового производства молока – 59 %, душевого – 47 %; для доли переработки молока на сыр и сырные продукты – 143 %. Это означает, что рассматриваемые выборки не обладают свойством однородности (граничное значение коэффициента вариации – 30 %), представляемые ими величины не подчиняются нормальному закону распределения, и для них невозможно получение интервальных оценок. Исключение составляет содержание молока в килограмме сыра и сырных продуктов с коэффициентом вариации, равным 17 % (средняя варьированность признака), границы доверительного интервала для средних значений при доверительной вероятности 0,95 составляют 6,3–8,0 кг. В этих условиях для выявления субъектов-лидеров может быть применен подход с построением ранжированных рядов (получилось 6 – по числу показателей, имеющих равные коэффициенты весомости), в каждом из которых субъекты получают ранги соответственно занимаемым местам от 1 до 38. Самому значительному результату соответствовала минимальная сумма рангов (табл. 2).

Наилучшие показатели демонстрирует Алтайский край с минимальной суммой рангов – 47 (средний ранг по 6 показателям – 7,8), худшие – Иркутская область – 202 и 33,7 соответственно. Статистические характеристики комплексной ранговой оценки: выборочное среднее – 117, среднееквадратическое отклонение – 40, коэффициент вариации – 34 %. Проведем стратификацию ранжированного ряда, выделяя в нем следующие группы: а) субъекты-«середняки» с суммой рангов, отличающейся от средней не более чем на 5 %, граничные ранги группы – 111–123; б) субъекты РФ, стремящиеся к опережению и к достижению среднего уровня, отклонение от среднего ± 20 %, границы – 110–93 и 124–141; в) опережающие и отстающие субъекты РФ, отклонение от среднего ± 40 %, границы – 92–58 и 142–177 соответственно; г) субъекты-лидеры и аутсайдеры, отклонение от среднего более чем на 40 %, граничные ранги – 57 и выше, 178 и ниже. В группы лидеров и аутсайдеров вошли по 4 субъекта федерации (строки 1–4 и 35–38), опережающих и отстающих – по 5 субъектов (строки 5–9 и 30–34), стремящихся к опережению и к достижению среднего уровня – 6 и 9 субъектов соответственно (строки 10–15 и 21–29), в группу «середняков» – 5 субъектов (строки 16–20). Представляется целесообразным исключить из рассмотрения субъекты РФ с результатами ниже средних (Свердловская область – Иркутская область, строки 21–38) и вести дальнейший анализ по 20 сильнейшим субъектам федерации (Алтайский край – Тульская область, строки 1–20).

Отметим, что в 20 субъектах-лидерах производится 715,2 тыс. т сыра и сырных продуктов, т. е. 90,2 % суммарного показателя по 38 субъектам РФ, или же 78,4 % общероссийского производства. Среднее душевое производство (14,7 кг) в 1,6 раза выше среднего показателя по 38 субъектам и в 2,4 раза – общероссийского. Средняя доля переработки молока на сыр и сырные продукты – 33,8 %, что в 1,6 раза выше, чем в среднем по РФ. При этом доля 4 субъектов-лидеров (Алтайский край, Белгородская и Воронежская области и Удмуртия) в общероссийском производстве составляет 23 % (208,7 тыс. т), а доля 5 опережающих субъектов федерации (Московская область, Краснодарский край, Татарстан, Мордовия и Башкортостан) – 25 % (230,6 тыс. т). Еще 180,1 тыс. т, или 20 %,

обеспечивают 6 субъектов РФ, стремящихся к опережению среднего уровня (Брянская, Ростовская, Кировская, Псковская, Омская области и Адыгея). Таким образом, 68 % российской сырной продукции вырабатывается в 15 субъектах федерации, что является доказательством отчетливого явления концентрации производства. Из этих субъектов 5 располагаются в Приволжском федеральном округе (33 %), 4 – в Центральном (27 %), 3 – в Южном (20 %), 2 – в Сибирском (13 %) и 1 – в Северо-Западном (7 %). Распределение локаций достаточно близко к отмеченному для полной группы субъектов-производителей сырной продукции, сильно выраженное преобладание имеют Приволжский, Центральный и Южный федеральные округа.

Таблица 2. Ранжирование субъектов РФ по комплексу показателей производства сыра

Table 2. Russia's regions by cheese production indicators

№	Субъект федерации	Занимаемое место среди 38 субъектов по показателям (ранг)						Сумма рангов	Среднее место по 6 показателям
		Производство молока, тыс. т	Душевое производство молока, кг	Производство сыра и сырных продуктов, т	Душевое производство сыра и сырных продуктов, кг	Доля молока на сыр и сырные продукты, %	Доля молока в сыре и сырных продуктах, кг/кг		
Субъекты-лидеры, сумма рангов – 56 и менее									
1	Алтайский край	4	7	2	3	6	25	47	7,8
2	Белгородская область	14	9	6	5	7	8	49	8,2
3	Удмуртская Республика	7	2	9	7	13	15	53	8,8
4	Воронежская область	6	10	4	8	9	17	54	9,0
Опережающие субъекты РФ, сумма рангов – 57–92									
5	Республика Мордовия	27	3	12	6	10	9	67	11,2
6	Республика Татарстан	1	8	5	13	15	27	69	11,5
7	Московская область	13	38	1	11	3	13	79	13,2
8	Республика Башкортостан	3	12	17	21	23	6	82	13,7
9	Краснодарский край	2	23	11	22	17	14	89	14,8
Субъекты РФ, стремящиеся к опережению, сумма рангов – 93–110									
10	Брянская область	33	25	3	1	2	30	94	15,7
11	Омская область	18	16	8	9	11	33	95	15,8
12	Ростовская область	5	24	14	20	16	19	98	16,3
13	Кировская область	11	1	26	19	25	16	98	16,3
14	Псковская область	34	14	15	4	5	28	100	16,7
15	Республика Адыгея	38	26	10	2	1	24	101	16,8

Продолжение таблицы 2

№	Субъект федерации	Занимаемое место среди 38 субъектов по показателям (ранг)						Сумма рангов	Среднее место по 6 показателям
		Производство молока, тыс. т	Душевое производство молока, кг	Производство сыра и сырных продуктов, т	Душевое производство сыра и сырных продуктов, кг	Доля молока на сыр и сырные продукты, %	Доля молока в сыре и сырных продуктах, кг/кг		
Субъекты РФ со средними показателями, сумма рангов – 111–123									
16	Волгоградская область	22	27	13	16	12	21	111	18,5
17	Вологодская область	19	6	27	26	27	7	112	18,7
18	Рязанская область	21	5	20	15	19	34	114	19,0
19	Пермский край	25	28	7	10	8	36	114	19,0
20	Тульская область	36	37	16	12	4	18	123	20,5
Субъекты РФ, стремящиеся к достижению среднего уровня, сумма рангов – 124–141									
21	Свердловская область	10	31	19	27	18	20	125	20,8
22	Нижегородская область	16	29	24	28	21	11	129	21,5
23	Ярославская область	31	21	18	14	14	32	130	21,7
24	Республика Дагестан	8	22	32	33	32	4	131	21,8
25	Саратовская область	12	20	29	30	29	12	132	22,0
26	Кабардино- Балкарская Республика	23	4	28	23	28	26	132	22,0
27	Новосибирская область	9	18	23	25	27	31	133	22,2
28	Владимирская область	28	13	21	17	22	37	138	23,0
29	Оренбургская область	20	17	33	32	34	5	141	23,5
Отстающие субъекты РФ, сумма рангов – 142–177									
30	Ленинградская область	15	15	30	29	31	23	143	23,8
31	Красноярский край	17	30	31	31	30	5	144	24,0
32	Чувашская Республика	29	11	25	18	24	38	145	24,2
33	Ставропольский край	26	34	22	24	20	29	155	25,8
34	Тюменская область	24	36	34	35	33	2	164	27,3
Субъекты-аутсайдеры, сумма рангов – 178 и более									
35	Тверская область	35	35	37	37	37	2	183	30,5
36	Забайкальский край	32	19	38	38	38	22	187	31,2
37	Астраханская область	37	33	36	36	35	10	187	31,2
38	Иркутская область	30	32	35	34	36	35	202	33,7

Задачей исследования было выявление субъектов федерации, играющих ключевые роли в обеспечении населения России натуральным сыром. Установить реальные объемы его производства можно путем анализа количества молока, расходуемого на килограмм сырной продукции. Исходные соображения при этом следующие:

- на производство 1 кг мягкого сыра расходуется в среднем 7 кг молока, плавленого – 9 кг, полутвердого – 10 кг, твердого – 12 кг (ИТС 45-2017);
- структура потребления сыров на внутреннем рынке РФ имеет примерно следующий вид: твердые – 10 %, полутвердые – 40 %, мягкие – 20 %, плавленые – 17 %, рассольные – 7 % (по расходу молока близки к полутвердым), прочие – 6 % (условно близки к мягким) [6];
- содержание молока в сырье для выработки сырных продуктов не должно опускаться ниже 50 %.

Рассчитать среднестатистическое содержание молока в 1 кг сыра ($M_{\text{ср.}}$, кг), производимого в РФ, можно при помощи норм расхода сырья и структуры потребления:

$$M_{\text{ср.}} = \sum_{i=1}^n D_i \times M_i \quad (1)$$

где D_i – доля сыра i -го сорта на внутреннем потребительском рынке, отн. ед.; M_i – расход молока на изготовление сыра i -го сорта, кг.

Результат расчета по (1) равен 9,2 кг. Далее на основании материального баланса может быть составлено следующее соотношение:

$$M_{\text{ср.}} \times D_{\text{с}} + 0,5 \times M_{\text{ср.}} \times D_{\text{сп}} = M_{\text{ф}} \quad (2)$$

где $D_{\text{с}}$ и $D_{\text{сп}}$ – доли сыра и сырных продуктов в структуре производства, отн. ед.; $M_{\text{ф}}$ – фактическое содержание молока в килограмме производимой продукции, кг (приводится для каждого субъекта федерации в табл. 1).

В выражении 2 установлено минимально допустимое присутствие молока в сырных продуктах (50 %), таким образом, оценка доли сыра в структуре производства является оптимистической. Неизвестными выступают доли $D_{\text{с}}$ и $D_{\text{сп}}$, для них справедливы соотношения: $0 < D_{\text{с}} < 1$; $0 < D_{\text{сп}} < 1$; $D_{\text{с}} = 1 - D_{\text{сп}}$. С учетом этого исходное выражение 2 приобретет вид:

$$9,2 \times (1 - D_{\text{сп}}) + 4,6 \times D_{\text{сп}} = M_{\text{ф}} \quad (3)$$

На его основе величина $D_{\text{с}}$ для каждого конкретного субъекта РФ может быть определена следующим образом: заданное значение $D_{\text{сп}}$ следует подставить в выражение 3 и сравнить полученный результат с фактическим содержанием молока в 1 кг продукции. Изменять величину $D_{\text{сп}}$ следует до совпадения результата с $M_{\text{ф}}$. После вычисления $D_{\text{с}}$ можно рассчитать фактический физический вес сыра на основании данных об общем объеме производства. Данный алгоритм расчета легко реализуется в Мастере функций

MS Excel, результаты по 20 субъектам Российской Федерации представлены в таблице 3.

Данные таблицы 3 свидетельствуют о следующем:

1. Производство сыра (без учета сырных продуктов) по РФ в целом составляет 620,4 тыс. т, что достаточно существенно расходится с данными источника [5] и информационного агентства Milknews – 669 и 682 тыс. т, разница составляет 7 и 9 % соответственно. Душевое производство по РФ в целом (4,2 кг) обеспечивает лишь 60 % от РНП, равной 7 кг. Росстат оценивает общую самообеспеченность РФ молоком в 85,7 %, данная общая оценка оказывается некорректной в отношении отдельных видов молочной продукции, в частности сыра. Из Беларуси в 2022 г. поставлено 283,4 тыс. т сыра, доля союзного государства в структуре импорта – 85 %, соответственно, общий объем импорта может быть оценен в 325,9 тыс. т. При учете собственного производства объем потребления составит 946,3 тыс. т, или 6,5 кг в душевом выражении, что совпадает с оценкой информационного агентства Milknews. Душевое потребление сыра и сырных продуктов населением РФ составляет 6,8 кг, т. е. доля сыра в потреблении равна 95 %, а сырных продуктов – всего 5 % (Milknews). Однако расчеты по справочнику молочной отрасли 2022 г. (Союзмолоко) показывают, что при доле сыра 68 % в общем объеме производства на сырные продукты приходится 32 %, или 292 тыс. т в физическом весе. Даже если допустить, что весь экспорт (около 30 тыс. т) образуется исключительно за счет сырных продуктов, их потребление может быть оценено в 262 тыс. т. В структуре общего потребления (1208,3 тыс. т) это соответствует доле в 22 %. Таким образом, для адекватной оценки реальной ситуации в российском сыроделии данные источника [5], а также информационного агентства Milknews, справочника молочной отрасли 2022 г. (Союзмолоко) и Росстата за 2024 г. должны рассматриваться комплексно.

2. Представленные 20 субъектов федерации обеспечивают 78,6 % общероссийского производства сыра, в то время как изначально рассматривавшиеся 38 субъектов федерации – 80,6 %. В связи с этим ранговый подход к определению субъектов-лидеров обеспечивает достаточно объективные результаты. В том числе 17 субъектов РФ имеют доли более 1 % в структуре целого, ими обеспечивается 73,5 % общего производства (строки 1–17). Выраженно опережают прочие субъекты Московская, Воронежская и Белгородская области, а также Алтайский край (строки 1–4), совместно вырабатывающие 39 % российского сыра. По душевому производству (23,6–33,2 кг, т. е. в 5,6–7,9 раза больше, чем в целом по РФ) лидируют Алтайский край, Белгородская, Брянская области, Мордовия и Адыгея (строки 2, 4, 5, 8, 10). В среднем же по 20 сильнейшим субъектам РФ значение показателя равно 13,6 кг, т. е. превышает РНП почти в 2 раза.

3. В 20 сильнейших субъектах РФ средняя доля сыра в структуре производства оказывается эквивалентной

Таблица 3. Субъекты федерации, играющие ключевую роль в обеспечении сыром населения РФ

Table 3. Regions with the biggest cheese production volumes on the Russian market

№	Субъект федерации	Доля молока в сыре и сырных продуктах		Доля сыра в производстве		Производство сыра		Душевое производство сыра	
		кг/кг	к среднему по РФ, отн. ед.	отн. ед.	к среднему по РФ, отн. ед.	т	доля от целого по РФ, %	кг	к среднему по РФ, отн. ед.
1	Московская область	8,6	1,12	0,87	1,28	111420	18,0	13,0	3,06
2	Алтайский край	7,3	0,95	0,59	0,87	50314	8,1	23,6	5,57
3	Воронежская область	8,4	1,09	0,83	1,22	40665	6,6	17,8	4,20
4	Белгородская область	8,8	1,14	0,91	1,34	39425	6,4	26,0	6,15
5	Брянская область	6,4	0,83	0,40	0,59	29203	4,7	25,3	5,98
6	Удмуртская Республика	8,6	1,11	0,87	1,28	27071	4,4	18,8	4,43
7	Республика Татарстан	6,8	0,89	0,48	0,71	21861	3,5	5,5	1,29
8	Республика Мордовия	8,8	1,14	0,91	1,34	18822	3,0	24,4	5,76
9	Краснодарский край	8,6	1,12	0,87	1,28	18377	3,0	3,2	0,75
10	Республика Адыгея	7,5	0,98	0,64	0,94	16526	2,7	33,2	7,83
11	Волгоградская область	8,0	1,04	0,75	1,10	15427	2,5	6,2	1,47
12	Ростовская область	8,0	1,04	0,75	1,10	14744	2,4	3,6	0,84
13	Тульская область	8,2	1,06	0,79	1,16	14602	2,4	9,9	2,33
14	Республика Башкортостан	8,8	1,14	0,91	1,34	13851	2,2	3,4	0,80
15	Омская область	5,7	0,74	0,24	0,35	8701	1,4	4,7	1,12
16	Псковская область	6,6	0,85	0,44	0,65	8503	1,4	14,5	3,42
17	Пермский край	5,3	0,69	0,16	0,24	6798	1,1	2,7	0,64
18	Кировская область	8,4	1,09	0,83	1,22	4973	0,8	4,4	1,03
19	Вологодская область	8,8	1,14	0,91	1,34	2757	0,4	2,4	0,58
20	Рязанская область	5,6	0,73	0,22	0,32	2464	0,4	2,3	0,53
Итого по 20 субъектам		7,7	1,00	0,68	1,00	486324	78,4	13,6	3,22
По 38 субъектам (табл. 1)		7,5	0,97	0,63	0,93	499774	80,6	5,7	1,34
РФ		7,7	1,00	0,68	1,00	620415	100,0	4,2	1,00

с общероссийской (68 %), однако в Белгородской и Вологодской областях, Башкортостане и Мордовии она достигает 91 % – строки 4, 8, 14, 19. Близкое значение показателя (87 %) демонстрируют Московская область, Удмуртия и Краснодарский край – строки 1, 6 и 9. В связи с распространившейся модой на веганские диеты трендом современного мирового молочного рынка становятся продукты, в которых животное сырье заменяется растительными аналогами – известны примеры разработки йогуртов на основе молока из зерен люпина [10], аналогов сыра на основе кукурузного и соевого белков, соевого масла и пр. [4]. Однако аналитиками рынка отмечается приверженность жителей РФ классическим сырам, причем в условиях санкций предпочтение отдается российской продукции, которую потребители позиционируют как сравнимую с зарубежными аналогами по качеству, но при этом имеющую существенно меньшую стоимость [8]. Как следствие, в последние годы в РФ проявляется тенденция снижения производства сырных продуктов при одновременном увеличении выпуска натурального сыра, по данным информационного агентства Milknews.

Характерно, что в списке лидеров сыроделия наряду с крупными субъектами федерации с многомиллионным населением (Московская область – 8,6 млн человек, Краснодарский край – 6,8 млн человек, Татарстан и Башкортостан – свыше 4 млн человек) представлены и существенно менее масштабные субъекты – Мордовия (771 тыс. человек), Псковская область (588 тыс. человек) и Адыгея (498 тыс. человек). При этом Мордовия производит сыра всего на 14 % меньше, чем Татарстан, столько же, сколько и Краснодарский край, и на 36 % больше, чем Башкортостан. Адыгея по данному показателю уступает Краснодарскому краю лишь 10 % и опережает Башкортостан на 19 %. Успехи небольших субъектов федерации в сыроделии могут быть объяснены более высокой концентрацией сельского населения – в Псковской области его доля равна 29,3 %, в Мордовии – 36,0 %, в Адыгее – 50,5 % (среднее значение показателя по РФ – 25,1 %). Как правило, численность жителей сельских поселений имеет положительную корреляцию с поголовьем коров, что обеспечивает устойчивую сырьевую базу молокоперерабатывающей отрасли, в том числе и сыроделия [2]. Не случайно в топ-10 сыро-

производящих субъектов только 2 (Московская область и Татарстан) имеют доли сельского населения ниже общероссийской – 21,5 % и 23,3 % соответственно. В остальных субъектах топ-10 значения показателя составляют 30 % и выше, достигая максимума в Алтайском крае – 69 %. Однако большие объемы производства молока в субъекте РФ не являются гарантией его выдвижения на лидерские позиции в производстве сыра: так, Дагестан, Новосибирская и Свердловская области, занимающие 8–10 места по объему производства молока (табл. 2, строки 21, 24, 27), не попадают в двадцатку лучших «сырных» субъектов.

Помимо сырьевой базы, условиями успеха выступают наличие производственной инфраструктуры, а также многолетний успешный опыт выпуска сырной продукции. Поэтому в составе топ-10 присутствуют субъекты федерации, имеющие более чем вековые традиции сыроделия и сумевшие на их основе создать собственные сырные бренды: Адыгея, Брянская область и Алтайский край. Производимые ими сыры (Адыгейский, Стародубский, Алтайский) хорошо известны российскому потребителю и в настоящее время проходят процесс трансформации от статуса гастрономических брендов в бренды территорий [9]. А такие субъекты, как Костромская и Ярославская области, во времена СССР создавшие популярнейшие марки сыра (Костромской, Угличский и Пошехонский), не входят как в топ-10, так и в двадцатку ведущих производителей. Также тревожным представляется тот факт, что из 17 субъектов-лидеров в производстве сыра 3 (или 18 %) в 2020 г. были включены Правительством РФ в список регионов, отстающих в социально-экономическом развитии – Алтайский край, Республика Адыгея и Псковская область. Парадоксально, что успешная деятельность по решению важной народно-хозяйственной задачи не является социально-экономическим лифтом для регионов-исполнителей.

Так, ни масштаб субъекта федерации, ни большие объемы производимого в нем молока, ни имеющийся опыт в создании гастрономических брендов не гарантируют достижения лидерства в сыроделии. Задача наращивания производства натурального сыра не имеет однозначного и легкого решения, однако путь к развязке «сырного узла» необходимо начинать с адекватной количественной оценки соответствия исходных реалий конечной цели. Поэтому был проведен соответствующий анализ на основе причинно-следственной цепочки «корова – молоко – сыр».

«Молочный ключ» к решению «сырной проблемы»: основные количественные соотношения. РНП молочных продуктов составляет 325 кг в пересчете на молоко, в том числе по сыру – 7 кг. Пороговое значение критерия продовольственной безопасности для молочной продукции – 90 % (Указ Президента РФ № 20 от 21.01.2020), с учетом этого душевое производство, обеспечивающее достижение РНП, должно иметь значения 292,5 кг – по молоку и 6,3 кг – по сыру.

В справочной литературе при расчетах выхода готовой продукции сыродельного производства принимается, что в среднем для получения 1 кг сыра нужно 10–11 кг молока, однако в связи с высокой долей мягких сыров на российском внутреннем рынке данная потребность уменьшается до 9,2 кг. Следовательно, нижняя граница значения душевого производства молока, направляемого на переработку в сыр, может быть оценена в 58 кг. Верхняя граница (при расходе 11 кг молока на 1 кг сыра) – 69,3 кг. Верхнему и нижнему значениям соответствуют доли в душевом производстве молока 23,7 % и 19,8 %. В настоящее время в целом по РФ на производство сыра направляется 21 % вырабатываемого молока, в 38 основных сыропроизводящих субъектах федерации – 23 %, а в субъектах-лидерах сыроделия – даже более 50 % (Белгородская область – 53 %, Алтайский край – 55 %, Псковская область – 61 %) (табл. 1).

На данный момент производственных мощностей для переработки молока на сыр хватает (перерабатывается 5707,8 тыс. т), однако при выходе производства молока на уровень обеспечения продовольственной безопасности потребуются увеличение мощностей переработки до 8479,8 тыс. т или даже до 10131,9 тыс. т (из расчета 9,2 и 11,0 кг молока на 1 кг сыра соответственно). При этом минимальная потребность в увеличении мощностей составит 2772 тыс. т, или около 48 % от используемых в настоящее время. Следует отметить, что на ряде ведущих предприятий отрасли загрузка мощностей уже близка к предельной: так, ТНВ «Стародубские сыры» – крупнейший российский производитель полутвердых сыров (Брянская область) – при номинальной мощности переработки молока 180 тыс. т перерабатывает ежегодно 169,3 тыс. т сыра (94 % номинала). Созданный в 2019 г. в Дмитровском районе Московской области агропарк «Сырная долина» (проектная мощность – 19,5 тыс. т твердого сыра в год) выпускает всего 8,4 тыс. т продукции, производственные мощности используются менее чем на 50 % из-за проблем с сырьевым обеспечением. Также лидер сыроделия – Алтайский край – вынужден компенсировать дефицит сырья закупками молока в соседней Новосибирской области [9]. Сырьевая проблема является острой для молочной отрасли России.

Объемы производства молока функционально связаны с поголовьем коров и их молочной продуктивностью, рассуждать о путях наращивания выпуска сыра без учета этих двух показателей бессмысленно. Современные реалии таковы: в российских хозяйствах всех категорий содержится 7734,6 тыс. коров, из них 3227,4 тыс. голов, или 42 %, – в сельскохозяйственных организациях (СХО), 1464,9 тыс. голов (19 %) – в крестьянских фермерских хозяйствах (КФХ) и у индивидуальных предпринимателей (ИП), 3042,3 тыс. голов (39 %) – в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) населения [17]. Средняя по РФ молочная продуктив-

ность составляет 5194 кг на корову в год, в том числе в СХО – 7440 кг, в КФХ и ИП – 3989 кг, в ЛПХ – 3572 кг. Это обеспечивает совокупный объем производства 32983,7 тыс. т молока. Производство общего поголовья на среднюю молочную продуктивность дает результат 40173,5 тыс. т, т. е. фактическое производство на 18 % меньше полученного результата вследствие того, что не все коровы являются дойными, оптимальное соотношение поголовья дойных и сухостойных коров в молочном стаде – 83 на 17 % [15]. Исходя из определенного выше целевого значения душевого производства (292,5 кг) и актуальной численности населения (146,2 млн человек), валовое производство молока в РФ должно составлять 42763,5 тыс. т, что на 29,6 % выше текущего значения показателя. Достижение поставленной цели возможно за счет увеличения молочной продуктивности коров, поголовья дойных коров (учитывая постоянство их доли в оптимальной структуре стада, далее будем оперировать общим поголовьем).

При решении сырьевой проблемы путем увеличения молочной продуктивности коров среднее значение показателя необходимо увеличить на 29,6 %, т. е. до 6726 кг, что само по себе не является недостижимым ориентиром. Для сравнения, средняя продуктивность по странам ЕС имеет значение 7124 кг, в ведущих сыропроизводящих странах: Франция – 6800 кг, Италия – 7300 кг, Германия – 7800 кг, Великобритания – 8100 кг, Нидерланды – 8700 кг, Финляндия – 8900 кг, Дания – 9600 кг [18]. Всего в 2022 г. 27 стран ЕС произвели 149,3 млн т молока, заняв 1 место в мире, а Россия – 5 позицию после ЕС, США (103,0 млн т), Индии (97,0 млн т) и Китая (39,2 млн т). При этом по молочной продуктивности РФ занимает лишь 10 место, ближайшие конкуренты – Беларусь (5444,0 кг) и Китай (6125,0 кг). Однако в российских СХО значение показателя на 4 % выше, чем в среднем по ЕС, хозяйства данной категории выработали 19013,4 тыс. т молока, или 57,6 % от общего производства по РФ [19]. При одинаковом повышении молочной продуктивности на 29,6 % в хозяйствах всех типов значения показателя составят: в СХО – 9642 кг, в КФХ и у ИП – 5170 кг, в ЛПХ – 4629 кг. Достижение такого результата крайне маловероятно.

Основное направление повышения молочной продуктивности – увеличение племенного поголовья: среднее значение показателя для племенных коров в РФ равно 8301 кг, это на 60 % больше, чем в целом по молочному стаду. По данным Минсельхоза РФ, в стране содержатся 1115 племенных стад, насчитывающих 1046,2 тыс. коров 23 пород. Наиболее распространены породы: голштинская (надой – 9526 кг, содержание жира – 3,89 %, белка – 3,30 %) и чернопестрая (надой – 7299 кг, жир – 3,90 %, белок – 3,20 %). В последние десять лет пополнение племенных молочных стад осуществляется в основном за счет высокопродуктивной голштинской породы – 94 % заку-

паемого по импорту молодняка относится именно к ней. Как следствие, с 2015 г. доля породы выросла с 12 до 54 % при одновременном снижении доли чернопестрой породы с 56 до 25 %, а средняя молочная продуктивность по племенному стаду выросла в 1,38 раза (в 2015 г. она была равна 5990 кг). Доля племенных молочных коров в СХО составляет 30,9 % [19], что в натуральном выражении равняется 997,3 тыс. голов. Таким образом, 95 % племенного поголовья содержится в СХО и лишь 5 % – в КФХ (в ЛПХ и у ИП численность племенных животных крайне мала). Доля племенных коров в структуре молочного стада КФХ незначительна – 3,3 % (48,9 тыс. голов из общего поголовья в 1464,9 тыс. голов). Достижение целевого показателя по продуктивности в СХО (9642 кг) возможно при замене всего поголовья племенными коровами, причем исключительно голштинской породы, обеспечивающей надой 9526 кг (разница в 1,2 % незначительна). Несложный арифметический расчет показывает, что выход на целевые показатели продуктивности в КФХ и у ИП обеспечивается при доле племенного поголовья (продуктивность – 8301 кг), равной 28 %. В личных подсобных хозяйствах соответствующая доля должна достигать 23 %. С учетом текущей численности коров в хозяйствах различных типов поголовье племенных животных предполагает: в СХО – 3227,4 тыс. голов, в КФХ и у ИП – 817,8 тыс. голов, в ЛПХ – 699,8 тыс. голов, всего 4745,0 тыс. голов. В настоящее время общее поголовье племенных молочных коров насчитывает 1042,6 тыс. голов. Возможности его увеличения значительно ограничиваются недостаточным числом бычков-производителей [19], в этих условиях рост поголовья в 4,5 раза маловероятен даже в среднесрочной перспективе.

Наращивание производства молока за счет увеличения поголовья скота при сохранении существующей пропорции племенных и неплеменных коров в том числе сопряжено с определенными проблемами. В последние десятилетия появилась устойчивая тенденция, которая характеризуется снижением поголовья как крупного рогатого скота (КРС), так и коров [17] (табл. 4).

С 2000 по 2022 г. общее поголовье КРС в РФ сократилось на 36 %, а коров – на 39 % (строка 1). Тем не менее доля коров в поголовье КРС уменьшилась незначительно и оставалась на протяжении 2005–2022 гг. на уровне 44 % (в 2000 г. – 46 %) (строка 10). В СХО и ЛПХ снижение поголовья коров шло постоянно, при этом темпы падения в СХО снижались, а в ЛПХ – сохраняли относительную стабильность, в обоих типах хозяйств поголовье коров за 23 года уменьшилось на 49–50 % (строки 4, 6). Увеличение поголовья отмечается только в КФХ и у ИП, однако рост в 5,66 раза обусловлен не бурным развитием молочного фермерства, а очень малым начальным значением показателя (259 тыс. голов, строка 15). Высокие темпы роста (10 % и более в год) сохраня-

Таблица 4. Изменения поголовья коров в 2000–2022 гг.*

Table 4. Dairy cattle in 2000–2022*

№	Показатель	2000	2005	2010	2015	2020	2022	2022/2000, отн. ед.
1	КРС в хозяйствах всех категорий, тыс. голов	27520	21625 (–4,3)	19968 (–1,5)	18621 (–1,3)	18027 (–0,6)	17489 (–1,5)	0,64
2	Коров в хозяйствах всех категорий, тыс. голов	12743	9522 (–5,1)	8844 (–1,4)	8115 (–1,6)	7898 (–0,5)	7735 (–1,0)	0,61
3	КРС в СХО, тыс. голов	16509	11064 (–6,6)	9256 (–3,3)	8448 (–1,7)	8124 (–0,8)	7960 (–1,0)	0,48
4	Коров в СХО, тыс. голов	6487	4283 (–6,8)	3713 (–2,7)	3387 (–1,8)	3271 (–0,7)	3227 (–0,7)	0,50
5	КРС в ЛПХ населения, тыс. голов	10468	9629 (–1,6)	9236 (–0,8)	7932 (–2,8)	7080 (–2,1)	6609 (–3,3)	0,63
6	Коров в ЛПХ населения, тыс. голов	5997	4827 (–3,9)	4412 (–1,7)	3622 (–3,6)	3228 (–2,2)	3042 (–2,9)	0,51
7	КРС в КФХ и у ИП, тыс. голов	543	932 (14,3)	1476 (11,7)	2241 (10,4)	2823 (5,2)	2920 (1,7)	5,38 (–)
8	Коров в КФХ и у ИП, тыс. голов	259	412 (11,8)	719 (14,9)	1106 (10,8)	1399 (5,3)	1466 (2,4)	5,66
9	Молочная продуктивность коров в хозяйствах всех категорий, кг	2502	3176 (5,4)	3776 (3,8)	4134 (1,9)	4839 (3,4)	5194 (3,7)	2,08
10	Доля коров в поголовье КРС в хозяйствах всех категорий, %	46	44	44	44	44	44	0,96

Примечание: КРС – крупный рогатый скот; СХО – сельскохозяйственные организации; КФХ – крестьянские фермерские хозяйства; ИП – индивидуальные предприниматели; ЛПХ – личные подсобные хозяйства. В скобках – среднегодовой прирост, %.

*Составлено авторами на основании данных источника [17].

Note: KPC – cattle; СХО – agricultural organizations; КФХ – private farms; ИП – individual entrepreneurs; ЛПХ – small private subsidiary farms. The average annual growth is given in brackets, %.

*The table was compiled by the authors based on [17].

лись лишь до 2015 г., далее последовало значительное замедление – до 2,4 % в 2020–2022 гг.

В настоящее время существуют риски ухода в отрицательную динамику показателя. Основной причиной снижения поголовья коров эксперты считают несоответствие закупочных цен на молоко и затрат на его производство. Так, себестоимость производства молока в 2023 г. по отношению к 2022 г. возросла на 15,6 % (при уровне инфляции 7,42 %), а по отношению к 2017 г. – на 75,6 % (в среднем на 12,6 % в год). Тем не менее закупочные цены на молоко практически не растут, наоборот, в 2023 г. они существенно снизились с 25–30 руб. в начале года до 22 руб. (Ростовская область), 19 руб. (Алтайский край), 16–18 руб. (Чувашия) в конце года. Минимум закупочных цен отмечен в Чувашии – субъекте РФ, производящем молоко высочайшего качества [13]. В этих условиях владельцы коров вынуждены сокращать поголовье. Подробно этот вопрос в рамках настоящей работы рассматривать не представлялось возможным, однако следует заметить, что создание возможностей переработки молока (в том числе и на сыр, рентабельность производства которого в РФ составляет около

31 %) в непосредственной близости к производителю способствовало бы не только сохранению, но и увеличению поголовья КРС.

В случае пропорционального увеличения поголовья (на 29,6 %) во всех видах хозяйств общая численность коров достигнет значения 10024 тыс. голов, что соответствует ситуации до 2005 г. (табл. 4, строка 2), такой сценарий малореалистичен. Представляется целесообразным сконцентрировать усилия на увеличении поголовья коров в СХО, имеющих наивысшие показатели молочной продуктивности. Расчеты говорят, что целевой показатель валового производства молока (42763,5 тыс. т) достигается при увеличении числа коров в СХО в 1,5 раза, т. е. до 4841,1 тыс. голов, общее поголовье при этом составит 9393,5 тыс. голов, что на 20,9 % выше текущего значения. Если решать проблему за счет КФХ (по которым сохраняется положительная динамика поголовья), то кратность увеличения должна быть больше в 3 раза – до 4401,0 тыс. голов в КФХ или же 10670,7 тыс. голов по всем типам хозяйств, т. е. на 37,9 % в целом. Все вычисления выполнены для молочного стада оптимальной по продуктивности структуры, в котором 83 %

коров – дойные [15], результаты расчетов наглядно иллюстрирует таблица 5.

Наиболее предпочтительным путем решения «молочной проблемы» представляется наращивание поголовья коров в СХО – при этом улучшаются общие показатели молочной продуктивности (+291 кг) и доли

племенных животных (+3,1 %), а увеличение общего поголовья составит 1613,6 тыс. голов (строка 4.5). Если делать ставку на увеличение поголовья в КФХ (рассчитывая на сохранение положительной динамики показателя), то при существенно большем приросте общего поголовья (2936,0 тыс. голов) показатели

Таблица 5. Сценарии обеспечения устойчивой сырьевой базы сыроделия*

Table 5. Scenarios of sustainable raw material base for cheese production*

№	Типы хозяйств	Коров		Надой		ВП молока		Племенных коров	
		тыс. голов	доля от целого, %	кг	отношение к общему, отн. ед.	тыс. т	доля от целого, %	тыс. голов	доля от целого, %
1	Существующее положение на 31.12.2022								
1.1	СХО	3227,4	41,7	7440	1,43	19013	57,6	997,3	30,9
1.2	КФХ	1464,9	18,9	3989	0,77	4792	14,5	48,9	3,3
1.3	ЛПХ	3042,3	39,3	3572	0,69	9179	27,8	0,0	0,0
1.4	Итого	7734,7	100,0	5194	1,00	32984	100,0	1046,2	13,5
2	Пропорциональное повышение молочной производительности во всех типах хозяйств								
2.1	СХО	3227,4	41,7	9642	1,43	24651	57,6	3227,4	100,0
2.2	КФХ	1464,9	18,9	5170	0,77	6221	14,5	451,2	30,8
2.3	ЛПХ	3042,3	39,3	4629	0,69	11891	27,8	678,4	22,3
2.4	Итого	7734,7	100,0	6731	1,00	42763	100,0	4357,0	56,3
2.5	Разница с 2022 г.	0,0	–	+1537	–	+9779	–	+3310,8	+42,8
3	Пропорциональное приращение поголовья во всех типах хозяйств								
3.1	СХО	4182,7	41,7	7440	1,43	24651	57,6	1292,5	30,9
3.2	КФХ	1898,5	18,9	3989	0,77	6221	14,5	63,4	3,3
3.3	ЛПХ	3942,8	39,3	3572	0,69	11891	27,8	0,0	0,0
3.4	Итого	10024,0	100,0	5194	1,00	42763	100,0	1355,9	13,5
3.5	Разница с 2022 г.	+2289,3	–	0,0	–	+9779	–	+309,7	0,0
4	Прогноз с учетом приращения поголовья исключительно в СХО								
4.1	СХО	4886,3	52,0	7440	1,36	28792	67,3	1510,2	30,9
4.2	КФХ	1464,9	15,6	3989	0,73	4792	11,2	48,9	3,3
4.3	ЛПХ	3042,3	32,4	3572	0,65	9179	21,5	0,0	0,0
4.4	Итого	9393,5	100,0	5485	1,00	42763	100,0	1559,1	16,6
4.5	Разница с 2022 г.	+1658,8	–	+291	–	+9779	–	+512,9	+3,1
5	Прогноз с учетом приращения поголовья исключительно в КФХ								
5.1	СХО	3227,4	30,2	7440	1,54	19013	44,5	1510,2	30,9
5.2	КФХ	4401,0	41,2	3989	0,83	14571	34,1	146,9	3,3
5.3	ЛПХ	3042,3	28,5	3572	0,74	9179	21,4	0,0	0,0
5.4	Итого	10670,7	100,0	4828	1,00	42763	100,0	1144,2	10,7
5.5	Разница с 2022 г.	+2936,0	–	–366	–	+9779	–	+98,0	–2,8

Примечание: СХО – сельскохозяйственные организации; КФХ – крестьянские фермерские хозяйства; ЛПХ – личные подсобные хозяйства; ВП – валовое производство.

*Составлено авторами на основании собственных расчетов с учетом данных источника [19] и Минсельхоза РФ.

Note: СХО – agricultural organizations; КФХ – private farms; ЛПХ – small private subsidiary farms; ВП – gross production.

*The table was compiled by the authors based on their own calculations and the data published in [19] and by the Ministry of Agriculture of the Russian Federation.

продуктивности и доли племенных животных понизятся на 366 кг и 2,8 % соответственно (строка 5.5). Фундаментом обеспечения населения РФ сыром российского производства является создание устойчивой сырьевой базы, для этого требуется увеличить валовое производство молока по стране в целом на 9779,0 тыс. т. Необходимый минимум коров для получения такого количества молока – 1025,6 тыс. голов дойных племенных животных голштинской породы. Размер стада, обеспечивающий максимум продуктивности, будет равен 1235,7 тыс. голов, что составляет 16 % от имеющегося общего поголовья и 118 % – от племенного. Таким образом, без увеличения поголовья коров на 1,2–1,6 млн голов любые проекты по решению «сырной проблемы» будут иметь иллюзорный характер.

Однако увеличение поголовья коров и валового производства молока не гарантирует выхода объемов производства сыра на уровень целевых показателей. Во-первых, около 90 % ферментов, необходимых при производстве сыра, РФ закупает за рубежом, в случае ужесточения санкций реален риск возникновения дефицита этого незаменимого компонента [16]. В рамках реализации политики импортозамещения научными сотрудниками Алтайского государственного университета совместно с коллегами из Новосибирска и Уфы разработана технология производства рекомбинантного химозина. Имеется успешный опыт его применения при выработке сыра [20], однако промышленное применение разработки пока остается в перспективе. Во-вторых, для выработки сыра, помимо сырьевого обеспечения, необходимо наличие соответствующей производственной инфраструктуры. Если в сыропроизводящих субъектах федерации наличествуют оба фактора, то следствием этого должна быть тесная связь между объемами производства молока и сыра. Индикатором тесноты связи выступает коэффициент корреляции. Значения показателя по 38 субъектам РФ составляют для валового производства молока и сыра 0,23, для душевого – 0,17, что соответствует слабой связи. Для 20 ключевых субъектов соответствующие значения равны 0,04 и –0,04, что означает практически полное отсутствие связи. Причина может заключаться в том, что молоко в больших объемах производят субъекты РФ с высокой долей сельского населения и значительным поголовьем коров, а сыр вырабатывается преимущественно в урбанизированных субъектах федерации с развитыми обрабатывающими производствами, в том числе пищевыми. При этом в аграрных субъектах недостаточно развита производственная инфраструктура, а в урбанизированных – слабая собственная сырьевая база.

Так, в Московской области объем переработки молока на сыр и сырные продукты более чем в 1,5 раза превышает собственное валовое производство молока (табл. 1, строка 1). Аналогичная картина наблюдается даже в отдельных субъектах РФ с хорошо развитым аграрным сектором (Брянская область, Адыгея –

табл. 1, строки 3, 10). То есть дефицит сырья может иметь место даже в аграрно ориентированных субъектах федерации, что еще раз подтверждает необходимость увеличения поголовья дойного стада. При этом целесообразным представляется создание условий для развития сыроделия в субъектах РФ, производящих молоко в значительных количествах, например путем выдачи льготных кредитов для КФХ на приобретение оборудования для сыроварен. Подобные инициативы реализуются в субъектах РФ: Правительство Республики Чувашия курирует 15 инвестиционных проектов, которые направлены на развитие сыроделия. В 2024 г. фермеры могли участвовать в конкурсе на получение грантов размером до 10 млн руб. на закупку оборудования для организации собственной сыроварни – из республиканского бюджета на эти цели выделено 150 млн руб. [21]. Развитие производства сыра в КФХ создаст предпосылки не только для расширения собственной сырьевой базы, но также для закупок излишков молока в ЛПХ, их владельцы на фоне стабильного спроса будут заинтересованы как минимум в сохранении поголовья коров, а возможно – и в увеличении. Таким образом, проблему обеспечения населения РФ сыром нужно решать комплексно, но важнейшей составляющей успеха должно оставаться создание устойчивой сырьевой базы.

Выводы

Потребление сыра населением РФ близко к рациональной норме, однако собственное производство обеспечивает лишь около 60 % потребности, недостаток компенсируется импортными поставками. Как следствие, самообеспеченность данным видом продукции составляет лишь 67 %. В этих условиях увеличение производства сыра приобретает особую актуальность. Ключевую роль в обеспечении населения РФ сыром играют 20 субъектов федерации, их доля в общероссийском валовом производстве достигает 78,4 %. Серьезные затруднения для увеличения производства сыра создает слабость сырьевой базы, являющаяся следствием устойчивого снижения поголовья коров на протяжении последних двух десятилетий. Результаты расчетов показывают, что увеличение молочного стада как минимум на 1,2–1,6 млн голов необходимо для обеспечения сырьевых потребностей сыроделия. Данную меру целесообразно реализовывать преимущественно в СХО, имеющих более высокие показатели молочной продуктивности коров. Сопутствующей проблемой является недостаточное развитие производственной инфраструктуры в ряде субъектов федерации, успешно производящих молоко. Одним из путей решения проблемы может стать стимулирование процессов открытия сыроварен в КФХ как механизм создания устойчивого спроса на молоко на местном уровне. При этом формируются предпосылки к сохранению (в перспективе – и к увеличению) поголовья молочных коров не только в КФХ, но и в ЛПХ.

Критерии авторства

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Contribution

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

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

Список литературы / References

1. Plante AM, McCarthy AL, O'Halloran F. Cheese as a functional food for older adults: Comparing the bioactive properties of different cheese matrices following simulated gastrointestinal *in vitro* digestion. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2021;72(4):456–469. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1825644>
2. Панасенко С. В., Сурай Н. М., Таточенко А. Л., Родинова Н. П., Остроухов В. М. Устойчивая сырьевая база как фактор конкурентоспособности предприятий сыроделия. *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52. № 4. С. 706–717. [Panasenko SV, Suray NM, Tatochenko AL, Rodinova NP, Ostroukhov VM. Sustainable raw material base as a factor of competitiveness of cheese-making enterprises. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(4):706–717. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2400>
3. Мордвинова В. А. Возможные пути снижения себестоимости продуктов сыроделия. *Сыроделие и маслоделие*. 2022. № 4. С. 22–23. [Mordvinova VA. Possible ways to reduce the cost of cheesemaking products. *Cheesemaking and Buttermaking*. 2022;(4):22–23. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31515/2073-4018-2022-4-22-23>
4. Kamath R, Basak S, Gokhale J. Recent trends in the development of healthy and functional cheese analogues—A review. *LWT – Food Science and Technology*. 2022;155:112991. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112991>
5. Левкин А. Сырные перспективы. Производство сыров может перевалить за 1 млн т к 2030 году. *Агроинвестор*. 2023. № 6. [Levkin A. Cheese prospects. Cheese production may exceed 1 million tons by 2030. *Agroinvestor*. 2023;(6). [cited 2024 Mar 27] (In Russ.)] Available from: <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/40410-syrnye-perspektivy-proizvodstvo-syrov-mozhet-perevalit-za-1-mln-t-k-2030-godu/>
6. Просеков А. Ю. Россия на мировом рынке сыров: перспективы развития. *Сыроделие и маслоделие*. 2018. № 6. С. 4–6. [Prosekov AYU. Russia on the world cheese market: prospects of development. *Cheesemaking and Buttermaking*. 2018;(6):4–6. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YZKXZJ>
7. Казанцева Е. Г., Лямкин И. И. Влияние производственно-сбытовых цепочек на продовольственную безопасность. *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52. № 2. С. 282–295. [Kazantseva EG, Lyamkin II. The impact of value chains on food security. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(2):282–295. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2363>
8. Yormirzoev M, Teuber R, Li T. Food quality vs food patriotism: Russian consumers' preferences for cheese after the food import ban. *British Food Journal*. 2019;121(2):371–385. <https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2018-0088>
9. Сурай Н. М., Таточенко А. Л., Терехова А. А., Михалев А. П., Корнева Г. В. Регионы-лидеры сыроделия: создание собственных сырных брендов и их трансформация в бренды территорий. *Сыроделие и маслоделие*. 2024. № 1. С. 10–25. [Suray NM, Tatochenko AL, Terekhova AA, Mikhalev AP, Korneva GV. Cheese-making regions: From local cheese varieties to regional brands. *Cheesemaking and Buttermaking*. 2024;(1):10–25. (In Russ.)] <https://www.doi.org/10.21603/2073-4018-2024-1-2>
10. Kavas N. Yogurt-like product from lupine (*Lupinus albus* L.) milk as an alternative to dairy products. *Foods and Raw Materials*. 2022;10(2):377–385. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-546>
11. Ларионов Г. А., Ефимов А. В., Жуков А. А. Определение сыропригодности молока коров для производства сыра «сулугуни». *Вестник КрасГАУ*. 2022. № 1. С. 189–196. [Larionov GA, Efimov AV, Zhukov AA. Determining cow's milk raw suitability for the Suluguni cheese production. *Bulliten KrasSAU*. 2022;(1):189–196. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36718/1819-40362022-1-189-196>
12. Karimi E, Yari M, Ghaneialvar H, Kazemi HR, Asadzadeh R, et al. Effects of dust phenomenon on heavy metals in raw milk in western Iran. *Foods and Raw Materials*. 2020;8(2):241–249. <http://doi.org/10.21603/2308-4057-2020-2-241-249>
13. Сурай Н. М., Таточенко А. Л., Красильникова Е. А., Теплая Н. А., Михалев А. П. и др. Основные факторы успеха молочного производства в Чувашской Республике. *Техника и технология пищевых производств*. 2023. Т. 53. № 4. С. 718–730. [Suray NM, Tatochenko AL, Krasil'nikova EA, Teplaia NA, Mikhalev AP, et al. Dairy production in the Chuvash Republic: Success factor analysis. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(4):718–730. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2473>
14. Горелик А. С., Ребезов М. Б., Горелик О. В. Технологические параметры выработки мягкого сыра в зависимости от линейного происхождения коров. *Аграрная наука*. 2023. № 9. С. 64–68. [Gorelik AS, Rebezov MB, Gorelik OV.

Technological parameters for the production of soft cheese depending on the linear origin of cows. *Agrarian science*. 2023;(9): 64–68. (In Russ.)] <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-64-68>

15. Стрекозов Н. И., Конопелько Е. И. Оптимальная структура высокопродуктивного стада молочного скота и интенсивность выращивания тёлочек. *Достижения науки и техники АПК*. 2013. № 3. С. 5–6. [Strekozov NI, Konopelko EI. Optimal structure of high producing dairy herd and intensity of heifer rearing. *Achievements of Science and Technology in Agro-industrial Complex*. 2013;(3):5–6. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PXWWPR>

16. Мусина О. Н., Гришкова А. В., Просеков А. Ю. К вопросу о самообеспеченности страны молокосвертывающими ферментами. *Молочная промышленность*. 2024. № 1. С. 24–27. [Musina ON, Grishkova AV, Prosekov AYU. Domestic self-sufficiency in milk-converting enzymes. *Dairy industry*. 2024;(1):24–27. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2024-1-10>

17. Васильев И. В., Алимова Н. А., Киселев С. В., Клевакина М. П., Обычайко Е. Э. и др. *Сельское хозяйство в России*. 2023: Стат. сб. М.: Росстат; 2023. 103 с. [Vasiliev IV, Alimova NA, Kiselev SV, Klevakina MP, Obychayko EE, *et al.* *Agriculture in Russia 2023: Statistics*. Moscow: Rosstat; 2023. 103 p. (In Russ.)]

18. Егоренко С. Н., Гарин В. В., Гохберг Л. М., Зарова Е. В., Иванов Ю. Н. и др. *Россия и страны мира*. 2023: Стат. сб. М.: Росстат; 2023. 393 с. [Egorenko SN, Garin VV, Gokhberg LM, Zarova EV, Ivanov YuN, *et al.* *Russia and countries of the world 2023: Statistics*. Moscow: Rosstat; 2023. 393 p. (In Russ.)]

19. Шичкин Г. И., Дунин И. М., Тяпугин Е. Е., Герасимова Е. В., Мышкина М. С. и др. *Ежегодник по племенной работе в молочном скотоводстве в хозяйствах Российской Федерации*. М.: ФГБНУ ВНИИплем; 2023. 254 с. [Shishkin GI, Dunin IM, Tyapugin EE, Gerasimova EV, Myshkina MS, *et al.* *Yearbook of breeding in Russia's dairy cattle farms*. Moscow: All-Russian Research Institute of Cattle Breeding; 2023. 254 p. (In Russ.)]

20. Белов А. Н., Коваль А. Д., Пушкарев В. А., Миронова А. В., Щербаков Д. Н. и др. Первый опыт применения отечественного рекомбинантного химозина при выработке сыра с низкой температурой второго нагревания. *Сыроделие и маслоделие*. 2022. № 3. С. 28–32. [Belov AN, Koval AD, Pushkarev VA, Mironova AV, Shcherbakov DN, *et al.* The first experience of using domestic recombinant chymosin in the production of cheese with a low temperature of the second heating. *Cheesemaking and Buttermaking*. 2022;(3):28–32. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/AZIFXG>

21. Орлов В. В., Фисунов С. А., Удовик Е. Э., Корнева Г. В. Анализ современного состояния хозяйственного комплекса субъекта федерации в аспекте реализации процессов реиндустриализации (на примере Республики Чувашия). *Экономика и управление: проблемы, решения*. 2024. Т. 2. № 3. С. 96–110. [Orlov VV, Fisunov SA, Udovik EE, Korneva GV. Analysis of the current state of the economic complex of a federal subject in the aspect of implementation of reindustrialization processes (based on the example of the Republic of Chuvashia). 2024;2(3):96–110. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.03.02.011>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2572>
<https://elibrary.ru/VQVRVZG>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние состава гречишно-кукурузного сусла на динамику генерации дрожжей и синтез этанола



Е. М. Серба^{*ID}, Л. В. Римарева^{ID}, Е. Р. Крючкова^{ID},
М. Б. Оверченко^{ID}, Н. И. Игнатова^{ID}, Н. В. Матросова^{ID}

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии^{ROR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 24.07.2024
Принята после рецензирования: 02.09.2024
Принята к публикации: 01.04.2025

*Е. М. Серба: serbae@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>
Л. В. Римарева: <https://orcid.org/0000-0003-3097-0836>
Е. Р. Крючкова: <https://orcid.org/0000-0001-8012-0907>
М. Б. Оверченко: <https://orcid.org/0000-0003-0191-5897>
Н. И. Игнатова: <https://orcid.org/0000-0002-8416-7478>
Н. В. Матросова: <https://orcid.org/0000-0002-6320-4567>

© Е. М. Серба, Л. В. Римарева, Е. Р. Крючкова, М. Б. Оверченко,
Н. И. Игнатова, Н. В. Матросова, 2025



Аннотация.

В последнее время отмечается повышенный интерес к использованию гречихи как нетрадиционного сырья в производстве продуктов брожения с оригинальными органолептическими свойствами. Однако возможность применения гречихи в технологиях спиртных дистиллятов практически не исследована, не подобраны условия переработки данной культуры в смеси с традиционным зерновым сырьем. Цель работы – изучить влияние состава гречишно-кукурузного сусла на динамику процессов генерации дрожжей, потребления углеводов и азотистых веществ, а также на синтез этанола и образование побочных продуктов брожения.

Объекты исследования – зерно гречихи, кукурузы и пшеницы; ферментные препараты; дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы 985-Т. В ходе исследования применены биотехнологические и аналитические методы приготовления и сбраживания зерно-гречишного сусла, контроля процессов синтеза этанола и побочных метаболитов.

Определен состав зерно-гречишного сусла в зависимости от различных количеств гречихи. Обосновано преимущество использования гречихи в сочетании с кукурузой. Добавление гречихи в сусло на начальном этапе брожения способствовало увеличению роста дрожжей в 1,5 раза и синтезу этанола в 1,4 раза. При этом через 42 ч брожения концентрация этанола и выход спирта в гречишно-кукурузной и кукурузной бражках практически сравнялись. При исследовании динамики синтеза летучих метаболитов установлено, что их состав и количество зависели от стадии брожения и содержания гречихи в сусле: на 20 ч максимальное образование метаболитов (309,6 мг/дм³) наблюдалось в гречишной бражке, на 70 ч максимальная концентрация (506,4 мг/дм³) – в кукурузной. Гречишная и гречишно-кукурузная бражки характеризовались более низким содержанием высших спиртов и высоким – сложных эфиров, что может повлиять на возникновение оригинальных оттенков в аромате и вкусе спиртных напитков, по сравнению с традиционными зерновыми дистиллятами.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности направленного регулирования состава и концентрации компонентов зернового сусла, способствующих формированию физико-химических и органолептических характеристик спиртных напитков.

Ключевые слова. Гречиха, кукуруза, дрожжи, брожение, нетрадиционное сырье, зерновые дистилляты, метаболиты

Финансирование. Работа проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания № FGMP-2025-0012.

Для цитирования: Серба Е. М., Римарева Л. В., Крючкова Е. Р., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И. и др. Влияние состава гречишно-кукурузного сусла на динамику генерации дрожжей и синтез этанола. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 244–256. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2572>

Effect of Buckwheat-Corn Wort Mix on Yeast Generation and Ethanol Synthesis

Elena M. Serba^{*}, Lyubov V. Rimareva^{},
Elizaveta R. Kryuchkova^{}, Marina B. Overchenko^{},
Nadezhda I. Ignatova^{}, Natalia V. Matrosova^{}



All-Russian Research Institute of Food Biotechnology^{}, Moscow, Russia

Received: 24.07.2024
Revised: 02.09.2024
Accepted: 01.04.2025

^{*}Elena M. Serba: serbae@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>
Lyubov V. Rimareva: <https://orcid.org/0000-0003-3097-0836>
Elizaveta R. Kryuchkova: <https://orcid.org/0000-0001-8012-0907>
Marina B. Overchenko: <https://orcid.org/0000-0003-0191-5897>
Nadezhda I. Ignatova: <https://orcid.org/0000-0002-8416-7478>
Natalia V. Matrosova: <https://orcid.org/0000-0002-6320-4567>

© E.M. Serba, L.V. Rimareva, E.R. Kryuchkova, M.B. Overchenko,
N.I. Ignatova, N.V. Matrosova, 2025



Abstract.

Buckwheat and its mixes with grain have good prospects as an alternative raw material for fermented beverages with unconventional sensory properties. However, the use of buckwheat in alcoholic distillates remains understudied. The article describes the effect of different compositions of buckwheat-corn wort mixes on yeast generation, carbohydrate and nitrogen consumption, ethanol synthesis, and fermentation by-products.

The research featured buckwheat, corn, wheat grain, enzyme preparations, and yeast *Saccharomyces cerevisiae* 985-T. A set of standard biotechnological and analytical methods was used to prepare the grain-buckwheat wort and control the ethanol synthesis processes and side metabolites.

The grain-buckwheat wort samples had different shares of buckwheat. Adding buckwheat to the wort early during fermentation catalyzed the yeast growth by 1.5 times and ethanol synthesis by 1.4 times. However, the ethanol concentration and alcohol yield in the buckwheat-corn and corn mashes were almost equal after 42 h of fermentation. As for volatile metabolites, their composition and quantity depended on the fermentation stage and the buckwheat content in the wort. The maximum metabolites (309.6 mg/dm³) in the buckwheat mash occurred after 20 h of fermentation; the maximum metabolites (506.4 mg/dm³) in the corn mash developed after 70 h of fermentation. The buckwheat and buckwheat-corn mashes had a low content of higher alcohols and a high content of esters, which can affect the olfactive profile and taste of traditional alcoholic beverages.

In this research, the targeted composition and concentration of grain wort components made it possible to obtain alcoholic beverages with alternative physicochemical and sensory profiles.

Keywords. Buckwheat, corn, yeast, fermentation, non-traditional raw materials, grain distillates, metabolites

Funding. The research was part of State Assignment No. FGMP-2025-0012.

For citation: Serba EM, Rimareva LV, Kryuchkova ER, Overchenko MB, Ignatova NI, *et al.* Effect of Buckwheat-Corn Wort Mix on Yeast Generation and Ethanol Synthesis. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):244–256. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2572>

Введение

В последнее время проводятся активные исследования в области изучения растительных ресурсов России с целью подбора перспективных видов зерновых культур, обладающих биотехнологическим потенциалом для использования в бродильных производствах [1–3]. Современная литература в основном сконцентрирована на выявлении вероятных направлений применения нетрадиционного растительного

сырья при получении специальных солодов и пива с функциональными свойствами [4–6], слабоалкогольных и пробиотических напитков [7–9], кваса [10, 11]. Физико-химические и органолептические характеристики напитков на основе злаков зависят от вида и состава технологически важных полимеров зерна, степени их биотрансформации в процессе приготовления сула и физиологических особенностей штамма дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, участвующих в бро-

жении [12–14]. В настоящее время это направление имеет особое значение для расширения ассортимента крепких спиртных напитков, пользующихся высоким спросом у потребителей [15–17]. Внедрение нетрадиционных зерновых культур и биотехнологических способов их переработки с дальнейшей дистилляцией или брагоректификацией с селективным отбором примесей позволит получить зерновые дистилляты заданного состава с новыми вкусовыми и органолептическими характеристиками [18, 19]. Разработка конкурентоспособной алкогольной продукции из российского сырья послужит инструментом для эффективного импортозамещения.

Гречиха (*Fagopyrum esculentum* Moench) может быть источником технологически значимых компонентов (крахмала, белка и некрахмальных полисахаридов) в производстве продуктов брожения [20–22]. По содержанию крахмала гречиха сопоставима с широко распространенными в спиртовом производстве пшеницей и рожью, но уступает кукурузе [22]. Особенно высоко содержание в гречихе белка, по сравнению с белками злаковых культур, является высокое содержание альбуминовых и глобулиновых фракций. Они хорошо поддаются ферментативному гидролизу с образованием в сусле повышенного количества аминного азота [23, 24]. Белки гречишной культуры обладают более высокой биологической ценностью, в них присутствуют все незаменимые аминокислоты, по содержанию триптофана, изолейцина, лизина, метионина и цистеина они превосходят количество белка в пшенице и ржи [21, 22]. Особенно важным компонентом в ее составе являются полифенолы, которые способны повлиять на вкус и аромат готовой продукции, что определяет перспективность применения данной культуры в технологиях оригинальных спиртных напитков [24–26].

Ранее проведенные исследования подтверждают целесообразность использования гречихи в качестве сырья в технологиях функциональных [24, 27, 28] и обогащенных [25, 29, 30] продуктов, а также ферментированного солода, безглютенового кваса и пива [31–33]. Продукция, полученная на основе данной культуры, содержала комплекс биологически активных веществ и отличалась приятными сенсорными характеристиками и новыми функциональными свойствами [29, 34, 35]. Гречиха, выступая в роли нетрадиционного субстрата, оказывает стимулирующее воздействие на процессы генерации дрожжей *S. cerevisiae* и пробиотических микроорганизмов в бродильных производствах [24, 36, 37]. Брожение гречишного сусла дрожжами приводило к изменению состава и снижению общего количества вторичных метаболитов, сопутствующих синтезу этанола. Это может обусловить формирование уникальных ароматических и вкусовых характеристик, отличающих напитки на основе гречихи от традиционных зерновых дистиллятов [24, 38]. Высокое содержание клетчатки и гемицеллюлозы

в составе культуры снижает ее технологический потенциал как альтернативного сырья в спиртовом производстве, т. к. повышенная вязкость гречишного сусла не позволяет достичь нормативных показателей выхода спирта [22, 24, 38].

Для приготовления зернового сусла рационально использовать гречиху совместно с широко применяемыми зерновыми культурами, которые отличаются более высоким содержанием крахмала и низким – гемицеллюлоз, например с пшеницей или кукурузой [24]. Несмотря на наличие в гречихе, помимо углеводов и белков, ароматических и биологически ценных компонентов, исследования, обосновывающие возможность ее использования для производства оригинальных спиртных напитков, проводились в недостаточном объеме. Оптимальные условия и технологические параметры для приготовления сусла из гречихи в смеси с традиционным зерновым сырьем практически не подобраны и не подтверждены экспериментальным путем. Недостаточно изучены процессы биотрансформации полимеров сырья на различных стадиях производства (замес → сусло → бражка), а также динамика сбраживания и образования этанола. Это ограничивает возможности по регулированию состава и концентрации летучих компонентов, определяющих физико-химические и органолептические характеристики конечного продукта.

Цель работы – изучить влияние состава гречишно-кукурузного сусла на динамику процессов генерации дрожжей, потребления углеводов и азотистых веществ, а также на синтез этанола и образование побочных продуктов брожения.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили:

- зерно гречихи, кукурузы и пшеницы, измельченное до размера частиц 40–120 мкм при помощи мультифункциональной дробилки Вилитек VLM-6 (ООО «Вилитек», Россия);
- ферментные препараты: источники термостабильной α -амилазы – Неозим AA 180 (Hunan Hong Ying Xiang Biochemistry Industry Co., LTD, КНР), глюкоамилазы – Биозим 800L (Shandong Longda Bio-products Co., КНР), ксиланазы и β -глюканызы – Висколаза 150L (Shandong Longda Bio-products Co., LTD, КНР) и протеаз – ФПКП (ВНИИПБТ, РФ);
- дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* расы 985-Т (с термотолерантными и осмофильными свойствами) для сбраживания зернового сусла [24, 38, 39].

В соответствии с результатами ранее проведенных исследований [24, 38], для приготовления кукурузного, пшеничного и гречишного сусла применялись ферментные препараты (ФП) амилолитического, ксиланазного, β -глюканызного и протеолитического действия (табл. 1).

Согласно существующим стандартизированным методикам [38, 40], проводили определение амилолити-

Таблица 1. Характеристика ферментных препаратов по уровню активности основных ферментов

Table 1. Enzyme preparations by activity of the main enzymes

Наименование	Основные ферменты	Активность, ед./см ³
Неозим АА 180	Термостабильная α -амилаза (АС)	1790,0 $\pm$ 81,5
Биозим 800L	Глюкоамилаза (ГлС)	13100,0 $\pm$ 610,0
Висколаза 150L	Ксиланаза (КС) β -глюканаза (β -ГКС)	5900,0 $\pm$ 231,0 1025,0 $\pm$ 50,5
ФПКП	Протеазы (ПС)	670,0 $\pm$ 30,5

Примечание: Значения представлены в виде средних $\pm$ стандартное отклонение.

Note: The values are given as mean $\pm$ standard deviation.

Таблица 2. Дозировка ферментных препаратов по уровню активности основных ферментов

Table 2. Shares of enzyme preparations by activity

Наименование	Дозировка
Неозим АА 180	0,6 ед. АС/г крахмала
Биозим 800L	10,0 ед. ГлС/г крахмала
Висколаза 150L	0,6 ед. КС/г сырья 0,1 ед. β -ГКС/г сырья
ФПКП	0,3 ед. ПС/г сырья

ческой, глюкоамилазной, ксиланазной, β -глюканазной и общей протеолитической активности.

За единицу амилолитической активности (АС) принимали количество фермента, катализирующее гидролиз 1 г растворимого крахмала до декстринов различной молекулярной массы в стандартных условиях – 30 °С, pH 6,0, 10 мин (ГОСТ 34440-2018).

За единицу глюкоамилазной активности (ГлС) – количество фермента, которое катализирует гидролиз крахмала при 30 °С и pH 4,7 с высвобождением за 1 мин 1 мкмоль глюкозы (ГОСТ 34440-2018).

За единицу ксиланазной активности (КС) принимали количество фермента, действующего на ксилан из березы с высвобождением 1 мкмоль восстанавливающих сахаров (в глюкозном эквиваленте), образующихся за 1 мин в стандартных условиях при 50 °С и pH 5,0 (ГОСТ Р 55302-2012).

За единицу β -глюканазной активности (β -ГКС) – количество фермента, действующего на β -глюкан из ячменя с высвобождением 1 мкмоль восстанавливающих сахаров (в глюкозном эквиваленте), образующихся за 1 мин в стандартных условиях (50 °С и pH 5,0) (ГОСТ Р 53973-2010).

За единицу общей протеолитической активности (ПС) принимали такое количество фермента, которое за 1 мин при температуре 30 °С и pH 5,3 приводит гемоглобин в не осаждаемое ТХУ состояние в количестве, соответствующем 1 мкмоль тирозина (ГОСТ 34430-2018).

Осуществлялся анализ содержания основных полимеров зернового сырья: крахмала и гемицеллюлозы – согласно инструкции [41]; белка – по ГОСТ 10846-91 на автоматической установке Turbotherm для разложения по методу Кьельдаля с дистиллятором Varo-de; клетчатки – по ГОСТ 31675-2021.

При приготовлении зернового сусла использовали схему ферментативно-гидролитической обработки зерна [24, 38, 39] на водяной бане ПЭ-4300 (Экрос, Россия) в колбах Эрленмейера объемом 750 см³, в которые помещали измельченное зерно и воду (гидро модуль 1:3). В водно-зерновую суспензию (замес) добавляли термостабильную α -амилазу и выдерживали при температуре 40–60 °С в течение 30 мин. Далее проводили приготовление замеса при 85–90 °С в течение 120 мин при периодическом перемешивании. После содержимое колб охлаждали до 58–60 °С и 60 мин инкубировали в присутствии ферментов. Для получения зернового сусла проводили осахаривание крахмала и гидролиз некрахмальных полисахаридов с использованием ферментных препаратов – источниками глюкоамилазы и гемицеллюлазы (ксиланазы и β -глюканазы); гидролиз белковых веществ – ферментным препаратом, содержащим комплекс грибных протеаз. Расход ферментных препаратов соответствовал дозировкам, представленным в таблице 2 [38].

Содержание растворимых редуцирующих (РВ) и общих углеводов (ОРВ) в зерновом сусле определяли колориметрически [41], а концентрацию аминного азота – методом йодометрического титрования [42]. Вязкость подготовленного к сбраживанию сусла измеряли на вискозиметре SV-10 (Япония). Растворимые сухие вещества (РСВ) сусла фиксировали на рефрактометре Rochet PAL-S (АТАГО, Япония). Значение pH сусла измеряли на pH-метре / ионометре (Mettler-Toledo SevenCompact™, Швейцария).

Процесс сбраживания сусла, приготовленного с использованием смеси кукурузы и гречихи в различных соотношениях, проводили в одинаковых анаэробных условиях: температура – 30 °С, продолжительность – 70 ч. Для сбраживания была подготовлена водная суспензия дрожжей *S. cerevisiae* 985-Т, которую внесли в зерновое сусло, обеспечивая концентрацию 10 млн клеток/см³ сусла.

Тестирование состава и содержания летучих метаболитов, синтезируемых дрожжами, проводили с помощью газового хроматографа серии HP Agilent 6890 (США) [43]. Концентрацию этанола в бражке определяли на анализаторе относительной плотности спирта Densimat-Alcomat 2 (Gibertini, Италия).

Статистическую обработку экспериментальных данных, полученных не менее чем в трехкратной повторности, осуществляли методом однофакторного дисперсионного анализа с апостериорным анализом по критерию Тьюки при $p < 0,05$ посредством программы Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение

Дрожжевые клетки практически не синтезируют внеклеточные ферменты, поэтому биокаталитический распад высокомолекулярных соединений питательной среды – крахмала, белков и гемицеллюлоз – происходит без их участия. Для генерации спиртовых дрожжей необходимы простые соединения: моно- и дисахариды, аминокислоты, ди- и трипептиды и др., которые, проникая в цитоплазму, распадаются на низкомолекулярные образования для участия в процессах метаболизма. Поэтому приготовление сусла осуществляли на основе подобранных ранее мультиэнзимных систем с учетом содержания белковых и полисахаридных веществ в исследуемом зерновом сырье (гречихе – нетрадиционном сырьевом источнике) и широко применяемых в спиртовом производстве (пшенице и кукурузе) (табл. 2, 3) [24, 38].

Результаты сравнительных исследований биохимического состава сусла (табл. 4) показали, что гречишное сусло отличалось более высокой концентрацией аминного азота, которая превосходила аналогичные показатели в кукурузном сусле в 1,8 раза и пшеничном – в 1,5 раза. Кукурузное сусло отличалось высоким содержанием растворимых редуцирующих и общих углеводов. Оно обладало хорошими реологическими свойствами: динамическая вязкость была в 2,9 раза ниже, чем у гречишного сусла.

Частичная замена традиционного зернового сырья на гречишное изменила физико-химические и биохимические характеристики сусла. Наилучшие показатели были достигнуты при использовании гречишно-кукурузного сусла. Введение гречихи в различных соотношениях с кукурузой в состав зерновой смеси способствовало повышению концентрации аминного азота на 19,0–54,5 %, в зависимости от ее долевого содержания, а использование кукурузы – увеличению количе-

ства общих и растворимых редуцирующих углеводов, снижению вязкости сусла на 47,6–62,3 % (табл. 4). Качественные показатели сусла, приготовленного с применением смеси пшеницы и гречихи, были ниже, что связано с особенностями биохимического состава пшеницы, которая в отличие от кукурузы характеризовалась более высоким содержанием гемицеллюлоз (табл. 3). Поэтому дальнейшие исследования проводили на основе гречишно-кукурузного сусла.

В таблице 5 представлены экспериментальные данные по составу сбраживаемых углеводов (глюкозы, мальтозы и фруктозы) в сусле, приготовленном с использованием смеси кукурузной и гречишной культуры в различных соотношениях. В гречишном сусле наблюдалось более высокое содержание глюкозы (13,5 %), а в кукурузном – мальтозы (5,9 %). Наиболее высокая концентрация моно- и дисахаридов отмечена в гречишно-кукурузном сусле, в котором доля гречихи была равной 20 и 30 %. Повышение доли гречихи до 50 % в зерновой смеси не повлияло на увеличение содержания сбраживаемых углеводов, что было связано с ростом динамической

Таблица 3. Состав основных полимеров в зерне гречихи, кукурузы и пшеницы, %

Table 3. Polymer composition in buckwheat, corn, and wheat, %

Показатели	Кукуруза	Пшеница	Гречиха
Крахмал	64,5 ± 2,8	56,7 ± 2,3	54,5 ± 2,1
Белок	9,8 ± 0,3	12,5 ± 0,5	14,2 ± 0,6
Клетчатка	3,0 ± 0,1	3,1 ± 0,1	7,5 ± 0,3
Гемицеллюлоза	2,2 ± 0,1	4,1 ± 0,1	4,5 ± 0,1

Примечание: Значения представлены в виде средних значений ± стандартное отклонение.

Note: The values are given as mean ± standard deviation.

Таблица 4. Характеристика зернового сусла, приготовленного с использованием кукурузы, пшеницы и гречихи

Table 4. Grain wort with corn, wheat, and buckwheat

Вариант сусла, % используемого зерна			PCB, %	pH	PB, %	OPB, %	Аминный азот, мг/100 г	Динамическая вязкость сусла, мПа·с
Кукуруза	Пшеница	Гречиха						
–	–	100	20,2 ± 0,8	5,96 ± 0,10	16,0 ± 0,6	16,9 ± 0,7	39,7 ± 1,6	23,1 ± 0,9
–	100	–	21,5 ± 0,8	6,20 ± 0,20	18,1 ± 0,7	19,6 ± 0,8	26,4 ± 1,1	14,0 ± 0,5
100	–	–	22,2 ± 0,9	5,77 ± 0,10	19,2 ± 0,8	21,0 ± 0,8	21,5 ± 0,8	8,1 ± 0,2
–	80	20	21,4 ± 0,9	6,15 ± 0,20	18,0 ± 0,7	19,5 ± 0,8	27,7 ± 1,1	17,4 ± 0,6
–	70	30	21,7 ± 0,9	6,11 ± 0,20	17,8 ± 0,7	19,2 ± 0,8	29,8 ± 1,2	18,6 ± 0,7
–	50	50	20,5 ± 0,8	6,10 ± 0,20	17,1 ± 0,7	17,7 ± 0,7	32,0 ± 1,3	20,5 ± 0,8
80	–	20	21,9 ± 0,9	5,80 ± 0,10	19,2 ± 0,8	20,5 ± 0,8	24,6 ± 0,9	8,7 ± 0,2
70	–	30	21,4 ± 0,9	5,85 ± 0,10	18,8 ± 0,8	19,8 ± 0,8	27,4 ± 1,1	9,0 ± 0,3
50	–	50	21,0 ± 0,8	5,92 ± 0,10	18,1 ± 0,7	18,9 ± 0,8	29,1 ± 1,2	12,1 ± 0,4

Примечание: PCB – растворимые сухие вещества; PB – редуцирующие углеводы; OPB – общие углеводы. Значения представлены в виде средних значений ± стандартное отклонение.

Note: PCB – soluble solids; PB – reducing carbohydrates; OPB – total carbohydrates.

The values are given as mean ± standard deviation.

Таблица 5. Состав сбраживаемых углеводов в гречишно-кукурузном сусле

Table 5. Composition of fermentable carbohydrates in buckwheat-corn wort

Состав сусла, %		Сбраживаемые углеводы, %		
Кукуруза	Гречиха	Глюкоза	Мальтоза	Фруктоза
100	–	9,2 ± 0,3	5,9 ± 0,1	0,200 ± 0,002
–	100	13,5 ± 0,5	2,9 ± 0,1	0
80	20	11,9 ± 0,4	5,2 ± 0,1	0,200 ± 0,002
70	30	11,8 ± 0,4	5,1 ± 0,1	0,150 ± 0,002
50	50	9,9 ± 0,3	4,3 ± 0,1	0,120 ± 0,001

Примечание: Значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение.

Note: The values are given as mean ± standard deviation.

Таблица 6. Динамика роста и развития дрожжей *S. cerevisiae* 985-T при сбраживании гречишно-кукурузного суслаTable 6. Growth and development of *S. cerevisiae* 985-T during fermentation of buckwheat-corn wort

Состав сусла, %		Дрожжи, млн клеток/см ³			Почкующиеся (мертвые) клетки, %		
Кукуруза	Гречиха	20 ч	42 ч	70 ч	20 ч	42 ч	70 ч
100	–	97	117	80	5 (2)	3 (5)	0 (15)
–	100	158	152	123	8 (0)	2 (1)	1 (5)
80	20	142	141	118	9 (1)	2 (2)	0 (10)
70	30	149	139	120	8 (0)	3 (1)	1 (7)
50	50	140	134	129	9 (0)	5 (0)	1 (5)

вязкости сусла и снижением в нем общего количества редуцирующих углеводов (табл. 4, 5).

Состав зернового сусла, приготовленного с использованием кукурузы и гречихи в различных соотношениях, влиял на процесс генерации дрожжей и спиртового брожения. Наиболее высокая концентрация дрожжевых клеток (158 млн клеток/см³) зафиксирована через 20 ч при сбраживании гречишного сусла, содержащего повышенное количество легко ассимилируемого аминного азота (39,7 мг/100 г), что в 1,5 раза превысило показатели кукурузной бражки (табл. 4, 6). На кукурузном сусле, в котором концентрация аминного азота составляла 21,5 мг/100 г, рост дрожжей происходил медленнее и максимальная концентрация клеток (117 млн клеток/см³) наблюдалась только к 42 ч (табл. 6). При использовании гречишно-кукурузного сусла количество дрожжевых клеток соответствовало 140–149 млн клеток/см³, в зависимости от доли гречихи в составе сырьевых компонентов сусла.

Анализ процесса генерации дрожжей подтвердил, что полноценный белок и другие биологически активные компоненты в гречихе стимулировали интенсификацию развития дрожжей *S. cerevisiae*, увеличило число почкующихся клеток и снизило концентрацию мертвых, даже на среде, в составе которой содержание гречихи – только 20 и 30 % от общего объема зерновой смеси (табл. 6). Продолжительная генерация дрожжей *S. cerevisiae* приводила к ослаблению культуры к концу брожения и частичному апоптозу клеток, особенно при ферментации на кукурузном сусле, в котором количество остаточных клеток дрож-

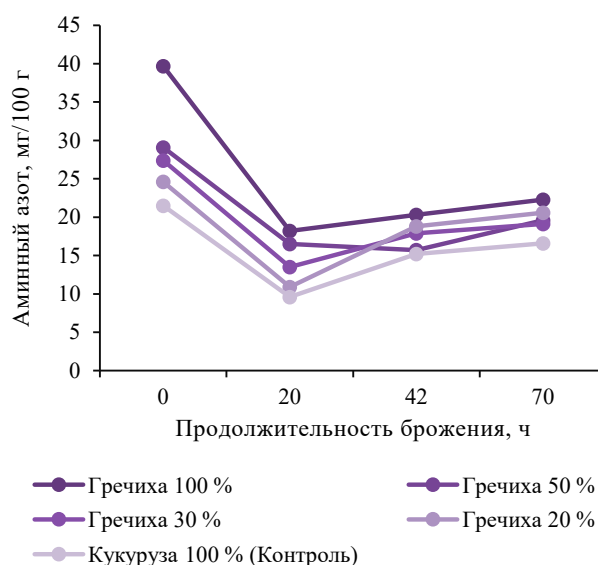


Рисунок 1. Динамика изменения концентрации аминного азота, в зависимости от содержания гречихи в сусле при генерации дрожжей *S. cerevisiae* 985-T

Figure 1. Amino nitrogen concentration vs. buckwheat content in the wort during yeast generation

жей снизилось до 80 млн клеток/см³, а концентрация мертвых клеток – 15 %.

Рост и развитие дрожжей на гречишном и гречишно-кукурузном сусле сопровождались интенсивным потреблением редуцирующих углеводов и аминного азота, особенно на первой логарифмической фазе (рис. 1,

Таблица 7. Динамика потребления углеводов при сбраживании гречишно-кукурузного сусла дрожжами *S. cerevisiae* 985-TTable 7. Carbohydrate consumption during fermentation of buckwheat-corn wort with *S. cerevisiae* 985-T

Состав сусла, %		Содержание углеводов в бражке, мг/см ³		
Кукуруза	Гречиха	20 ч	42 ч	70 ч
100	—	101,10 ± 2,90	15,30 ± 0,30	2,90 ± 0,06
—	100	35,00 ± 0,90	8,20 ± 0,20	5,70 ± 0,11
80	20	71,20 ± 1,80	8,80 ± 0,20	4,00 ± 0,08
70	30	81,90 ± 2,10	10,20 ± 0,20	4,20 ± 0,08
50	50	96,30 ± 2,70	12,30 ± 0,30	6,50 ± 0,13

Примечание: Значения представлены в виде средних ± стандартное отклонение.

Note: The values are given as mean ± standard deviation.

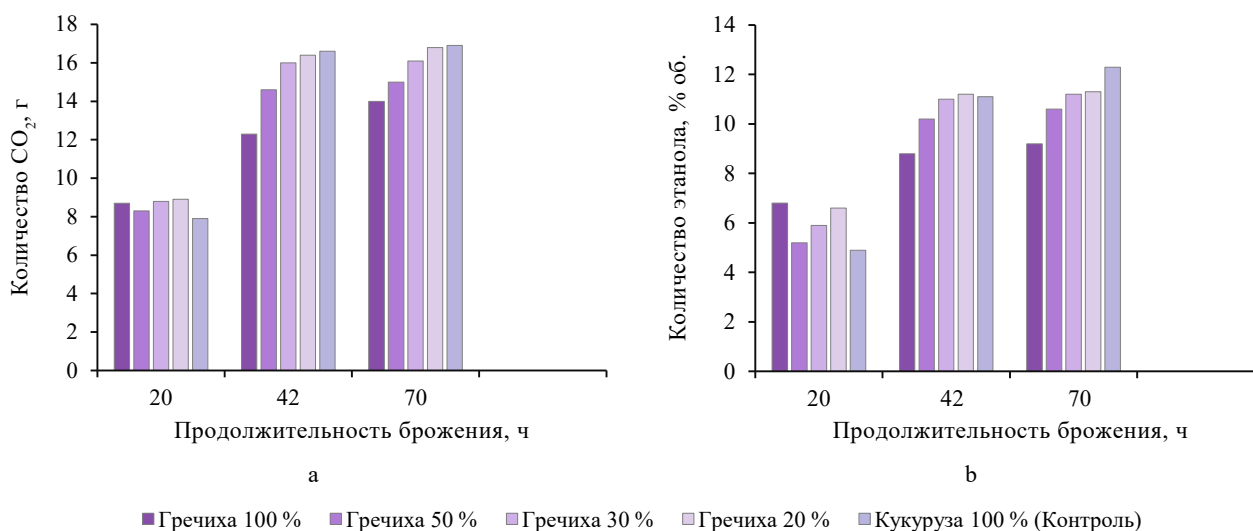


Рисунок 2. Динамика образования углекислого газа (а) и синтеза этанола (б) дрожжами *S. cerevisiae* 985-T, в зависимости от содержания гречихи в сбраживаемом гречишно-кукурузном сусле

Figure 2. Carbon dioxide formation (a) and ethanol synthesis (b) by *S. cerevisiae* 985-T vs. buckwheat content in fermented buckwheat-corn wort

табл. 7). Во время фазы активного роста дрожжей отмечено значительное уменьшение содержания аминного азота в 2 раза (рис. 1). К 42 ч рост дрожжей останавливался, доля почкующихся клеток снижалась до 2–5 %. При этом немного увеличилась концентрация аминного азота. Это связано с продолжающимся протеолизом белковых веществ сусла и с возможными аутолитическими процессами в дрожжевых клетках.

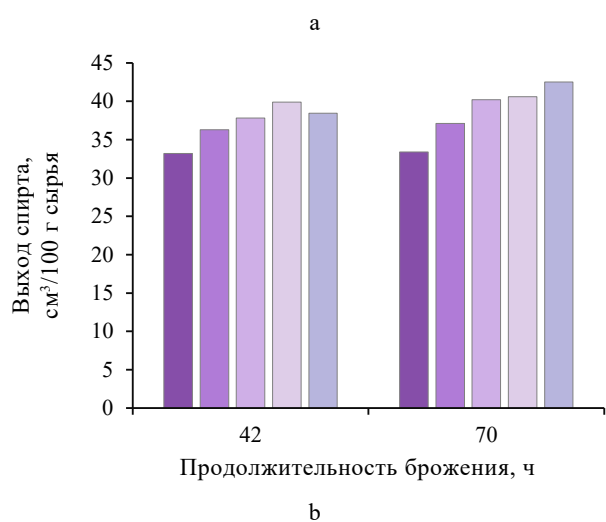
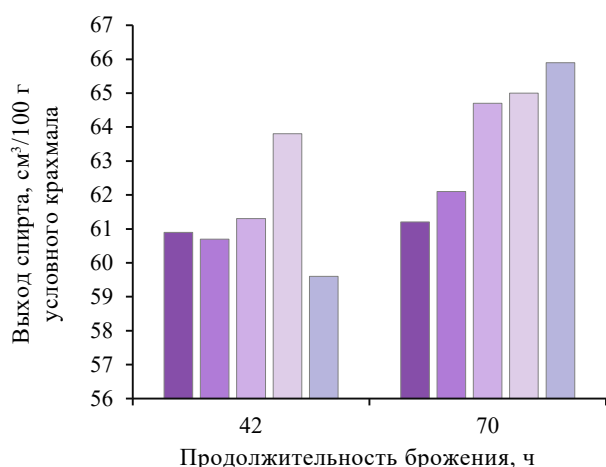
К концу брожения наиболее высокая степень сбраживания была достигнута на кукурузном сусле: содержание остаточных несброженных углеводов составляло 2,90 мг/см³, в то время как в гречишной бражке этот показатель был в 2 раза выше (табл. 7). В результате сбраживания гречишно-кукурузного сусла, в котором доля гречихи составляла 20 и 30 %, содержание редуцирующих веществ было 4,0 и 4,2 мг/см³ соответственно. Вероятно, высокое содержание остаточных углеводов в этих бражках объясняется тем, что гречиха содержит много трудногидролизуемых не-

крахмальных полисахаридов, биокаталитическая конверсия которых проходит практически в течение всего процесса брожения [24, 38, 44].

В первые сутки более высокий уровень образования углекислого газа и этанола, сопровождаемый активным потреблением углеводов, наблюдался при сбраживании гречишного и гречишно-кукурузного сусла, в котором доля гречихи составляла 20 и 30 % (табл. 7, рис. 2). На 20 ч брожения концентрация этилового спирта в гречишной бражке в 1,4 раза превосходила кукурузную. На 70 ч наиболее высокая концентрация этанола была выявлена в кукурузной бражке (12,3 % об.), а в гречишной бражке данный показатель был ниже в 1,3 раза (рис. 2).

Присутствие кукурузы в составе зерновой смеси с гречихой способствовало увеличению концентрации этанола в бражке, что связано с повышением концентрации в сусле растворимых углеводов и снижением его вязкости (табл. 4).

Расчет выхода спирта показал, что использование в составе сусла зерновой смеси из кукурузы и гречихи позволило повысить эффективность процесса спиртового брожения, по сравнению с показателями только гречишной бражки (рис. 3). Через 42 ч наиболее высокий выход спирта зафиксирован в гречишно-кукурузных смесях (рис. 2). При сбраживании сусла, в составе которого доля гречихи составляла 20 и 30 % от общего содержания сырья, наблюдался практически равный показатель по выходу спирта, как и при сбраживании кукурузного сусла ($65,9 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ крахмала). Выход спирта соответствовал нормативному – $65,0$ и $64,7 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ крахмала [41], который значи-



■ Гречиха 100 %
 ■ Гречиха 50 %
 ■ Гречиха 30 %
 ■ Гречиха 20 %
 ■ Кукуруза 100 % (Контроль)

Рисунок 3. Выход спирта при сбраживании зернового сусла, содержащего различное количество гречихи: а – в $\text{см}^3/100 \text{ г}$ условного крахмала; б – в $\text{см}^3/100 \text{ г}$ сырья

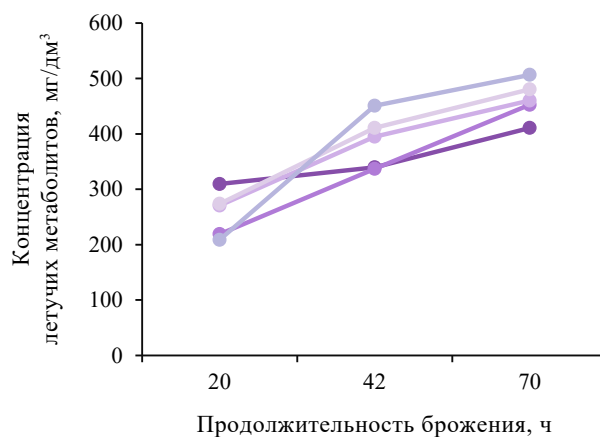
Figure 3. Alcohol yield during grain wort fermentation with different buckwheat shares: а – per $\text{см}^3/100 \text{ г}$ conventional starch; б – per $\text{см}^3/100 \text{ г}$ raw material

тельно превышался при сбраживании гречишного сусла – $61,2 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ крахмала.

Как показали результаты предварительных исследований [24, 38], введение гречихи в состав сырьевых компонентов сусла оказывало некоторое влияние на метаболизм дрожжевых клеток, что приводило к изменению в составе вторичных метаболитов, сопутствующих синтезу этанола, и снижению их общего количества.

Сравнительный анализ динамики синтеза летучих метаболитов дрожжами *S. cerevisiae* 985-Т в процессе сбраживания кукурузного, гречишного и гречишно-кукурузного сусла подтвердил, что использование гречихи отразилось как на уровне образования общего количества побочных продуктов брожения, так и на их составе (рис. 4, 5). Концентрация зависела от стадии брожения и содержания гречихи в сусле (рис. 5). На 20 ч сбраживания гречишного сусла сформировалось основное количество летучих метаболитов ($309,6 \text{ мг/дм}^3$), образующихся при синтезе этанола. Их концентрация была в 1,5 раза выше, чем в кукурузной бражке. Полученные данные коррелируют с уровнем образования этанола за этот период, концентрация которого составила $6,8 \%$ об. (рис. 2b), что значительно превысило аналогичные показатели кукурузной бражки – $4,9 \%$ об.

Более интенсивное образование побочных метаболитов выявлено при сбраживании кукурузного и гречишно-кукурузного сусла (рис. 4). Их максимальная концентрация ($506,4 \text{ мг/дм}^3$) отмечена в кукурузной



■ Гречиха 100 %
 ■ Гречиха 50 %
 ■ Гречиха 30 %
 ■ Гречиха 20 %
 ■ Кукуруза 100 % (Контроль)

Рисунок 4. Динамика образования летучих метаболитов дрожжами *S. cerevisiae* 985-Т при сбраживании зернового сусла, содержащего разное количество гречихи

Figure 4. Formation of volatile metabolites by *S. cerevisiae* 985-T during grain wort fermentation with different buckwheat shares

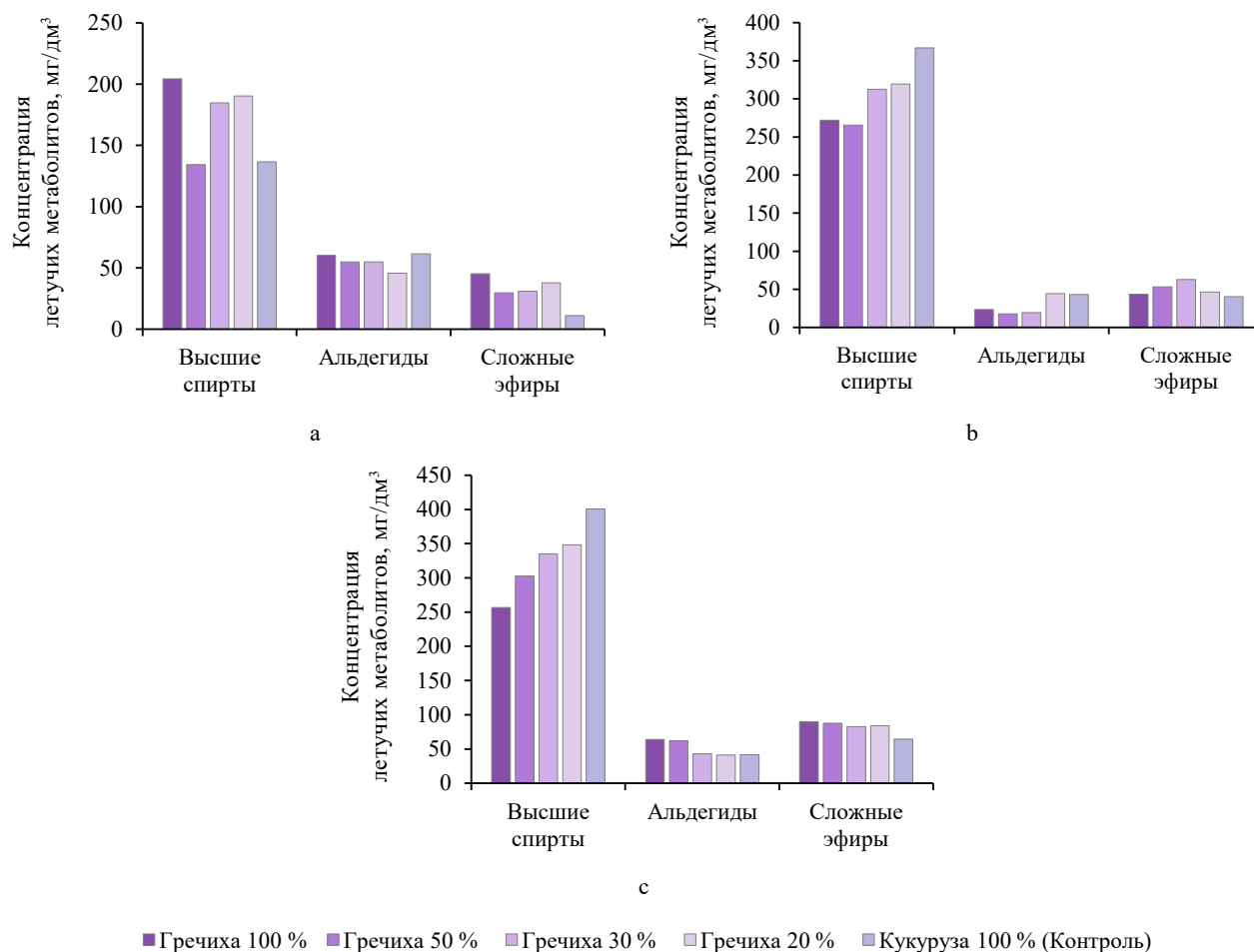


Рисунок 5. Изменение состава летучих метаболитов, синтезированных дрожжами *S. cerevisiae* 985-T в процессе сбраживания зернового сусла, содержащего различное количество гречихи: а – на 20 ч брожения; б – на 42 ч брожения; с – на 70 ч брожения

Figure 5. Composition of volatile metabolites synthesized by *S. cerevisiae* 985-T during grain wort fermentation with different buckwheat shares: а – after 20 h of fermentation; б – after 42 h of fermentation; с – after 70 h of fermentation

бражке на 70 ч брожения. Основная доля в составе метаболитов приходилась на высшие спирты, концентрация которых на 60 % превосходила показатели в гречишной бражке и на 15–30 % – в гречишно-кукурузной (рис. 5с).

Гречишная и гречишно-кукурузные бражки характеризовались более высоким содержанием сложных эфиров, чем кукурузная (рис. 5). Присутствие этих компонентов в составе летучих метаболитов может повлиять на возникновение оригинальных оттенков в аромате и вкусе спиртных напитков, по сравнению с зерновыми дистиллятами, полученными при сбраживании традиционных зерновых культур.

Выводы

Добавление гречишного сырья в зерновое сусло оказывает значительное влияние на ряд ключевых процессов: динамику роста дрожжей *S. cerevisiae* 985-T, потребление азота и углеводов, синтез этанола и побочных про-

дуктов брожения, а также на состав летучих метаболитов в бражке. Продемонстрированы преимущества в использовании гречихи в смеси с традиционно применяемой культурой в спиртовом производстве – кукурузе.

Введение гречихи в состав сырьевых компонентов сусла стимулировало интенсификацию процессов генерации дрожжей и спиртового брожения на первой стадии: к 20 ч концентрация клеток возросла в 1,5 раза, этанола – в 1,4 раза, по сравнению с кукурузной бражкой. После 42 ч брожения синтез этилового спирта замедлился, а концентрация этанола в гречишно-кукурузных (20 и 30 % гречихи) и кукурузной бражках становилась практически одинаковой, при этом выход спирта соответствовал установленным нормам.

Сравнительный анализ динамики синтеза летучих метаболитов дрожжами *S. cerevisiae* 985-T позволил сделать вывод, что их концентрация и состав зависят как от стадии брожения, так и от содержания гречихи в сусле. Через 20 ч сбраживания гречишного сусла

сформировалось основное количество летучих метаболитов (309,6 мг/дм³), сопутствующих выделению этанола, концентрация которых была выше в 1,5 раза, чем в кукурузном. Более интенсивное образование этих метаболитов происходило при сбраживании кукурузного и гречишно-кукурузного сусла. Максимальная концентрация (506,4 мг/дм³) была зафиксирована в кукурузной бражке на 70 ч брожения. Основную часть метаболитов составляли высшие спирты, концентрация которых на 60 % превышала показатели гречишной бражки и на 15–30 % – гречишно-кукурузной. Гречишная и гречишно-кукурузные бражки характеризовались более высоким содержанием сложных эфиров, что может оказать влияние на возникновение оригинальных оттенков в аромате и вкусе спиртных напитков, по сравнению с зерновыми дистиллятами, полученными в результате сбраживания традиционных зерновых культур.

Полученные на примере гречихи результаты свидетельствуют о возможности использования нетрадиционного сырья для направленного регулирования состава и концентрации компонентов зернового сусла, способствующих формированию физико-химических и органолептических характеристик зерновых дистиллятов и спиртных напитков.

Критерии авторства

Е. М. Серба, Л. В. Римарева проводили разработку концепции и дизайна исследования, анализ и интерпретацию литературных данных, осуществляли написание статьи и ее редактирование, подготовку статьи к публикации. Е. Р. Крючкова, М. Б. Оверченко, Н. И. Игнатова, Н. В. Матросова – сбор и анализ литературных и экспериментальных данных, обработка рисунков и таблиц.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

E.M. Serba and L.V. Rimareva developed the research concept and designed the study, wrote the review, drafted the manuscript, and proofread the final version. E.R. Kryuchkova, M.B. Overchenko, N.I. Ignatova, and N.V. Matrosova collected, analyzed, and processed the experimental data.

Conflict of interest

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

Список литературы / References

1. Tokpohozin SE, Fischer S, Becker T. Optimization of malting conditions for two landraces of West African sorghum and influence of mash bio-acidification on saccharification improvement. *Journal of Cereal Science*. 2019;85:192–198. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.12.011>
2. Танашкина Т. В., Перегоедова А. А., Семенюта А. А., Боярова М. Д. Безглютеновые гречишные квасы с добавлением пряно-ароматического сырья. *Техника и технология пищевых производств*. 2020. Т. 50. № 1. С. 70–78. [Tanashkina TV, Peregoedova AA, Semenyuta AA, Boyarova MD. Gluten-free buckwheat kvass with aromatic raw materials. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(1):70–78. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-70-78>
3. Серба Е. М., Римарева Л. В., Чан В. Т., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И. и др. Влияние особенностей состава зерна сорго на эффективность его микробной конверсии в этанол и лизин. *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. 2022. Т. 15. № 3. С. 347–362. [Serba EM, Rimareva LV, Tran VC, Overchenko MB, Ignatova NI, *et al*. The influence of the sorghum grain composition on the efficiency of its microbial conversion to ethanol and lysine. *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2022;15(3):347–362. (In Russ.)] <https://www.elibrary.ru/NXFKUH>
4. Хоконова М. Б., Прохорская Т. А. Разработка технологии производства пива функционального назначения. Перспективные разработки и прорывные технологии в АПК: Сборник материалов Нац. науч.-практич. конф. Тюмень, 2020. С. 57–61. [Khokonova MB, Prokhorskaya TA. Development of technology for the production of functional beer. *Advanced developments and breakthrough technologies in the agro-industrial complex*. National Sci. Conf. Tyumen; 2020:57–61. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ATCNKV>
5. Бурак Л. Ч. Перспективы производства пива с функциональными свойствами. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 2. С. 79–88. [Burak LCh. Prospects for the production of beer with functional properties. *Technologies for the food and processing industry of AIC – Healthy food*. 2021;(2):79–88. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-2-79-88>
6. Семенюта А. А., Танашкина Т. В., Семенюта В. Н. Получение и оценка качества специального гречишного солода. *Индустрия питания*. 2023. Т. 8. № 1. С. 54–63. [Semenyuta AA, Tanashkina TV, Semenyuta VN. Special buckwheat malt obtaining and quality evaluating. *Food Industry*. 2023;8(1):54–63. (In Russ.)] <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-1-6>
7. Кобелев К. В., Гернет М. В., Хурушудян С. А. Тритикале – перспективная зерновая культура для натуральных напитков брожения. *Пиво и напитки*. 2016. № 3. С. 26–29. [Kobelev KV, Gernet MV, Hurushudjan SA. Triticale – a promising crops for natural fermented beverages. *Beer and beverages*. 2016;(3):26–29. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WFKCNH>

8. Сулейманова П. А., Халенгинова Д. А. Разработка технологии слабоалкогольного напитка брожения из нетрадиционного сырья. Вестник науки. 2022. Т. 4. № 12. С. 465–469. [Suleymanova PA, Khalenginova DA. Development of technology of low-alcoholic fermented beverage from non-traditional raw materials. Bulletin of Science. 2022;4(12):465–469. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/JNLEDW>
9. Попова Н. В., Гаврилова К. С., Науменко Е. Е. Использование пророщенного зерна *Fagopyrum esculentum* в технологии пробиотических напитков. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2022. Т. 10. № 4. С. 18–25. [Popova NV, Gavrilova KS, Naumenko EE. Evaluation of the possibility of using sprouted green buckwheat in the technology of probiotic drinks. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology. 2022;10(4):18–25. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/KSSEIQ>
10. Каменская Е. П., Обрезкова М. В., Вагнер В. А. Перспективы использования полисолодовых экстрактов в технологии производства квасов брожения. Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2019. № 3. С. 19–25. [Kamenskaya EP, Obrezkova MV, Vagner VA. Prospective of polymalt extract use in production of kvass fermentation. Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff. 2019;(3):19–25. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/JDGGIV>
11. Миллер Ю. Ю., Помозова В. А., Киселева Т. Ф. Оценка пригодности высокобелковых сортов злаковых культур к использованию в производстве ферментированных зерновых напитков. Пиво и напитки. 2024. № 1. С. 4–9. [Miller YuYu, Pomozova VA, Kiseleva TF. Assessment of the suitability of high-protein varieties of cereals for use in the production of fermented grain drinks. Beer and beverages. 2024;(1):4–9. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52653/PIN.2024.01.02>
12. Franitz L, Granvogl M, Schieberle P. Influence of the production process on the key aroma compounds of rum: From molasses to the spirit. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2016;64(47):9041–9053. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04046>
13. Никитина С. Ю., Гордиенко А. С., Зуева Н. В., Яковлев А. Н. К вопросу о получении зерновых дистиллятов из ферментированного сырья. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2024. Т. 86. № 1. С. 89–96. [Nikitina SYu, Gordienko AS, Zueva NV, Yakovlev AN. On the issue of obtaining grain distillates from fermented raw materials. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2024;86(1):89–96. (In Russ.)] <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2024-1-89-96>
14. Ravelo RCM, Gastl M, Becker T. Characterization of molar mass and conformation of relevant (non-)starch polysaccharides in cereal-based beverages. International Journal of Biological Macromolecules. 2024;261(Part 2):129942. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129942>
15. Абрамова И. М., Медриш М. Э., Савельева В. Б., Романова А. Г., Гаврилова Д. А. Исследование летучих примесей в спиртных напитках, изготовленных из выдержанных зерновых дистиллятов. Пищевая промышленность. 2018. № 7. С. 74–76. [Abramova IM, Medrish ME, Savel'eva VB, Romanova AG, Gavrilova DA. Study of volatile impurities in alcoholic beverages made from aged grain distillates. Food Industry. 2018;(7):74–76. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XUOOBF>
16. Волкова С. В., Яковлева О. В. Оценка качества дистиллятов для производства виски из некоторых видов зернового сырья местной селекции. Вестник Могилевского Государственного университета продовольствия. 2019. № 1. С. 77–83. [Volkova SV, Yakovleva OV. Assessment of the quality of distillates for the production of whisky from certain types of grain raw materials of local selection. Bulletin of Mogilev State University of Food Technologies. 2019;(1):77–84. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/GFFGFP>
17. Абрамова И. М., Туршатов М. В., Соловьев А. О., Никитенко В. Д., Леденев В. П. и др. О производстве этилового спирта и дистиллятов с использованием фруктового сырья совместно с зерновым. Пищевая промышленность. 2023. № 5. С. 67–69. [Abramova IM, Turshatov MV, Solov'ev AO, Nikitenko VD, Ledenev VP, et al. On the production of ethyl alcohol and distillates using fruit raw materials together with grain. Food Industry. 2023;(5):67–69. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.019>
18. Кириллов Е. А., Кононенко В. В., Грунин Е. А., Соловьев А. О., Алексеев А. Н. Производство зернового дистиллята на брагоректификационных установках из крахмалсодержащего сырья. Пиво и напитки. – 2016. № 3. С. 23–24. [Kirillov EA, Kononenko VV, Grunin EA, Solovyov AO, Alekseev AN. Production of grain distillates of starch-containing raw material at the rectification installation. Beer and beverages. 2016;(3):23–24. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WFKCMX>
19. Oganesyants LA, Peschanskaya VA, Krikunova LN, Dubinina EV. Research of technological parameters and criteria for evaluating distillate production from dried jerusalem artichoke. Carpathian Journal of Food Science and Technology. 2019;11(2):185–196. <https://doi.org/10.34302/crpjfst/2019.11.2.15>
20. Deželak M, Zarnkow M, Becker T, Košir IJ. Processing of bottom-fermented gluten-free beer-like beverages based on buckwheat and quinoa malt with chemical and sensory characterization. Journal of the Institute of Brewing. 2014;120(4):360–370. <https://doi.org/10.1002/jib.166>
21. Агафонов Г. В., Чусова А. Е., Ковальчук Н. С., Зуева Н. В. Возможность применения гречихи в технологии ферментированного солода. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80. № 4. С. 170–176. [Agafonov GV, Chusova AE, Kovalchuk NS, Zuyeva NV. The possibility of buckwheat application in the fermented malt technology. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2018;80(4):170–176. (In Russ.)] <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-4-170-176>

22. Серба Е. М., Римарева Л. В., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И., Микуляк А. А. и др. Обоснование перспективы использования гречихи в производстве оригинальных спиртных напитков. *Пищевая промышленность*. 2023. № 5. С. 45–47. [Serba EM, Rimareva LV, Overchenko MB, Ignatova NI, Mikulyak AA, *et al.* Substantiation of the prospects of using buckwheat in the production of original alcoholic beverages. *Food Industry*. 2023;(5):45–47. (In Russ.)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.5.5.012>
23. Zhu F. Buckwheat proteins and peptides: Biological functions and food applications. *Trends in Food Science and Technology*. 2021;110:155–167. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.081>
24. Серба Е. М., Римарева Л. В., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И., Крючкова Е. Р. и др. Биотехнологические аспекты использования гречихи в производстве оригинальных спиртных напитков *Биотехнология*. 2023. Т. 39. № 2. С. 10–16. [Serba EM, Rimareva LV, Overchenko MB, Ignatova NI, Kryuchkova ER, *et al.* Biotechnological aspects of the use of buckwheat in the production of original alcoholic beverages. *Biotechnology*. 2023;39(2):10–16. (In Russ.)] <https://doi.org/10.56304/S0234275823020114>
25. Yilmaz HÖ, Ayhan NY, Meriç ÇS. Buckwheat: A useful food and its effects on human health. *Current Nutrition and Food Science*. 2020;16(1):29–34. <http://doi.org/10.2174/1573401314666180910140021>
26. Танашкина Т. В., Осипенко Э. Ю., Танашкин А. С., Семенюта А. А., Лях В. А. Содержание полифенольных соединений в траве гречихи посевной в зависимости от агротехнических и абиотических факторов и оценка возможности ее использования в пищевых технологиях. *Аграрная наука*. 2023. № 9. С. 166–170. [Tanashkina TV, Osipenko EYu, Tanashkin AS, Semenyuta AA, Lyakh VA. The content of polyphenolic compounds in buckwheat grass depending on agro-technical and abiotic factors and the assessment of the possibility of its use in food technologies. *Agrarian science*. 2023;(9):166–170. (In Russ.)] <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-166-170>
27. Giménez-Bastida JA, Zieliński H. Buckwheat as a functional food and its effects on health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015;63(36):7896–7913. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02498>
28. Zieliński H, Ciesarová Z, Kukurová K, Zielinska D, Szawara-Nowak D, *et al.* Effect of fermented and unfermented buckwheat flour on functional properties of gluten-free muffins. *Journal of Food Science and Technology*. 2017;54:1425–1432. <http://doi.org/10.1007/s13197-017-2561-4>
29. Hussein AMS, Abd El-Aal HA, Morsy NM, Hassona MM. Chemical, rheological, and sensory properties of wheat biscuits fortified with local buckwheat. *Foods and Raw Materials*. 2024;12(1):156–167. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-1-597>
30. Зенькова М. Л., Мельникова Л. А., Тимофеева В. Н. Безалкогольные напитки из пророщенной гречихи: технологические аспекты и пищевая ценность. *Техника и технология пищевых производств*. 2023. Т. 53. № 2. С. 316–325. [Zenkova ML, Melnikova LA, Timofeeva VN. Non-alcoholic beverages from sprouted buckwheat: Technology and nutritional value. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(2):316–325. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2435>
31. Танашкина Т. В., Семенюта А. А., Троценко А. С., Клыков А. Г. Безглютеновые слабоалкогольные напитки из светлого и томленного гречишного солода. *Техника и технология пищевых производств*. 2017. Т. 45. № 2. С. 74–80. [Tanashkina TV, Semenyuta AA, Trotsenko AS, Klykov AG. Gluten-free low-alcohol beverages fermented from light and scalding buckwheat malt. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2017;45(2):74–80. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21179/2074-9414-2017-2-74-80>
32. Зенькова М. Л., Мельникова Л. А. Микробиологическая оценка процесса прорастивания зерна пшеницы и гречихи. *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 4. С. 795–804. [Zenkova ML, Melnikova LA. Microbiological assessment of wheat and buckwheat sprouting process. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(4):795–804. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-795-804>
33. Грушин Р. В., Колесниченко М. Н., Дворяткина И. Б. Повышение качественных характеристик светлого пива при использовании несоложенной обжаренной гречихи. *Ползуновский вестник*. 2022. № 2. С. 74–81. [Grushin RV, Kolesnichenko MN, Dvoryatkina IB. Improving the quality characteristics of light beer when using molt-free roasted buckwheat. *Polzunovskiy vestnik*. 2022;(2):74–81. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.010>
34. Горькова И. В., Павловская Н. Е., Даниленко А. Н. Экстракты гречихи посевной и софоры японской как сырьевые источники биологически активных веществ. *Пищевая промышленность*. 2016. № 2. С. 30–32. [Gorkova IV, Pavlovskaya NE, Danilenko AN. Extracts of buckwheat and sophora japonica as a raw source of biologically active substances. *Food Industry*. 2016;(2):30–32. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WBAHRH>
35. Starowicz M, Koutsidis G, Zielinski H. Sensory analysis and aroma compounds of buckwheat containing products—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2018;58(11):1767–1779. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1284742>
36. Новикова И. В., Калаев В. Н., Агафонов Г. В., Коротких Е. А., Мальцева О. Ю. и др. Оценка интенсивности биосинтетических процессов у дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* при культивировании на средах с добавлением порошкообразного гречишного солодового экстракта. *Вестник Воронежского Государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2015. № 2. С. 73–79. [Novikova IV, Kalaev VN, Agafonov GV, Korotkikh EA, Maltseva OYu, *et al.*

Estimate the intensity of biosynthetic processes yeast *saccharomyces cerevisiae* when cultured on a medium with the addition of powdered malt extract buckwheat. Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2015;(2):73–79. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TTUHAJ>

37. Deželak M, Gebremariam MM, Zarnkow M, Becker T, Košir IJ. Part III: The influence of serial repitching of *Saccharomyces Pastorianus* on the production dynamics of some important aroma compounds during the fermentation of barley and gluten-free buckwheat and quinoa wort. Journal of the Institute of Brewing. 2015;121(3):387–399. <https://doi.org/10.1002/jib.243>

38. Серба Е. М., Крючкова Е. Р., Римарева Л. В., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И. и др. Исследование процессов метаболизма спиртовых дрожжей при сбраживании гречишно-кукурузного сусла. Пищевые системы. 2024. Т. 7. № 1. С. 77–83. [Serba EM, Kryuchkova ER, Rimareva LV, Overchenko MB, Ignatova NI, Pavlenko SV, et al. Investigation of metabolic processes of alcohol yeast during the fermentation of buckwheat-corn wort. Food systems. 2024;7(1):77–83. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-77-83>

39. Rimareva LV, Serba EM, Overchenko MB, Shelekhova NV, Ignatova NI, et al. Enzyme complexes for activating yeast generation and ethanol fermentation. Foods and Raw Materials. 2022;10(1):127–136. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-127-136>

40. Костылева Е. В., Середа А. С., Великорецкая И. А., Игнатова Н. И., Цурикова Н. В. и др. Интенсификация получения ферментных препаратов глюкоамилазы и ксиланазы для производства спирта из зернового сырья. Пищевая промышленность. 2020. № 4. С. 39–42. [Kostyleva EV, Sereda AS, Velikoretskaya IA, Ignatova NI, Tsurikova NV, et al. Intensification of the production of glucoamylase and xylanase enzyme preparations for ethanol production from grain raw materials. Food Industry. 2020;(4):39–42. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YOGELV>

41. Поляков В. А., Абрамова И. М., Полягина Г. В., Римарева Л. В., Корчагина Г. Т. и др. Инструкция по технохимическому и микробиологическому контролю спиртового производства. М.: ДеЛи принт, 2007. 480 с. [Polyakov VA, Abramova IM, Polygalina GV, Rimareva LV, Korchagina GT, et al. Instructions for technochemical and microbiological control of alcohol production. Moscow: DeLi print; 2007. 480 p. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PWWGGD>

42. ОФС.1.2.3.0022.15 Определение аминного азота методами формольного и йодометрического титрования. Фармакопоея.рф. [OFS.1.2.3.0022.15 Determination of amine nitrogen by formol and iodometric titration methods. Pharmacopoeia.rf. [cited 2023 Sept 10]. (In Russ.)] Available from: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-2-3-0022-15-opredelenie-aminnogo-azota-metodami-formolnogo-i-jodometricheskogo-titrovaniya/?amp=1>

43. Абрамова И. М., Медриш М. Э., Савельева В. Б., Приёмухова Н. В., Романова А. Г. и др. Сравнительный анализ методов исследования примесей в дистиллятах и спиртных напитках на их основе. Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 2. С. 14–19. [Abramova IM, Medrish MJ, Savel'eva VB, Prijomuhova NV, Romanova AG, et al. Comparative analysis of impurity measurement methods in distillates and alcoholic beverages. Storage and Processing of Farm Products. 2018;(2):14–19. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/UVIZKA>

44. Короткова О. Г., Рожкова А. М., Кислицин В. Ю., Синицына О. А., Денисенко Ю. А. и др. Новые кормовые ферментные препараты для деструкции некрахмальных полисахаридов и фитатов. Вестник Московского университета. Серия 2: Химия. 2023. Т. 64. № 2. С. 178–186. [Korotkova OG, Rozhkova AM, Kislitsin VYu, Sinitsyna OA, Denisenko YuA, et al. New feed enzyme preparations for the destruction of non-starch polysaccharides and phytates. Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 2. Chemistry. 2023;64(2):178–186. (In Russ.)] <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9384-2-2023-64-2-178-186>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2571>
<https://elibrary.ru/VOZPCY>

Оригинальная статья
<https://fpptt.ru>

Получение обогащенного белкового концентрата на основе молочной сыворотки



С. Н. Лебедева^{1,*}, А. В. Щёктова¹, Д. В. Атласова²,
Р. Б. Аюшеева¹, И. С. Хамагаева¹, Т. И. Котова¹

¹ Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления^{ROR}, Улан-Удэ, Россия

² Дальневосточный федеральный университет^{ROR}, Владивосток, Россия

Поступила в редакцию: 16.07.2024

Принята после рецензирования: 23.08.2024

Принята к публикации: 01.04.2025

*С. Н. Лебедева: lebedeva1959@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0001-5664-6028>

Д. В. Атласова: <https://orcid.org/0000-0002-8488-8427>

Р. Б. Аюшеева: <https://orcid.org/0009-0004-4958-2846>

И. С. Хамагаева: <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

Т. И. Котова: <https://orcid.org/0000-0003-2644-0779>

© С. Н. Лебедева, А. В. Щёктова, Д. В. Атласова, Р. Б. Аюшеева,
И. С. Хамагаева, Т. И. Котова, 2025



Аннотация.

Вопрос утилизации / переработки молочной сыворотки является актуальной проблемой молочных предприятий. Нерентабельность используемых методов и отсутствие энергосберегающих промышленных технологий замедляет решение данной проблемы. Молочная сыворотка – ценное сырье, содержащее более 200 органических и минеральных компонентов, из которого можно получать продукты, обладающие полезными биологическими свойствами. Цель работы – получить из творожной сыворотки обогащенный белковый продукт с использованием магниево-термокоагуляции белков и дальнейшей ферментации комплексной лактобактериальной закваской.

Объектом исследования послужила творожная сыворотка, полученная методом кислотно-сычужной коагуляции в процессе производства творога с массовой долей жира 9 %. Температура была доведена до +35–40 °С посредством водяной бани с последующим удалением жира и казеиновой пыли на сепараторе-сливкоотделителе. Осветление молочной сыворотки с получением пермеата проводили тепловой денатурацией при 92 ± 1 °С с добавлением 10 % раствора MgCl₂ × 6H₂O в концентрациях 2–42 г/л. Белок подвергли вакуумной фильтрации. Ферментация сывороточных белков осуществлялась комплексной закваской из четырех штаммов *Lactobacillus*. В исследовании использовались стандартные, общепринятые физико-химические и микробиологические методы.

В результате установлен оптимальный режим термомагниево-денатурации молочной сыворотки (92 ± 1 °С в течение 5–10 мин и MgCl₂ в количестве 18 г/л), способствующий максимальному выходу белка (25,0 г/л) и содержанию магния (2,4 мг/г). Ферментация магниевого концентрата термически осажденных белков молочной сыворотки закваской привела к активизации процесса протеолиза, формированию необходимых физико-химических и органолептических свойств. В результате сублимационной сушки –40 °С в течение 18–20 ч был получен сухой продукт с достаточным количеством живых клеток лактобактерий (1–3 × 10⁷) и содержанием магния 907 мг/100 г.

Разработанная технология позволила получить из молочной сыворотки магнийсодержащий концентрат термически осажденных белков с высокой биологической ценностью. Качественные показатели концентрата обеспечивают широкий спектр возможностей для применения в различных сферах пищевой индустрии.

Ключевые слова. Молочная сыворотка, термомагниево-коагуляция, белковый продукт, *Lactobacillus*

Финансирование. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-26-20042, <https://rscf.ru/project/24-26-20042/>

Для цитирования: Лебедева С. Н., Щёктова А. В., Атласова Д. В., Аюшеева Р. Б., Хамагаева И. С. и др. Получение обогащенного белкового концентрата на основе молочной сыворотки. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 257–271. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2571>

Fortified Protein Concentrate Based on Milk Whey



Svetlana N. Lebedeva^{1,*}, Anna V. Shchekotova¹,
Daria V. Atlasova², Radzhana B. Ayusheeva¹,
Irina S. Khamagaeva¹, Tatiana I. Kotova¹

¹ East Siberian State University of Technology and Management^{ROR}, Ulan-Ude, Russia

² Far Eastern Federal University^{ROR}, Vladivostok, Russia

Received: 16.07.2024
Revised: 23.08.2024
Accepted: 01.04.2025

*Svetlana N. Lebedeva: lebedeva1959@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5664-6028>

Daria V. Atlasova: <https://orcid.org/0000-0002-8488-8427>

Radzhana B. Ayusheeva: <https://orcid.org/0009-0004-4958-2846>

Irina S. Khamagaeva: <https://orcid.org/0000-0003-4294-5857>

Tatiana I. Kotova: <https://orcid.org/0000-0003-2644-0779>

© S.N. Lebedeva, A.V. Shchekotova, D.V. Atlasova, R.B. Ayusheeva,
I.S. Khamagaeva, T.I. Kotova, 2025



Abstract.

Utilization and processing of milk whey have become a pressing problem for the dairy industry as a result of unprofitable production methods and the poor energy-saving industrial technologies. Milk whey is a valuable raw material that contains more than 200 organic and mineral components. It can be processed into products with useful biological properties. The article describes a new fortified protein curd whey product obtained with magnesium thermal coagulation of proteins and fermented with a complex lactobacillus starter.

The curd whey was obtained by acid-rennet coagulation as a by-product of cottage cheese with a fat mass fraction of 9%. After +35–40°C in water bath, fat and casein powder were removed in a cream separator. The permeate was obtained by thermal denaturation at 92 ± 1°C with a 10% MgCl₂ × 6H₂O solution in concentrations of 2–42 g/L. The protein was then subjected to vacuum filtration. The fermentation of whey proteins involved a complex starter culture of four Lactobacillus strains. The research relied on standard physicochemical and microbiological methods.

The optimal mode for thermal magnesium denaturation of milk whey was 92 ± 1°C for 5–10 min with 18 g/L MgCl₂. It yielded 25.0 g/L protein with 2.4 mg/g magnesium. When the magnesium concentrate of thermally precipitated whey proteins was fermented with the complex starter culture, it activated the proteolysis process, as well as provided the targeted physicochemical and sensory properties. After freeze-drying at –40°C for 18–20 h, the powder obtained was rich in living lactobacilli cells (1–3 × 10⁷) and contained 907 mg/100 g magnesium.

The new method made it possible to turn whey wastes into a magnesium-containing concentrate of thermally precipitated proteins with increased biological value. Its qualitative indicators provide a wide range of possibilities in various areas of the food industry.

Keywords. Whey, thermal magnesium coagulation, protein product, probiotic cultures, *Lactobacillus*

Funding. The research was supported by the Russian Science Foundation, grant no. 24-26-20042, <https://rscf.ru/en/project/24-26-20042/>

For citation: Lebedeva SN, Shchekotova AV, Atlasova DV, Ayusheeva RB, Khamagaeva IS, et al. Fortified Protein Concentrate Based on Milk Whey. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):257–271. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2571>

Введение

Молочная сыворотка – основной побочный продукт, образующийся при производстве сыра и молочных продуктов на основе казеина. Мировое производство сыворотки оценивается в ≈ 200 млн т в год. При ежегодном приросте в 1–2 % к 2030 г. ее количество будет составлять ≈ 203–241 млн т. Однако перерабатывается ≈ 50 % от общего количества молочной сыворотки [1, 2].

Молочная сыворотка является ценным сырьем, содержащим полезные для человека органические

и минеральные вещества, в первую очередь сывороточные белки и лактозу. Сыворотка участвует в процессе производства продуктов питания, пищевых и кормовых добавок (сывороточные порошки, изоляты и концентраты сывороточного белка, гидролизаты сывороточного белка, лактозу, ее производные и др.) [3, 4].

Производство продуктов на основе молочной сыворотки не получило значительного распространения ввиду экономической нецелесообразности существующих технологических процессов, лимитированного

числа энергосберегающих промышленных установок и нерешенности проблемы безотходной переработки. Многокомпонентный физико-химический состав молочной сыворотки, отсутствие современного оборудования и устаревшая техника препятствуют ее комплексной и рациональной переработке. Согласно данным Всероссийского научно-исследовательского института маслodelия и сыроделия – филиала Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, количество производимой в России молочной сыворотки составляет ≈ 5 млн т. При этом перерабатывается только 20 % сыворотки, остальное ее количество используется в качестве прикормки для сельскохозяйственных животных или утилизируется в канализационную сеть, нанося ущерб окружающей среде [5].

Эффективное управление промышленными отходами имеет существенное значение для обеспечения экологической устойчивости. Проблема утилизации / переработки молочной сыворотки на предприятиях остается открытой. Экономические санкции и внедрение системы Меркурий, наряду с ужесточением нормативных требований к сбросу результатов продуктов переработки в сточные воды, стимулируют предприятия к поиску инновационных методов утилизации сыворотки.

Долгое время сыворотка считалась побочным продуктом молочной промышленности и использовалась в качестве кормовой добавки для животных или почвенного удобрения, а также утилизировалась в канализационную сеть [6, 7]. На сегодняшний день сыворотка редко применяется в качестве кормовой добавки для сельскохозяйственных животных в связи с проблемами, возникающими при ее транспортировке и обеспечении надлежащих условий хранения в хозяйствах. По законодательству сброс в окружающую среду сыворотки запрещен из-за ее высокой биохимической загрязняющей способности. Загрязнение от слитой 1 т молочной сыворотки в сточные воды сопоставимо загрязнению от 100 м³ отходов от бытовой и промышленной деятельности. Стоимость очистки сточных вод, загрязненных молочной сывороткой, равноценна расходам на очистку сточных вод в городе, где проживает 80 тыс. человек [8]. Экологическая токсичность сыворотки объясняется высокой органической нагрузкой за счет присутствия в ее составе лактозы и сывороточных белков. Сточные воды с сывороткой представляют угрозу для окружающей среды из-за высокой биологической и химической потребности в кислороде. Установлено, что биохимическая потребность в кислороде (БПК) у сыворотки составляет 30–50 г/л, а химическая потребность в кислороде (ХПК) – 60–80 г/л [9–11]. Сброс сыворотки в реки приводит к снижению уровня растворенного кислорода, проблемам эвтрофикации и токсичности, которые изменяют физико-химические свойства водных экосистем [12].

В 2019 г. вступили в силу поправки к Федеральному закону «О водоснабжении и водоотведении», пред-

усматривающие ужесточение требований к планам по снижению сбросов загрязняющих веществ в промышленные стоки по таким показателям, как БПК и ХПК [5]. В соответствии с требованиями ФЗ, молочная сыворотка должна быть полностью переработана. Цели устойчивого развития, сформулированные ООН на период до 2030 г. и утвержденные в 2015 г., акцентируют внимание на необходимости рационального управления отходами и снижения их выбросов. В условиях современных реалий, определяемых строгими нормативными актами, законами об охране окружающей среды и возрастающим вниманием общества к вопросам здоровья, промышленные предприятия вынуждены разрабатывать и внедрять комплексные подходы к утилизации и вторичному использованию сывороточных отходов [6].

Таким образом, учитывая глобальную ориентацию на повышение эффективности применения вторичного сырья молочного производства в пищевой промышленности и акцентирование внимания на экологической реновации предприятий, приоритетным направлением является углубленное изучение возможностей применения компонентов молочной сыворотки в роли самостоятельных функциональных ингредиентов для пищевых продуктов или в качестве составных элементов специализированных продуктов питания. При этом продукты, относящиеся к категории «функционального питания», должны обладать высокой усвояемостью ингредиентов и пищевой ценностью при низкой калорийности [13].

Сыворотка содержит ≈ 50 % сухих веществ и 20 % от общего количества белков молока. Она является источником лактозы, сывороточного белка, витаминов и молочных минералов. Ее состав представлен более чем 200 компонентами [3]. Различные типы сыворотки производятся в зависимости от методов, используемых для осаждения казеина. Наиболее распространенная сладкая сыворотка получается в результате осаждения казеина сычужным ферментом при pH 6,5 во время производства полутвердых и твердых сыров. Кислая сыворотка – побочный продукт производства сливочного сыра, творога, панира и греческого йогурта, где казеин осаждается молочной кислотой или минеральными кислотами при pH $\approx 4,6$. В целом более 70 % от общего количества сухого вещества в сыворотке составляет лактоза, в то время как 7,5–14 % – белки. Профиль сывороточных белков в основном состоит из β -лактоглобулина, α -лактальбумина, гликомакропептида (присутствует только в сычужной сыворотке из казеина, полученной на первом ферментативном этапе переработки сыра) и ряда второстепенных белковых / пептидных компонентов, таких как иммуноглобулины, бычий сывороточный альбумин, лактоферрин, лактопероксидаза и протеозопептон [14].

При переработке молочной сыворотки получают производные: сухая молочная сыворотка, сухая молочная сыворотка деминерализованная, сухой пермеат, белково-сывороточный концентрат, изолят и гидролизат

сывороточного белка, некоторые изолированные специальные белковые продукты, такие как лактоферрин и др. Сывороточные белки характеризуются высокой пищевой ценностью, обусловленной оптимальным аминокислотным составом, легкостью в переваривании и усвоении в организме [15]. Сывороточные белки играют важную роль в обработке пищевых продуктов в качестве эмульгатора – заменителя жира, желирующего и инкапсулирующего агента, и улучшают сенсорные и текстурные характеристики продуктов питания [3, 16].

Сывороточные белки обладают широким спектром биологических и терапевтических свойств, варьирующихся от противораковых, антигипертензивных и антимикробных эффектов. Многочисленные клинические исследования свидетельствуют об эффективности использования сыворотки в борьбе с такими заболеваниями, как рак, гепатит В, остеопороз, ВИЧ, сердечно-сосудистые заболевания и др. Недавние исследования показали, что употребление сыворотки помогает в профилактике COVID-19 за счет укрепления иммунной системы организма [17, 18].

В последние годы интерес к сыворотке значительно вырос. Сывороточные белки и сыворотка были «заново открыты». Они активно и успешно используются в различных промышленных областях. В пищевой и медицинской – в качестве среды для микрокапсулирования, пищевых покрытий, упаковочных пленок и для получения детской смеси. В мясной отрасли используются при производстве сосисок, колбас и др. продуктов. В молочной отрасли – при изготовлении сыра, мороженого, йогурта, напитков, холодных молочных десертов и др. Сывороточные белки и сыворотка нашли применение при производстве кондитерских, макаронных и хлебобулочных изделий, а также в биотехнологической, фармацевтической, косметической и кормовой промышленности [1, 3, 19, 20]. В 2021 г. мировой рынок сывороточных белков составил 5,33 млрд долл. США. За период 2022–2030 гг. прогнозируется годовой темп роста в 10,48 % [19].

Недавно были опубликованы разработки по превращению сыворотки в товары с добавленной стоимостью: биотопливо (биоэтанол, биодизель и биоводород), биопластики, бактериальная целлюлоза, пищевые красители и ароматизаторы, биозащитные растворы, биоактивные пептиды и белки [21–23].

При получении молочной сыворотки широкого спектра ценных производных в основном используются различные методы ее обработки (термические, физико-химические, электрофизические, химические и биотехнологические, и комбинированные). Цель таких исследований – обеспечить оптимальное выделение и использование всех компонентов молочной сыворотки, в том числе. сывороточных белков. Важна и экологическая составляющая, связанная с безотходной переработкой и сокращением энергетических затрат [24, 25].

Как свидетельствует зарубежный и российский опыт, наиболее эффективный метод выделения белков из сыворотки – использование мембранных процессов, которые позволяют фракционировать, очищать и концентрировать белковые молекулы с сохранением их первоначальных свойств при благоприятных температурных параметрах и наименьших расходах энергии (микрофильтрация, ультрафильтрация, нанофильтрация, диафильтрация и обратный осмос) [25, 26]. Реализованы инновационные подходы к мембранной сепарации компонентов: двухступенчатая нанофильтрация и ультрафильтрационный процесс, гидрофильные модифицированные *UF*-мембраны, гидрофобная мембранная дистилляция, мембранная фильтрация с усилением сдвига и поперечная вибрационная мембранная фильтрация с модифицированными мембранными трубками [27].

Одним из наиболее передовых направлений фракционирования различных пищевых субстратов является мембранное разделение в биореакторах. Для переработки сыворотки перспективны мембранные биореакторы, объединяющие биокаталитические и мембранные процессы, которые используются для протеолиза сывороточных белков с максимальными антигенными, антидиабетическими и антигипертензивными свойствами [28].

Несмотря на преимущества данных методов при использовании в лабораторных условиях, на сегодняшний день они не получили широкого распространения на пищевых предприятиях. Причиной этому послужили высокие экономические затраты и трудности в техническом обслуживании оборудования, недостаточная научная основа (экспериментальная и теоретическая) в изучении мембранных технологий в применении ко множеству пищевых сред, включая молочную сыворотку [15, 26].

Наиболее простым методом выделения белковых фракций из молочной сыворотки считается термическое осаждение с использованием различных химических коагулянтов. Однако применение такого метода способствует значительному уменьшению растворимости белков сыворотки. Термическая обработка молочной сыворотки в диапазоне температур 60–140 °C приводит к трансформации строения и растворимости ее белков, в том числе α -лактальбумина и β -лактоглобулина [29].

Химические компоненты, в частности двухвалентные ионы металлов, хоть и используются для агрегации сывороточных белков, но все же их применение в данном процессе недостаточно исследовано. Например применение хлористого кальция эффективно только в свежей подсырной сыворотке, что обуславливает ограниченность его применения. В связи с отмеченными ранее особенностями для выделения сывороточных белков представляется перспективным применение такого комплексного подхода, как термическая денатурация с введением солей, содержащих другой (аналогичный) по валентности элемент, например

магний. Применение магния не окажет негативного влияния на процесс выделения белка из-за химического сходства между магнием и кальцием [29].

Магний является важным элементом для правильного развития и функционирования различных систем организма (сердечно-сосудистая, скелетная, мышечная, нервная, эндокринная и др.). Магний – важнейший кофактор в широком спектре биологических процессов, охватывающих более 600 видов деятельности, к которым относится регуляция прогрессирования клеточного цикла, дифференцировки и апоптоза. Он выполняет структурную функцию в нуклеиновых кислотах благодаря своей способности образовывать комплексы с отрицательно заряженными соединениями, такими как фосфаты. Магний участвует в различных биохимических процессах, включая окислительное фосфорилирование, генерацию энергии, синтез белков и нуклеиновых кислот и гликолиз. Этот фундаментальный ион также влияет на возбудимость нейронов, снижение мышечной функции и поддержание регулярного сердцебиения посредством активного транспорта других ионов через клеточные мембраны. Согласно недавнему исследованию, иммунные Т-клетки, которые борются с раковыми клетками и инфекционными агентами, нуждаются в достаточном количестве Mg для эффективного обнаружения, активации ответа и устранения патогенов [30].

Присутствие в молочной сыворотке двухвалентных металлических ионов, включая кальций и магний, приводит к значительному уменьшению растворимости белков сыворотки при термическом воздействии. Оптимальным подходом к регуляции растворимости белков является применение гидролитического процесса, который будет способствовать повышению их растворимости в кислотной среде в присутствии ионов магния [29]. Гидролиз белков может осуществляться посредством ферментативного расщепления как индивидуальными ферментами (пептидазами), так и с участием микроорганизмов в ферментированных системах [23]. Использование молочнокислых бактерий с высокой протеолитической активностью позволяет получать ферментированные сывороточные белки с различной биологической активностью. Молочнокислые бактерии обладают отличительной протеолитической системой, включающей протеазу клеточной оболочки, транспортную систему и внутриклеточную пептидазу. Среди ее способностей – разрушение эпитопов молочных аллергенов и смягчение симптомов аллергии путем высвобождения пептидов с иммунорегуляторными свойствами. Микробиологическая ферментация считается более экономичной и безопасной по сравнению с ферментативным гидролизом [14].

Интеграция двух методов для выделения белка – термической денатурации в присутствии ионов магния и последующей ферментации белковой фракции молочнокислыми бактериями – будет способствовать максимальному увеличению выхода и чистоты сыворо-

точного белка с минимальными изменениями функциональных (технологических и биологических) свойств.

Цель работы – получить из творожной сыворотки обогащенный белковый продукт с использованием магниевой термокоагуляции белков и дальнейшей ферментации комплексной лактобактериальной закваской.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в научных лабораториях кафедры «Технология продуктов животного происхождения. Товароведение» Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. Объектом послужила творожная сыворотка, выработанная методом кислотно-сычужной коагуляции в процессе производства творога с массовой долей жира 9 %. Температура была доведена до +35–40 °С посредством водяной бани с последующим удалением жира и казеиновой пыли на сепараторе-сливкоотделителе. Осветление сыворотки с получением пермеата проводили методом тепловой денатурации при 92 ± 1 °С путем добавления 10 % раствора соли $MgCl_2 \times 6H_2O$ в концентрациях 2–42 г/л, выраженных в сухой соли. Выделившийся белок отфильтровывали на приборе вакуумного фильтрования ПВФ-47/1 НБ. Исследование процесса ферментации сывороточных белков проводили с применением четырехштаммовой закваски молочнокислых микроорганизмов: *Lactobacillus curvatus* LCR-111-1, *L. plantarum* 8PA3, *L. fermentum* 44/1, *L. paracasei* к-406, которые были получены из Национального биоресурсного центра Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт» (ГосНИИгенетика).

В ходе исследований использованы общепринятые стандартные методы: отбор проб и подготовка их к испытаниям (ГОСТ 3622-68); массовая доля влаги и сухих веществ (ГОСТ 3626-73); массовая доля жира (кислотный метод Гербера – ГОСТ 5867-90); массовая доля белка (метод Кьельдаля – ГОСТ Р 53951-2010); титруемая кислотность (ГОСТ 54669-2011 – титриметрический метод). Определение магния проводилось объемным методом (с добавлением оксалата аммония) с применением атомно-абсорбционного спектрофотометра Solar M-6 с пламенным атомизатором в Байкальском институте природопользования СО РАН. Степень гидролиза белка определялась путем вычисления отношения аминного азота к общему содержанию азота. Количество аминного азота в растворе определили с помощью метода формольного титрования, а концентрацию белковых веществ – методом Кьельдаля. Индекс растворимости сухого молочно-белкового концентрата определялся по ГОСТ Р ИСО 8156-2010. Для определения количества клеток лактобактерий применяли метод предельных разведений на питательной среде MRS-агар (ГОСТ Р 56139-2014).

Экспериментальные данные обрабатывали с использованием прикладных сервисных программ Microsoft Office Excel 2019.

Результаты и их обсуждение

Процесс денатурации сывороточных белков зависит от типа и количества применяемого коагулянта и от параметров и длительности термической обработки. В рамках данной работы рассмотрены влияние количества коагулянта на денатурацию белков сывотки и содержание макроэлемента в протеиновой фракции и сывоточном пермеате. Нагрев сывотки производился до температуры 85 °С, после чего образец выдерживался при данной температуре в течение 5–10 мин для исключения влияния растворимого кальция на процесс. Далее в образец добавляли разное количество хлорида магния (2–42 г/л в форме 10 % раствора при температуре 92 °С) и определяли выход белковых фракций, а также содержание макроэлемента в белке и пермеате. Полученные экспериментальные данные представлены в таблице 1.

В ходе анализа данных таблицы 1 было установлено, что добавление магния при термической коагуляции приводило к денатурации и выделению белков сывотки. Данный факт подтверждается большим весом выделившегося белка по сравнению с контрольным образцом (образец 1). Белковые сгустки, полученные с использованием солевой денатурации, обладали более мягкой и хлопьевидной структурой по сравнению с контрольным образцом, что свидетельствует о меньшей агрегации белковых частиц. Добавление хлорида магния до 18 г/л способствовало задержке более 50 % макроэлемента в белковой фракции (образцы 2–10). Увеличение его дозировки приводило к большему выделению макроэлемента с сывоточным пермеатом. При дозировке хлорида магния 18 г/л (образец 10) наблюдался максимальный выход осаждаемого белка (25 г из 1 л сывотки) при содержании 2,4 мг магния

Таблица 1. Влияние дозировки коагулянта на выход сывоточных белков, содержание магния и характеристику полученных сгустков ($p \leq 0,05$)

Table 1. Effect of coagulant share on whey protein yield, magnesium content, and clots ($p \leq 0.05$)

Номер образца	Дозировка $\text{MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$, г/л	Содержание Mg, мг/кг		Выход белка, г/л	Характеристика сгустка и сывотки		
		Белковый сгусток	Пермеат		Сгусток	Вкус	Сыворотка
1 (контроль)	0	163,63	135,2	$15,0 \pm 0,5$	рыхлый, хлопьевидный	кислый	мутная, желто-зеленого цвета
2	2,0	455,00	409,9	$16,0 \pm 0,5$	рыхлый, хлопьевидный, мягкий	кисловатый	мутная, желто-зеленого цвета
3	4,0	634,70	619,5	$17,0 \pm 0,5$	рыхлый, хлопьевидный, мягкий	кисловатый	мутная, желто-зеленого цвета
4	6,0	843,90	798,3	$18,0 \pm 0,5$	белковый, мягкий	солоноватый	желтого цвета
5	8,0	1546,70	1275,5	$19,0 \pm 0,5$	рыхлый, мягкий	солоноватый	мутная, желтого цвета
6	10,0	2032,40	1625,9	$20,0 \pm 0,5$	белковый, пастообразный, мягкий	солоноватый	желтого цвета
7	12,0	2222,65	1832,7	$21,0 \pm 0,5$	белковый, пастообразный, мягкий	с легкой горечью	желтого цвета
8	14,0	2454,90	2250,6	$22,0 \pm 0,5$	белковый, пастообразный, мягкий	с легкой горечью	желтого цвета
9	16,0	2117,41	2102,8	$23,0 \pm 0,5$	белковый, пастообразный, мягкий	с легкой горечью	желтого цвета
10	18,0	2462,80	2395,4	$25,0 \pm 0,5$	белковый, пастообразный, мягкий	с легкой горечью	желтого цвета
12	30,0	4128,65	4652,0	$24,0 \pm 0,6$	белковый, пастообразный, мягкий	горький	желтого цвета
13	42,0	4419,40	4906,6	$23,0 \pm 0,5$	белковый, пастообразный, мягкий	очень горький	желтого цвета

в 1 г белка ($p \leq 0,05$). Дальнейшее увеличение количества используемого коагулянта ($\text{MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$) не способствовало повышению выхода белка, напротив, органолептические показатели сгустка ухудшились (образцы 12,13). Повышение концентрации магния в белковых коагулятах при увеличении его дозировки обусловлено его взаимодействием с сывороточными белками в процессе коагуляции. Данный факт может быть обусловлен как активной сорбцией ионов магния на поверхности белковой частицы, так и формированием устойчивых хелатных комплексов [31].

Для подтверждения хелатной формы полученного комплекса магния с белковыми структурами был проведен ИК-спектроскопический анализ контрольного образца и белкового сгустка, выделенного при внесении 18 г/л магниевой соли (рис. 1).

Металлические комплексы или хелаты в основном имеют ковалентную природу, и в спектрах таких соединений доминантным является вклад лигандов и их координационная химия [32]. Металлоорганические соединения содержат лиганды, связанные через углеродные связи с атомами металла или ионами. У металлоорганических соединений металлоуглеродные валентные волновые числа проявляются в диапазоне $600\text{--}400\text{ см}^{-1}$, при этом более легкие металлы имеют полосы при более высоких значениях. Именно в этом диапазоне наблюдался скачок ИК-спектра у опытного образца – белкового сгустка, выделенного при внесении 18 г/л магниевой соли. Данный пик входит в диапазон ИК-спектра гипотетической модели, что свидетельствует об образовании химических связей между магнием и сывороточными белковыми структурами.

Макро- и микроэлементы в составе хелатного комплекса (т. е. в органической форме), в отличие от их ионной (т. е. неорганической) формы, не требуют дополнительных модификаций в организме, активно всасываются клетками кишечного эпителия, что повышает их биодоступность [33].

Сывороточные белки обладают уникальными особенностями, и их применение способствует открытию перспектив для получения белковых добавок, обогащенных магнием. Для минимизации риска аллергических реакций, вызываемых сывороточными белками, требуется их биотрансформация с использованием микроорганизмов. Она активизирует биохимические процессы в белковой системе, улучшает органолептические свойства и повышает пищевую и биологическую ценность продукта [3].

Пробиотические бактерии являются наиболее перспективными для проведения биотрансформации, поэтому использование бактерий семейств *Lactococcus* и *Lactobacillus* позволяет снизить аллергенность молочной сыворотки [34].

В предыдущих исследованиях была разработана закваска на основе консорциума четырех штаммов пробиотических культур (*Lactobacillus curvatus* LCR-111-1, *L. plantarum* 8PA3, *L. fermentum* 44/1, *L. paracasei* к-406). Для них характерна общая оптимальная температура культивирования, составляющая $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, сходная динамика роста и высокая устойчивость к бактериоцинам, продуцируемым каждым из них. Совместное культивирование выбранных штаммов способствовало сокращению цикла ферментации, а также количественному увеличению живых клеток *Lactobacillus*,

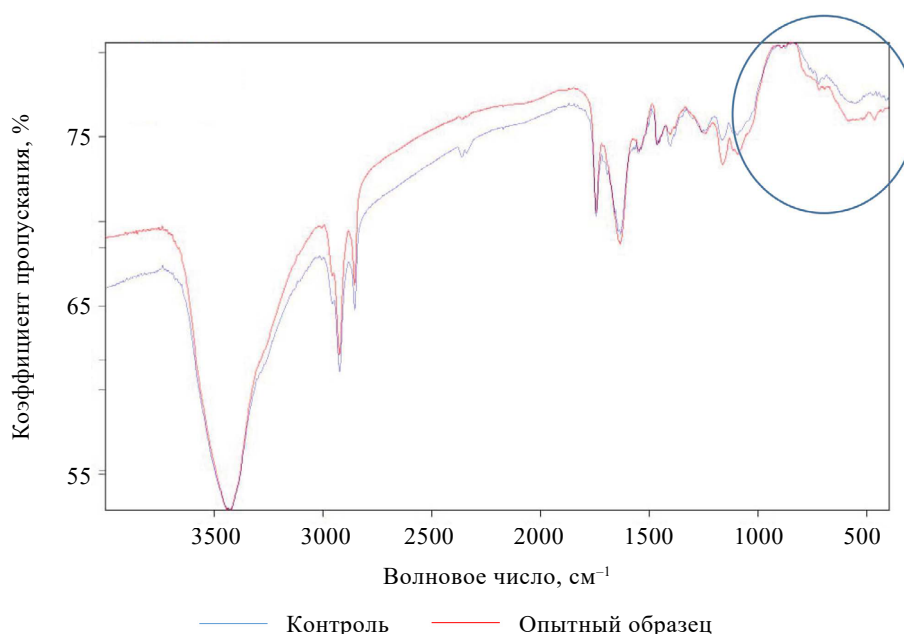


Рисунок 1. ИК-спектроскопический анализ связанных форм магния с белковыми структурами молочной сыворотки

Figure 1. IR spectroscopy of bound magnesium with protein whey structures

по сравнению с применением монозаквасок. Данный консорциум обладал высокими производственными, функциональными и технологическими свойствами [35].

Процесс ферментации магнийсодержащей белковой массы разработанной поликомпонентной пробиотической закваской был изучен. Магнийсодержащий концентрат термически осажденных белков молочной сыворотки (далее – Mg-содержащий концентрат), полученный в соответствии с выбранными ранее технологическими режимами, охлаждали до 37 ± 2 °C, удаляли ≈ 50 –60 % сыворотки и добавляли разную дозировку поликомпонентной закваски. Ферментацию проводили путем внесения 3, 5, 7 и 10 % закваски до достижения кислотности сгустков 88–90 °T. Эта кислотность считается наиболее подходящей для ферментированных белковых продуктов с позиции качества и диетических свойств. По увеличению показателя кислотности и росту клеток судили об активности биохимических процессов у лактобактерий в процессе ферментации (табл. 2, рис. 2).

Из экспериментальных данных следует, что *Lactobacillus* хорошо развивались в Mg-содержащем концентрате, хотя темп роста кислотности был несколько замедлен (табл. 2). Высокая биологическая ценность белков сыворотки, вероятно, создает благоприятные условия для развития пробиотических лактобактерий. Отмечено, что с увеличением дозировки закваски

наблюдалось увеличение титруемой кислотности во всех исследуемых образцах. Увеличение дозировки закваски с 3 до 5–7 % приводило к сокращению продолжительности процесса ферментации на 2 ч, таким образом, через 4 ч процесса достигалась необходимая кислотность – 90 °T ($p \leq 0,05$). При дальнейшем увеличении дозировки закваски до 10 % продолжительность ферментации сокращалась незначительно.

Из данных, приведенных на рисунке 2, следует, что лактобактерии начинали развиваться в Mg-содержащем концентрате на раннем этапе культивирования. После 2 ч процесса ферментации при внесении 5, 7 и 10 % закваски во всех исследуемых образцах концентрация живых лактобактерий достигала $(1\text{--}5) \times 10^5$ КОЕ/см³, а через 4 ч количество клеток лактобактерий возрастало до $(2\text{--}6) \times 10^8$ КОЕ/см³ ($p \leq 0,05$). Дальнейшее увеличение времени (до 6 часов) ферментации не приводило к увеличению количества клеток лактобактерий.

Белки в процессе пищеварения расщепляются до пептидов и отдельных аминокислот, которые затем попадают в кровь. Пептиды, образующиеся в процессе гидролиза белка, обладают рядом биоактивных свойств, главное из которых – более быстрое усвоение по сравнению с исходной белковой молекулой.

В процессе ферментации комбинированной закваской *Lactobacillus* была определена степень ферментативного гидролиза белковых сгустков. В качестве

Таблица 2. Влияние дозировки пробиотической закваски на активность кислотообразования при ферментации Mg-содержащего концентрата ($p \leq 0,05$)

Table 2. Effect of probiotic starter share on acid-forming activity during fermentation of magnesium-containing concentrate ($p \leq 0.05$)

Дозировка закваски, %	Кислотность, °T					
	1 ч	2 ч	3 ч	4 ч	5 ч	6 ч
3	63,0 ± 3,0	69,0 ± 1,0	74,0 ± 1,0	82,0 ± 2,0	86,0 ± 1,0	90,0 ± 1,0
5	64,0 ± 2,0	70,0 ± 3,0	78,0 ± 2,0	90,0 ± 1,0	92,0 ± 2,0	98,0 ± 2,0
7	65,0 ± 1,0	72,0 ± 1,0	84,0 ± 1,0	91,0 ± 1,0	96,0 ± 2,0	99,0 ± 1,0
10	66,0 ± 2,0	73,0 ± 2,0	85,0 ± 1,0	93,0 ± 3,0	99,0 ± 1,0	103,0 ± 1,0

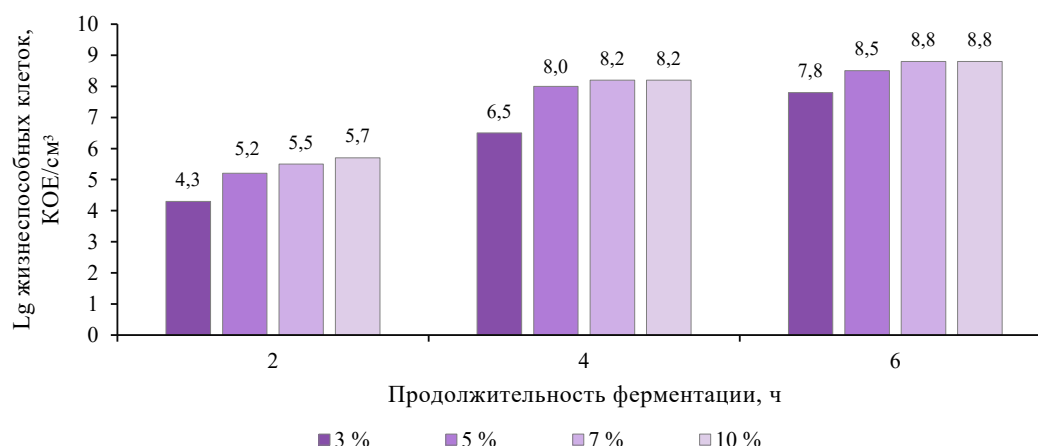


Рисунок 2. Влияние дозировки пробиотической закваски на рост клеток лактобактерий

Figure 2. Effect of probiotic starter share on lactobacilli cell growth

контроля рассматривали гидролиз с применением фермента животного происхождения (пепсин) при соотношении фермент:субстрат – 1:100.

Для ферментации сывороточных белковых сгустков лактобактериями достаточно 4 ч, далее увеличение степени гидролиза не отмечалось (рис. 3). Эффективность гидролиза протеиназами четырех штаммов *Lactobacillus* сопоставима с гидролизом пепсином, что свидетельствует о больших перспективах использования комбинированной закваски на основе подобранного микробного консорциума в качестве источника протеаз в различных отраслях пищевой промышленности и биотехнологии.

В таблице 3 приведены результаты исследований, отражающие влияние процесса ферментации закваской на формирование основных органолептических показателей Mg-содержащего концентрата. Контролем служил концентрат, полученный путем термоосаждения с использованием хлорида магния без ферментации.

Органолептический анализ исследуемых образцов показал, что ферментированный образец Mg-содержащего концентрата обладал лучшими показателями

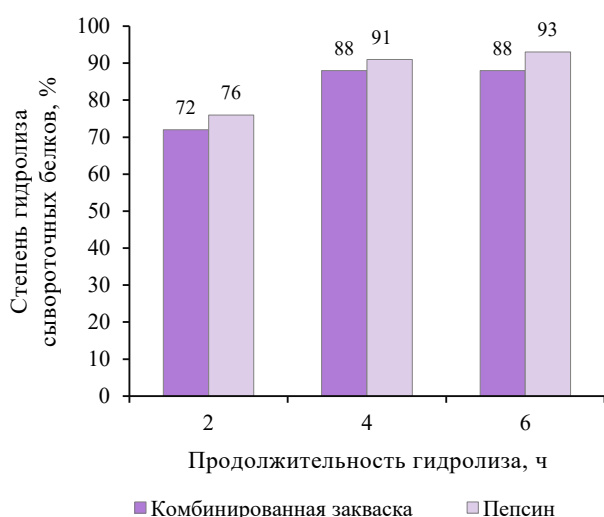


Рисунок 3. Динамика гидролиза сывороточных белков в процессе ферментации Mg-содержащего концентрата поликомпонентной закваской и пепсином

Figure 3. Whey protein hydrolysis during fermentation of magnesium-containing concentrate with multicomponent starter and pepsin

по сравнению с контролем. После ферментации в образце не только улучшалась консистенция, но и практически полностью пропадал горький привкус.

Применение ферментации белковых масс лактобактериальной закваской способствовало активизации процесса протеолиза в Mg-содержащем концентрате и созданию необходимых органолептических и физико-химических свойств и увеличивало у продукта пищевую и биологическую ценность. Лактобактерии активно развивались в белковом субстрате, выделенном из сывотки методом термомагниевого осаждения. Данное обстоятельство указывает на пребиотические свойства сывороточных белков. Выполненные исследования позволили установить следующие рациональные режимы ферментации Mg-содержащего концентрата комбинированной закваской: дозировка закваски – 5–7 %, продолжительность ферментации – 4 ч.

В соответствии с данными литературы, дополнительное введение в среду любого металла неизбежно повлияет на развитие и активность бактерий, изменяя интенсивность и направленность биохимических и микробиологических процессов [36]. При взаимодействии микроорганизмов с металлами биологический эффект будет зависеть от степени токсичности и метаболического потенциала микроорганизмов. Практически по отношению к любому элементу могут быть установлены три значения его концентрации, при которых: металл нужен для поддержания нормального метаболизма клетки; металл находится в избытке и ингибирует метаболизм; металл в смертельной дозировке необратимо подавляет развитие клеточной популяции.

В связи с этим определено влияние магния в концентрате на жизнеспособность лактобактерий (табл. 4). Контролем послужил концентрат, полученный термическим осаждением без внесения каких-либо коагулянтов и ферментированный комбинированной закваской.

Обогащение концентрата магнием оказывало существенное влияние на рост и развитие лактобактерий (табл. 4). Магний в количестве 185 мг/100 г повышал активность роста пробиотических культур. В течение всего процесса ферментации количество жизнеспособных клеток *Lactobacillus* в Mg-содержащем концентрате на 1–2 порядка выше, чем в контроле. Данное обстоятельство свидетельствует об интенсификации метаболизма пробиотических лактобактерий в присутствии ионов магния.

Таблица 3. Органолептические показатели Mg-содержащего концентрата после ферментации

Table 3. Sensory profile of magnesium-containing concentrate after fermentation

Образец	Консистенция	Вкус и запах	Цвет
Контроль	Однородная, белковая, суховатая, плотная	Чистый, слегка горьковатый, с соленым привкусом	Белый с сероватым оттенком
Mg-содержащий концентрат, ферментированный комбинированной закваской	Однородная, нежная, белковая, мажущаяся	Чистый, кисломолочный	Белый с сероватым оттенком

Таблица 4. Влияние магния на рост лактобактерий при ферментации концентрата сывороточного белка

Table 4. Effect of magnesium on lactobacilli during fermentation of whey protein concentrate

Образец	Количество жизнеспособных клеток лактобактерий во время ферментации, КОЕ/см ³			
	2 ч	4 ч	6 ч	8 ч
Контроль	1×10^4	3×10^6	2×10^7	5×10^7
Mg-содержащий концентрат	3×10^5	2×10^8	4×10^8	1×10^9

Таблица 5. Элементный состав обогащенных магнием молочно-белковых концентратов

Table 5. Elemental composition of magnesium-fortified milk protein concentrates

Исследуемый спектр	Элементный состав, в весовых %							
	C	O	P	S	Cl	K	Ca	Mg
Mg-содержащий концентрат неферментированный								
Спектр 1	52,22	37,51	2,69	1,67	1,00	1,05	0,97	2,90
Спектр 2	57,00	36,70	1,76	1,05	0,54	0,43	0,32	2,20
Спектр 3	63,36	27,53	3,00	1,54	0,97	0,92	0,78	1,90
Среднее	57,52	33,91	2,48	1,42	0,84	0,80	0,69	2,30
Ст. откл.	5,18	5,29	0,65	0,34	0,26	0,32	0,33	0,24
Mg-содержащий концентрат, ферментированный комбинированной закваской								
Спектр 1	44,72	45,50	2,13	0,50	0,48	0,45	0,98	5,24
Спектр 2	43,40	48,98	1,80	0,43	0,25	0,19	0,67	4,28
Спектр 3	60,76	30,11	2,36	0,66	0,65	0,39	0,94	4,13
Спектр 4	42,63	51,15	1,74	0,37	0,24	0,25	0,33	3,29
Среднее	487,87	43,90	2,05	0,49	0,40	0,34	0,76	4,23
Ст. откл.	8,29	9,51	0,29	0,13	0,19	0,12	0,86	0,85

Далее был рассмотрен профиль распределения элементного состава ферментированного и неферментированного Mg-содержащего концентрата (табл. 5, рис. 4). Ферментация приводила к значительному увеличению в исследуемых образцах содержания магния. Количество магния в концентрате, ферментированном комбинированной закваской, возрастало в 1,8 раза (по среднему показателю) ($p \leq 0,05$). Представленные результаты исследований подтверждают, что пробиотические культуры способны аккумулировать на своей поверхности значительное количество ионов макроэлементов в различных формах, создавая тем самым своеобразное «депо» этих катионов [30, 37]. Связанный таким образом магний не теряется с сывороткой при обезвоживании белковых стустков.

Наличие магния в концентрате значительно влияло на рост и жизнеспособность пробиотических культур. Пробиотические лактобактерии, повышали количество и усвояемость данного элемента в ферментированном концентрате.

Сушка полученного ферментированного Mg-содержащего концентрата является одним из эффективных способов сохранения качества для его дальнейшего использования. Были подобраны параметры сублимационного высушивания, которые обеспечивали минимальные повреждения белковых структур и повышали сроки хранения продукта.

Для сохранения природных свойств разрабатываемого продукта и с учетом термостабильности лактобактерий начальный температурный параметр сушки

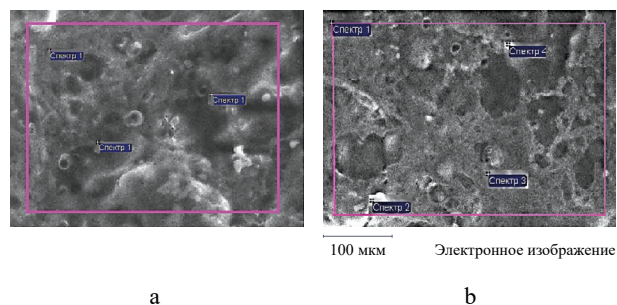


Рисунок 4. Микроструктура образцов:
а – Mg-содержащий концентрат неферментированный;
б – Mg-содержащий концентрат, ферментированный комбинированной закваской

Figure 4. Microstructural analysis: a – unfermented magnesium-containing concentrate; b – magnesium-containing concentrate fermented with complex starter

замороженного концентрата составил -18°C . Досушивание осуществляли при щадящем температурном режиме: -40°C под давлением от 0,13 до 1,3 Па. Сушку приостанавливали после достижения заданной остаточной влажности, не превышающей 5 %, при этом продолжительность процесса составляла в среднем 18–20 ч. Дальнейшее увеличение времени высушивания не приводило к уменьшению массовой доли влаги в продукте. В таблице 6 приведены качественные показатели Mg-содержащего концентрата до и после высушивания.

Таблица 6. Качественные показатели Mg-содержащего ферментированного концентрата до и после высушивания ($p \leq 0,05$)

Table 6. Qualitative parameters of magnesium-containing fermented concentrate before and after drying ($p \leq 0.05$)

Определяемые показатели	До высушивания	После высушивания
Внешний вид	Однородная, нежная, белковая, мажущаяся консистенция	Пористые комочки разного размера, легко рассыпающиеся при сдавливании
Запах и вкус	Чистый, кисломолочный	Без запаха, кисломолочный
Цвет	Белый с сероватым оттенком	Белый с сероватым оттенком
Массовая доля магния, мг/100 г	$246,0 \pm 0,7$	$907,0 \pm 0,4$
Массовая доля белка, %	$13,0 \pm 0,6$	$40,0 \pm 0,2$
Массовая доля влаги, %	$45,0-50,0$	$4,0 \pm 0,9$
Индекс растворимости, см ³ сырого осадка	–	$0,5 \pm 0,8$
Количество жизнеспособных клеток лактобактерий, КОЕ/см ³	$(2-6) \times 10^8$	$(1-3) \times 10^7$

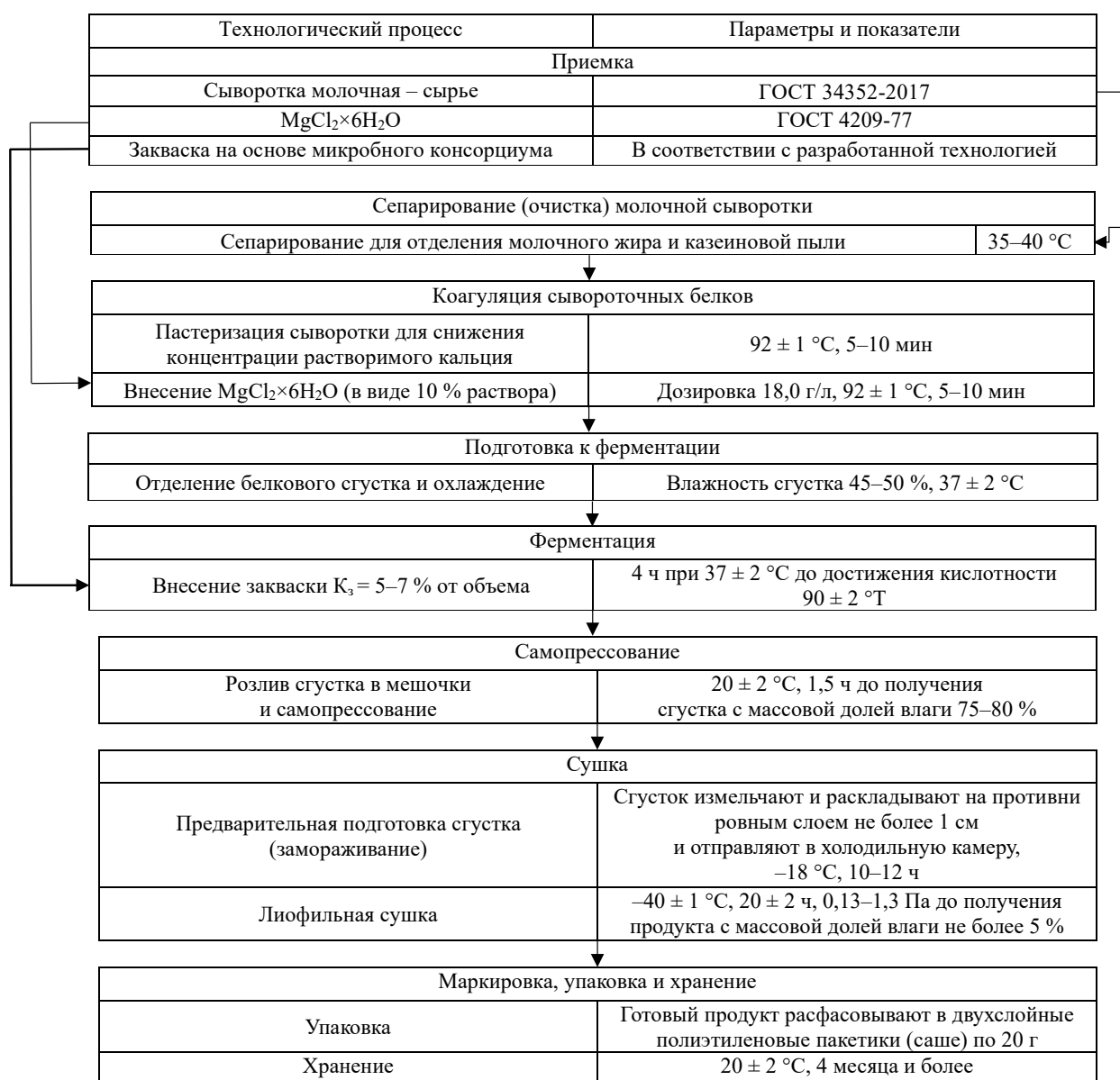


Рисунок 5. Технологическая схема получения сухого ферментированного Mg-содержащего белкового концентрата

Figure 5. Technological scheme for fermented magnesium-containing protein concentrate powder

Таблица 7. Качественные показатели ферментированного белкового концентрата, обогащенного магнием и пробиотическими культурами ($p \leq 0,05$)Table 7. Qualitative indicators of fermented protein concentrate fortified with magnesium and probiotic cultures ($p \leq 0.05$)

Показатели		Характеристики
Внешний вид		Пористые комочки разного размера, рассыпающиеся при сдавливании
Вкус и запах		Без запаха, кисломолочный
Цвет		Белый с сероватым оттенком
Содержание магния мг/100 г		907,0 $\pm$ 0,4
Массовая доля влаги, %		4,0 $\pm$ 0,9
Массовая доля белка, %		40,0 $\pm$ 0,2
Индекс растворимости, см ³ сырого осадка		0,5 $\pm$ 0,8
Активная кислотность, pH		4,0–4,5
Количество жизнеспособных клеток лактобактерий, КОЕ/см ³		(1–3) $\times$ 10 ⁷
Объем (масса) продукта, см ³ (г), в котором не допускаются	БГКП (колиформы)	1
	Патогенные, в том числе сальмонеллы:	25
	Стафилококки <i>S. aureus</i>	1
	Листерии <i>L. monocytogenes</i>	–
Дрожжи, плесени, КОЕ/см ³ (г), не более		–

После высушивания у концентрата значительно увеличилось содержание магния и белка. Так, было установлено, что применение лиофильного высушивания ферментированного продукта способствовало увеличению массовой доли белковых веществ в Mg-содержащем концентрате в 3 раза по сравнению с контролем ($p \leq 0,05$). Количество магния в концентрате увеличивалось в 3,7 раза ($p \leq 0,05$). После процесса сушки количество жизнеспособных клеток лактобактерий оставалось на достаточно высоком уровне и составляло порядка 10^7 КОЕ/см³. Таким образом, выбранный режим высушивания (–40 °C в течение 18–20 ч) обеспечивал значительное увеличение содержания магния и белка при достаточно высоком уровне выживаемости пробиотических лактобактерий в концентрате.

На основе полученных экспериментальных данных была составлена технологическая схема получения сухого белкового концентрата, обогащенного функциональными компонентами (магнием и пробиотическими культурами), а также способствующая реализации принципа безотходной технологии (рис. 5).

Готовая сухая ферментированная белковая добавка, обогащенная магнием и пробиотическими культурами, должна удовлетворять требованиям, представленным в таблице 7.

Представленная технология обеспечивает получение магнийсодержащего белкового концентрата с многофункциональными свойствами и высокой биологической ценностью. Употребление разработанного белкового продукта индивидуально или включение его как компонента в другие продукты питания позволит не только восстановить недостаточное количество белка и магния в организме, но и стабилизировать желудочно-кишечный микробиом. Функциональные показатели

разработанного обогащенного концентрата открывают широкий спектр возможностей для его использования в различных сферах пищевой индустрии.

Выводы

Полученные экспериментальные данные подтверждают, что молочная сыворотка, которая изначально на протяжении десятилетий рассматривалась как бесполезный побочный продукт производства, сегодня приобрела значение как ценный источник функциональных компонентов, обладающих высокой усвояемостью.

Установлен оптимальный режим термомагнито-денатурации молочной сыворотки – температура 92 ± 1 °C, продолжительность 5–10 мин и количество $MgCl_2$ равное 18 г/л – способствующий максимальному выходу белка (25,0 г/л) и содержанию Mg (2,4 мг/г). Ферментация магниевого концентрата термически осажденных белков молочной сыворотки лактобактериальной закваской приводила к активизации протеолиза и формированию у продукта необходимых физико-химических и органолептических показателей. Сублимационная сушка при температуре –40 °C в течение 18–20 ч позволила получить сухой Mg-содержащий концентрат с высоким количеством живых клеток лактобактерий ($1-3 \times 10^7$) и содержанием магния 907 мг/100 г белка.

Объединение нескольких операций (термохимическая коагуляция и микробная ферментация) в единый биологический процесс способствовало извлечению компонентов молочной сыворотки с ценными функциональными свойствами и максимальному использованию ее потенциала. Предлагаемый метод переработки сыворотки содействует разрешению экологической проблемы, связанной с ее утилизацией, и одновременно обеспечивает производство безо-

пасной и высококачественной продукции, обладающей функциональными свойствами.

Таким образом, открывая новые аспекты и развивая существующие методы, была разработана технология получения из молочной сыворотки концентрата термически осажденных белков. Они обогащены магнием и пробиотическими культурами, поэтому эту технологию можно использовать для создания новых функциональных продуктов, минимизируя потребляемые ресурсы и снижая негативное влияние на окружающую среду.

Исследования по использованию сывороточного белка имеют большой потенциал в различных областях. Разработка новых функциональных продуктов питания, включающих сывороточные белки, может потенциально решить проблему некоторых неинфекционных заболеваний и иметь дополнительные преимущества с точки зрения технологических (сенсорных и текстурных) характеристик.

Разработка новых адаптивных процессов и инновационных продуктов из сывороточного белка открывает

большие перспективы для этих технологий. Но их внедрение в промышленные условия потребует модернизации перерабатывающих предприятий, обучения производственного персонала.

Критерии авторства

Авторы в равной степени принимали участие в исследовании и оформлении рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

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

Conflict of interest

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

Список литературы / References

1. Buchanan D, Martindale W, Romeih E, Hebishy E. Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. *International Journal of Dairy Technology*. 2023;76(2):291–312. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12935>
2. Perez-Marroquín XA, Estrada-Fernández AG, García-Ceja A, Aguirre-Álvarez G, León-López A. Agro-food waste as an ingredient in functional beverage processing: Sources, functionality, market and regulation. *Foods*. 2023;12(8):1583. <https://doi.org/10.3390/foods12081583>
3. Паладий И. В., Вrabie Е. Г., Спринчан К. Г., Болога М. К. Молочная сыворотка: обзор работ. Часть 1. Классификация, состав, свойства, производные, применение. Электронная обработка материалов. 2021. Т. 57. № 1. С. 52–69. [Paladii IV, Vrabie EG, Sprincian CG, Bologa MK. Whey: The state of the Art. Part I. Classification, composition, properties, derivatives, applications. *Electronic processing of raw materials*. 2021;57(1):52–69. (In Russ.)] <https://doi.org/10.5281/zenodo.4456698>
4. Мельникова Е. И., Богданова Е. В., Павельева Д. А. Мировой и российский рынок сывороточных ингредиентов. *Молочная промышленность*. 2020. № 8. С. 56–58. [Melnikova EI, Bogdanova EV, Paveleva DA. The world and Russian market of whey ingredients. *Dairy Industry*. 2020;(8):56–58. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WZHSMF>
5. Кручинин А. Г., Шилова Е. Е. Исследование процесса баромембраной фильтрации подсырной и творожной сывороток. Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством. 2020. Т. 1. № 1. С. 298–305. [Kruchinin AG, Shilova EE. The investigation of the process of cheese whey and quark whey barometric filtration. *Current issues of the dairy industry, inter-industry technologies, and quality management systems*. 2020;1(1):298–305. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-298-305>
6. Soumati B, Atmani M, Benabderrahmane A, Benjelloun M. Whey valorization – Innovative strategies for sustainable development and value-added product creation. *Journal of Ecological Engineering*. 2023;24(10):86–104. <https://doi.org/10.12911/22998993/169505>
7. Guo M, Wang G. History of whey production and whey protein manufacturing. In: Guo M, editor. *Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2019. pp. 1–12. <https://doi.org/10.1002/9781119256052.ch1>
8. El-Aidie SAM, Khalifa GSA. Innovative applications of whey protein for a sustainable dairy industry: Environmental and technological perspectives – a comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2024; 23(2):e13319. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13319>
9. Chen GQ, Qu Y, Gras SL, Kentish SE. Separation technologies for whey protein fractionation. *Food Engineering Reviews*. 2023;15(3):438–465. <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09330-2>
10. Smithers GW. Whey and whey proteins from ‘gutter-to-gold’. *International Dairy Journal*. 2008;18(7):695–704. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008>

11. Smithers GW. Whey-ing up the options – Yesterday, today and tomorrow. *International Dairy Journal*. 2015;48:2–14. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.01.011>
12. Ayed L, M'hir S, Asses N. Sustainable whey processing techniques: Innovations in derivative and beverage production. *Food Bioscience*. 2023;53:102642. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102642>
13. Молибога Е. А., Сухостав Е. В., Козлова О. А., Зинич А. В. Анализ рынка функционального питания: российский и международный аспект. Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 775–786. [Moliboga EA, Sukhostav EV, Kozlova OA, Zinich AV. Functional food market analysis: Russian and international aspects. *Food Processing: Techniques and technology*. 2022;52(4):775–786. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2405>
14. Minj S, Anand S. Whey proteins and its derivatives: Bioactivity, functionality and current applications. *Dairy*. 2020;1(3):233–258. <https://doi.org/10.3390/dairy1030016>
15. Мельникова Е. И., Станиславская Е. Б., Богданова Е. В., Шабалова Е. Д. Особенности получения и применения мицеллярного казеина в технологии молокоемких белковых продуктов. Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 592–601. [Melnikova EI, Stanislavskaya EB, Bogdanova EV, Shabalova ED. Micellar casein production and application in dairy protein industry. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(3):592–601. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2389>
16. O'Donoghue LT, Murphy EG. Nondairy food applications of whey and milk permeates: Direct and indirect uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2023;22(4):2652–2677. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13157>
17. Pillai AT, Morya S, Kasankala LM. Emerging trends in bioavailability and pharma-nutraceutical potential of whey bioactives. *Journal of Nutrition and Metabolism*. 2024;2024(1):8455666. <https://doi.org/10.1155/2024/8455666>
18. Zhao C, Chen N, Ashaolu TJ. Whey proteins and peptides in health-promoting – A review. *International Dairy Journal*. 2022;126:105269. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105269>
19. Hameed A, Anwar MJ, Perveen S, Amir M, Naeem I, et al. Functional, industrial and therapeutic applications of dairy waste materials. *International Journal of Food Properties*. 2023;26(1):1470–1496. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2213854>
20. Jakopović KL, Jurina IB, Božanić R. Trends in utilization of whey and buttermilk – Valuable by-products of the dairy industry. In: Spizzirri UG, editor. *Nutraceuticals from Agri-Food By-Products*. Beverly, MA: Scrivener Publishing; 2023. pp. 245–283. <https://doi.org/10.1002/9781394174867.ch8>
21. Goyal C, Dhyani P, Rai DC, Tyagi S, Dhull SB, et al. Emerging trends and advancements in the processing of dairy whey for sustainable biorefining. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2023;2023(1):6626513. <https://doi.org/10.1155/2023/6626513>
22. Soumati B, Atmani M, Benabderrahmane A, Benjelloun M. Whey valorization – Innovative strategies for sustainable development and value-added product creation. *Journal of Ecological Engineering*. 2023;24(10):86–104. <https://doi.org/10.12911/22998993/169505>
23. Olvera-Rosales LB, Cruz-Guerrero AE, García-Garibay JM, Gómez-Ruiz LC, Contreras-López E, et al. Bioactive peptides of whey: Obtaining, activity, mechanism of action, and further applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023;63(30):10351–10381. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2079113>
24. Паладий И. В., Врание Е. Г., Спринчан К. Г., Болога М. К. Молочная сыворотка: обзор работ. Часть 2. Процессы и методы обработки. Электронная обработка материалов. 2021. Т. 57. № 3. С. 83–101. [Paladii IV, Vrabie EG, Sprincian CG, Bologna MK. Whey: The state of the Art. Part II. Processes and treatment methods. *Electronic processing of raw materials*. 2021;57(3):83–101 <https://elibrary.ru/BEZPSE>
25. Chen GQ, Qu Y, Gras SL, Kentish SE. Separation technologies for whey protein fractionation. *Food Engineering Reviews*. 2023;15:438–465. <https://doi.org/10.1007/s12393-022-09330-2>
26. Лазарев В. А. Разделение и концентрирование молочной сыворотки на ультрафильтрационных и обратно-осмотических мембранах: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.18. Екатеринбург, 2015. 119 с. [Lazarev VA. Separation and concentration of whey using ultrafiltration and reverse osmosis membranes: Cand. Sci. Eng. Diss. Ekaterinburg, 2015. 119 p. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/CLFTDG>
27. Satya R, Singh A, Rasane P, Poonia A, Singh J, et al. Recent trends in membrane processing of whey. In: Poonia A, Petkoska AT, editors. *Whey valorization: Innovations, technological advancements and sustainable exploitation*. Singapore: Springer Nature; 2023. pp. 323–353. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5459-9_16
28. Ryazantseva KA, Agarkova EYu, Fedotova OB. Continuous hydrolysis of milk proteins in membrane reactors of various configurations. *Foods and Raw Materials*. 2021;9(2):271–281. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-2-271-281>
29. Манылов С. В. Исследование влияния денатурированных сывороточных белков на свойства низкокалорийных молочно-белковых продуктов: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04. Кемерово, 2009. 156 с. [Manylov SV. Effect of denatured whey proteins on low-calorie milk-protein products. Cand. Sci. Eng. Diss. Kemerovo, 2009. 156 p.] <https://www.elibrary.ru/NQOOBV>
30. Ferenc K, Sokal-Dembowska A, Helma K, Jarmakiewicz-Czaja S, Motyka E, et al. Modulation of the gut microbiota by nutrition and its relationship to epigenetics. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(2):1228. <https://doi.org/10.3390/ijms25021228>

31. Oztop MH, McCarthy KL, McCarthy MJ, Rosenberg M. Monitoring the effects of divalent ions (Mn^{+2} and Ca^{+2}) in heat-set whey protein gels. *LWT – Food Science and Technology*. 2014;56(1):93–100. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.10.043>
32. Хлыстов И. А., Штин Т. Н., Гурвич В. Б., Кузьмина Е. А., Бугаева А. В. и др. Комплексообразующая способность органических соединений и их влияние на организм человека (обзор). *Гигиена и санитария*. 2020. Т. 99 № 12. С. 1365–1369. [Hlystov IA, Shtin TN, Gurvich VB, Kuz'mina EA, Bugayeva AV, *et al.* Complexing ability of organic compounds and their influence on the human body (review). *Hygiene and Sanitation*. 2020;99(12):1365–1369. (In Russ.)] <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-12-1365-1369>
33. Викторова Е. П., Лисовая Е. В., Сverdlichenko А. В., Воробьева О. В. Актуальные вопросы применения комплексов микронутриентов для обогащения продуктов питания. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2021. № 1. С. 89–97. [Viktorova EP, Lisovaya EV, Sverdlichenko AV, Vorobyova OV. Topical issues of using micronutrient complexes for food fortification. *Technologies for the food and processing industry of AIC – Healthy food*. 2021;(1):89–97. (In Russ.)] <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-1-89-97>
34. Громов Д. А., Борисова А. В., Бахареv В. В. Пищевые аллергены и способы получения гипоаллергенных пищевых продуктов. *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 2. С. 232–247. [Gromov DA, Borisova AV, Bakharev VV. Food allergens and methods for producing hypoallergenic foods. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(2):232–247. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-232-247>
35. Щёкотова А. В., Атласова Д. В. Изучение биологических взаимоотношений и биохимических свойств пробиотических микроорганизмов. *Вестник ВСГУТУ*. 2022. № 3. С. 36–45. [Shchekotova AV, Atlasova DV. Study of biological relationships and biochemical properties of probiotic microorganisms. *ESSUTM Bulletin*. 2022;(3):36–45. (In Russ.)] https://doi.org/10.53980/24131997_2022_3_36
36. Грабеклис В. В., Делюкина О. В., Савко С. А. Взаимодействие эссенциальных элементов и кишечной микробиоты: обзор литературы. *Микроэлементы в медицине*. 2023. Т. 24. № 3. С. 12–21. [Grabeklis VV, Delyukina OV, Savko SA. Interaction of essential elements and gut microbiota: A literature review. *Trace elements in medicine*. 2023;24(3):12–21. (In Russ.)] <https://doi.org/10.19112/2413-6174-2023-24-3-12-21>
37. Bermúdez-Humarán LG, Chassaing B, Langella P. Exploring the interaction and impact of probiotic and commensal bacteria on vitamins, minerals and short chain fatty acids metabolism. *Microbial Cell Factories*. 2024;23(1):172. <https://doi.org/10.1186/s12934-024-02449-3>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2570>
<https://elibrary.ru/WGNMAY>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Влияние обработки моркови и капусты электромагнитным полем крайне низкой частоты перед сушкой на показатели продукции



Г. А. Купин[✉], Т. В. Першакова*[✉],
А. А. Тягушева[✉], Е. С. Семиряжко[✉]

Краснодарский научно-исследовательский институт хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции[✉], Краснодар, Россия

Поступила в редакцию: 10.06.2024

Принята после рецензирования: 16.09.2024

Принята к публикации: 01.04.2025

*Т. В. Першакова: 7999997@inbox.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>

Г. А. Купин: <https://orcid.org/0000-0002-7780-3333>

А. А. Тягушева: <https://orcid.org/0000-0003-1236-1148>

Е. С. Семиряжко: <https://orcid.org/0000-0003-2750-5749>

© Г. А. Купин, Т. В. Першакова, А. А. Тягушева,
Е. С. Семиряжко, 2025



Аннотация.

Корнеплоды и кочанная капуста – важные овощные культуры. Однако увеличение объема производства овощей ограничено небольшим сроком хранения и уязвимостью урожая к порче. Сушка сочного растительного сырья позволяет продлить период его потребления, но, чтобы предотвратить чрезмерное ухудшение качества, необходимо тщательно выбирать способ (включая предварительную обработку) и параметры процесса. Цель исследования – изучить влияние обработки моркови столовой и капусты белокочанной электромагнитным полем крайне низкой частоты перед конвективной сушкой на интенсивность процесса и микробиологические показатели полученной продукции.

Объекты исследования – морковь столовая гибридов Ред Кор F1, Борец F1 и капуста белокочанная гибридов Олимп F1, Агрессор F1. Их обработку проводили электромагнитным полем крайне низкой частоты (25 Гц, 1 мТл, 15 мин), резали на тонкие бруски: морковь – толщиной 0,3–0,5 мм, капусту – 0,5–0,7 мм. Сушили горячим воздухом в дегидраторе Oberhof Fruchttrockner D-47. После сушки образцы хранили в пластиковых пакетах с ziplock застежкой в течение 3 месяцев при температуре 25 ± 2 °C и относительной влажности воздуха 75 %. Уровни КМАФАнМ перед закладкой образцов на хранение, а также через 1 и 3 месяца изучали в соответствии с ТР ТС 021/2011.

Предварительная обработка электромагнитным полем крайне низкой частоты способствовала более быстрому высушиванию – моркови (выход сухого продукта на 0,4–0,9 % меньше, чем в контрольных образцах) и менее интенсивному – капусты белокочанной (выход сухого продукта на 2,8–3,9 % больше, чем в контрольных образцах). При этом оба исследованных варианта сушки моркови (55 °C в течение 7 ч и 65 °C в течение 5 ч) позволили получить допустимые значения микробиальной обсемененности на протяжении всего времени хранения. Предварительная обработка электромагнитным полем крайне низкой частоты снизила КМАФАнМ на 10,7–34,5 % по сравнению с контролем. Образцы капусты, высушенные при 65 °C в течение 3 ч, имели допустимые значения микробиальной обсемененности (хотя обработка электромагнитным полем крайне низкой частоты привела к увеличению КМАФАнМ на 9,5–12,5 % по сравнению с контролем). Образцы капусты, высушенные при 55 °C в течение 4 ч, имели превышение норм микробиальной обсемененности по всем исследуемым показателям.

Полученные данные могут быть использованы при разработке новых методов сушки моркови и капусты с использованием электромагнитного поля крайне низкой частоты.

Ключевые слова. Морковь, капуста белокочанная, сушка, электромагнитные поля, крайне низкая частота, микробиологическая обсемененность

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Кубанского научного фонда (проект № 24-26-20051).

Для цитирования: Купин Г. А., Першакова Т. В., Тягушева А. А., Семиряжко Е. С. Влияние обработки моркови и капусты электромагнитным полем крайне низкой частоты перед сушкой на показатели продукции. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 272–283. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2570>

Pre-Drying Treatment of Carrots and Cabbage with Extremely Low Frequency Electromagnetic Field



Grigory A. Kupin^{ORCID}, Tatiana V. Pershakova*^{ORCID},
Anna A. Tyagusheva^{ORCID}, Elizaveta S. Semiryazhko^{ORCID}

Krasnodar Research Institute of Storage and Processing of Agricultural Products^{FOR}, Krasnodar, Russia

Received: 10.06.2024
Revised: 16.09.2024
Accepted: 01.04.2025

*Tatiana V. Pershakova: 7999997@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-8528-0966>
Grigory A. Kupin: <https://orcid.org/0000-0002-7780-3333>
Anna A. Tyagusheva: <https://orcid.org/0000-0003-1236-1148>
Elizaveta S. Semiryazhko: <https://orcid.org/0000-0003-2750-5749>

© G.A. Kupin, T.V. Pershakova, A.A. Tyagusheva, E.S. Semiryazhko, 2025



Abstract.

Tubers and cabbage are strategically important crops. However, their volume production is limited by their short shelf-life and vulnerability to spoilage. Drying makes it possible to extend the shelf-life but often damages the quality. As a result, the processing and pre-treatment should be calibrated for optimal parameters. In this research, carrots and white cabbage were treated with an extremely low-frequency electromagnetic field before convective drying to study the effect of various modes on the microbiological profile of the vegetables.

The research featured carrots of the Red Core F1 and Borets F1 hybrids and white cabbage of the Olimp F1 and Agressor F1 hybrids. The carrots and cabbage were treated with an extremely low-frequency electromagnetic field (25 Hz, 1 mT, 15 min) and cut into thin bars (0.3–0.5 mm and 0.5–0.7 mm, respectively). After being dried in an Oberhof Fruchttrockner D-47 hot-air dehydrator, the samples were stored in plastic ziplock bags at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ and a relative air humidity of 75% for 3 months. The QMAFAnM levels were studied in line with Technical Regulation of Customs Union TR CU 021/2011 before storage and after 1 and 3 months. As for the carrot samples, the preliminary treatment with an extremely low-frequency electromagnetic field accelerated the drying process: the dry product yield was 0.4–0.9% lower than in the control samples. The experimental drying process was less intense for cabbage, with the dry product yield being 2.8–3.9% higher than the control. For the carrots, the drying options were 55°C for 7 h and 65°C for 5 h. Both modes provided permissible values of microbial contamination throughout the entire storage period. The preliminary treatment with an extremely low-frequency electromagnetic field reduced the QMAFAnM by 10.7–34.5%. The cabbage samples dried at 65°C for 3 h had permissible values of microbial contamination. However, the experimental pretreatment led to an increase in QMAFAnM by 9.5–12.5% compared to the control. The cabbage samples dried at 55°C for 4 h exceeded the microbial contamination standards for all parameters.

The data obtained may help to develop new methods for drying carrots and cabbage using an extremely low-frequency electromagnetic field.

Keywords. Carrots, white cabbage, drying, electromagnetic field, extremely low frequency, microbiological contamination

Funding. The project was supported by the Russian Science Foundation and the Kuban Science Foundation (project No. 24-26-20051).

For citation: Kupin GA, Pershakova TV, Tyagusheva AA, Semiryazhko ES. Pre-Drying Treatment of Carrots and Cabbage with Extremely Low Frequency Electromagnetic Field. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):272–283. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2570>

Введение

Кочанная капуста и корнеплоды являются важными овощными культурами. По данным ФАО, доля корнеплодов от сборов основных овощных культур в мире в 2022 г. составила 3,60 %, а доля кочанной капусты – 6,19 %. В Российской Федерации эти доли представляют 10,30 и 17,37 % соответственно. Производство данных культур в мире, как и другого сочного растительного сырья, постепенно возрастает, что является следствием

увеличения численности населения и стремления людей к здоровому питанию. Так, объемы сбора кочанной капусты за период 2002–2022 гг. в мире возросли на 6,14 % (с 68,40 до 72,60 млн т), а корнеплодов – на 82,84 % (с 23,10 до 42,23 млн т).

Однако с увеличением объема производства овощей встает вопрос сокращения потерь урожая, поскольку срок хранения ограничен и потери могут превышать 30–50 % [1, 2]. Многократно продлить период потребления

сочного растительного сырья позволяет такой способ консервации, как сушка. В высушенном материале снижается содержание влаги, что приводит к остановке процессов жизнедеятельности, а микроорганизмы на его поверхности в большинстве случаев погибают или прекращают развиваться [3]. К недостаткам сушки относят ухудшение органолептических показателей и снижение содержания биологически активных веществ под действием высоких температур [4, 5]. А также увеличение себестоимости получаемого продукта в случае использования неоптимальных параметров процесса (избыточная продолжительность или температура) или сложного оборудования (например, при сублимационной сушке) [6, 7].

Таким образом, чтобы сохранить качество продукции на достаточном уровне, необходимо тщательно подбирать способ и параметры сушки [8]. При этом параметры процесса могут существенно различаться для сельскохозяйственных культур, что объясняется неодинаковым химическим составом, влияющим на органолептические показатели конечного продукта [9]. Дополнительно сократить время сушки, а также улучшить органолептические характеристики (например, предотвратить потемнение) можно за счет предварительной обработки растительного сырья [10, 11].

При производстве сушеных фруктов и овощей особое значение имеет контроль микробиологической обсемененности. Производство сушеных фруктов и овощей значительно выросло за последнее десятилетие в результате высокого спроса как со стороны розничных потребителей, так и промышленности. Но по-прежнему происходят инциденты, связанные с загрязнением продукции бактериями и вирусами, вызывающими пищевые отравления. Проблема микробиологической безопасности не решена в полной мере, и одного только процесса сушки бывает недостаточно, чтобы контролировать эту угрозу. Более того, некоторые исследователи, занимающиеся вопросами дезинфекции растительного сырья, заявляют, что в ряде случаев сушка лишь усложняет им задачу. В частности, Н. Yarabbi *et al.* изучили возможность снижения микробальной популяции на поверхности свежих овощей и сушеных фруктов с помощью холодной атмосферной плазмы. С этой целью объекты исследования были намеренно обсеменены микроорганизмами *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis* и *Aspergillus niger*. В результате холодная плазма позволила сократить численность этих микроорганизмов, тем не менее их устойчивость на поверхности сушеного сырья увеличивалась из-за пониженной влажности среды [12]. В этом случае дополнительная обработка сырья перед сушкой или после нее – эффективное решение [13].

Интерес представляют исследования, изучающие влияние различных способов предварительной обработки сочного растительного сырья на эффективность процесса сушки и характеристики продукции. В работах [14, 15] рассмотрен такой способ предвари-

тельной обработки фруктов и овощей перед сушкой, как воздействие импульсного электрического поля. Данный способ обработки позволил улучшить кинетику сушки (повысить интенсивность потери влаги сырьем, сократить продолжительность процесса, снизить энергоемкость), что позитивно сказалось на физико-химических и органолептических характеристиках продукта, а также уменьшило микробиологическую обсемененность за счет инактивации микроорганизмов на поверхности сырья.

Р. Rani и Р. Р. Tripathy перед сушкой провели предварительную обработку нарезанных ананасов горячим воздухом с использованием ультразвука в течение 20 и 30 мин, а также раствора пиросульфита калия. Эти виды обработки привели к сокращению времени сушки на 19,0; 14,3 и 23,8 % соответственно, а также позитивно сказались на таких показателях качества, как твердость и цвет [16]. Изучение влияния бланширования горячей водой (30 с), ультразвука и их сочетания на процесс сушки капусты белокочанной и ее конечного качества показало, что данные методы воздействия сокращают время сушки. При этом бланширование более эффективно, чем ультразвуковая обработка, и позволило получить продукт лучшего качества (зеленый цвет, высокое содержание витамина С). Наибольшее же сокращение времени сушки было достигнуто за счет комплексной (последовательной) обработки горячей водой и ультразвуком [17].

Помимо горячей воды для бланширования растительного сырья применяются и другие способы, например в работе [18]. Так, нарезанную морковь подвергали инфракрасному бланшированию перед сушкой горячим воздухом. Бланширование при температурах 60, 70 и 80 °С сократило время сушки на 32,3; 41,1 и 45,0 % соответственно. Полученный продукт, по сравнению с образцом без предварительной обработки, отличался более красным цветом и хрустящей структурой, повышенным содержанием витамина С, а также сниженной активностью фермента пероксидаза. L. Z. Deng *et al.* [19] рассматривали влияние бланширования горячим воздухом высокой влажности перед сушкой абрикосов на характеристики процесса и качество продукции. Обработка привела к сокращению времени сушки на 20,7–34,5 % и твердости на 46,57–71,89 %, что вызвало изменения структуры клеточных стенок и состава пектина (возросла доля водорастворимой фракции и сократились другие).

Холодная плазма может использоваться не только для дезинфекции различных поверхностей, но и как способ предварительной обработки растительного сырья перед сушкой. Согласно исследованию [20], умеренное по продолжительности воздействие холодной плазмы на плоды унаби позволяло значительно сократить время последующей конвективной сушки. При этом, по сравнению с контролем, в обработанном образце возрастало содержание ряда биологически активных фенольных веществ. Однако более продол-

жительное воздействие холодной плазмы сопровождалось нежелательными изменениями в цвете из-за перегрева поверхности сырья. С. С. Huang *et al.* использовали холодную плазму для предварительной обработки винограда, что повреждало восковое покрытие на поверхности ягод и приводило к увеличению ее гидрофильности на 40 %. Это облегчало испарение влаги, в итоге продолжительность сушки сократилась более чем на 20 %, к тому же содержание фенольных веществ оказалось в два раза выше, чем в контроле [21].

К достаточно эффективным способам обработки растительного сырья перед сушкой также относят воздействие высокого давления и осмотическое дегидрирование. Так, по данным ряда исследований, применение высокого давления улучшает взаимодействие между ковалентными и нековалентными связями в материале в процессе обезвоживания, что способствует инактивации ферментов и гибели микроорганизмов при сохранении запаха, вкуса и биологически активных веществ. А осмотическое дегидрирование, проводимое за счет погружения сырья в специальный раствор, позволяет повысить интенсивность последующей сушки и лучше сохранить пищевую ценность и органолептические показатели в получаемом продукте [22].

Одним из видов физической обработки является воздействие электромагнитными полями крайне низкой (диапазон 3–30 Гц) и сверх низкой (диапазон 30–300 Гц) частоты (ЭМП КНЧ/СНЧ). Согласно данным Международной комиссии по защите от неионизирующего излучения, характерной особенностью электромагнитных полей КНЧ и СНЧ является то, что они не вызывают нагрев тканей биологических объектов (в отличие от электромагнитного излучения с более высокой частотой). Вместо этого в обрабатываемых объектах возникает электрический ток, что влияет на протекание различных биохимических процессов, таких как транспортирование ионов через клеточные мембраны или действие ферментов.

Ранние исследования авторов показали, что такая обработка фруктов и овощей стала причиной изменения их биохимических показателей. Было изучено влияние предварительной обработки ЭМП КНЧ с частотой 25 Гц и индукцией магнитного поля 10 мТл в течение 30 мин на массовую долю полифенолов и активность фермента пероксидазы в белокочанной и цветной капусте при хранении (3 недели, температура 4 ± 1 °С, относительная влажность воздуха 75 ± 3 %). Активность пероксидазы в образцах белокочанной капусты через 1 неделю хранения была на 70 % выше, чем в контроле, а через 3 недели – на 25 %. Массовая доля полифенольных веществ снизилась на 5,29–16,09 мг%. В цветной капусте активность пероксидазы возросла через 1 неделю на 54 %, через 2 недели – на 62 %; массовая доля полифенолов увеличилась на 8,81–10,71 мг% [23]. Изучено влияние ЭМП КНЧ и СНЧ на изменение активности пероксидазы и содержание полифенольных веществ в яблоках сорта Айдаред.

Объекты исследования были обработаны перед закладкой на хранение при температуре 2 ± 1 °С и относительной влажности воздуха 75 ± 3 %. Активность пероксидазы в контрольных образцах через 1 неделю хранения при охлаждении снизилась на 27,7 %. В образцах, обработанных ЭМП КНЧ (22 Гц, 8 мТл, 40 мин) и ЭМП СНЧ (35 Гц, 12,5 мТл, 30 мин), этот показатель возрос на 30,8 и 126,4 % соответственно. Обработки ЭМП КНЧ и СНЧ привели к увеличению содержания полифенольных соединений в яблоках через 1 неделю хранения на 10,6 и 219,7 мг/100 г соответственно [24].

Помимо биохимических показателей воздействие низкочастотных электромагнитных полей на растительное сырье выражается в увеличении его устойчивости к микробиологической порче. Идентичные экспериментальные данные были получены как авторами, так и другими исследователями. Например, авторами изучено влияние нескольких типов обработки на показатели товарного качества и срок хранения ягод земляники садовой. Ягоды были обработаны ЭМП КНЧ (30 Гц, 6 мТл, 30 мин). Обработка ягод привела к отсутствию микробиологической порчи в течение 7 суток хранения при температуре 5 ± 1 °С и относительной влажности воздуха 75 ± 3 %. Хотя в то же время наблюдалось увеличение потерь от естественной убыли массы до 17–19 % по сравнению с 13–14 % в контрольных образцах [25]. В исследовании [24] показано, что предварительная обработка яблок ЭМП КНЧ и СНЧ снижает степень их поражения фитопатогенным микроорганизмом *Aspergillus niger* в процессе хранения. Диаметр поражения сократился с 4,6 см в образцах без обработки (контроль) до 4,0 см (ЭМП КНЧ с частотой 22 Гц) и 2,7 см (ЭМП СНЧ – 35 Гц) при температуре 25 ± 1 °С, а также с 2,2 см до 1,1 см и 0,4 см соответственно при температуре 2 ± 1 °С. М. Д. Назарько с соавторами предложили способ повышения лежкости яблок за счет их обработки перед хранением биопрепаратом и ЭМП с частотой 38 Гц. На плодах без обработки (контроль) количество микроорганизмов со временем возрастало в 5–6 раз, что приводило к значительным потерям. На обработанных образцах яблок в первые три месяца хранения количество бактерий и микромицетов снизилось. При дальнейшем хранении количество микроорганизмов снова начинало расти, но выход качественного продукта в обработанной партии в итоге повысился [26].

Цель данной работы – изучить влияние обработки моркови столовой и капусты белокочанной электромагнитным полем крайне низкой частоты перед конвективной сушкой на интенсивность процесса и микробиологические показатели полученной продукции.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись морковь столовая гибридов Ред Кор F1 и Борец F1, а также капуста белокочанная гибридов Олимп F1 и Агрессор F1. Овощи были приобретены на рынках г. Краснодар.

Обработку электромагнитным полем крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) проводили с использованием экспериментальной лабораторной установки. Принцип работы установки заключается в следующем: синусоидальный сигнал из универсального генератора сигналов (RIGOL DG1022, Китай) модулируется низкочастотным сигналом с помощью осциллографа (LeCroy WA202, США), позволяющего регулировать амплитуду электромагнитных колебаний. После осциллографа сигнал в виде электромагнитных колебаний подается в усилитель мощности (MMF LV102, Германия), через который он поступает в соленоид (длина – 802 мм, диаметр – 204 мм, 533 витка на 1 ряд). Исследуемый растительный материал был помещен в соленоид, где подвергался воздействию электромагнитных колебаний с заданной частотой и индукцией.

Морковь столовую обрабатывали по следующим вариантам:

- № 1 – без предварительной обработки ЭМП КНЧ, сушка при $t = 65^\circ\text{C}$ в течение 5 ч;
- № 2 – обработка ЭМП КНЧ (25 Гц, 1 мТл, 15 мин), сушка при $t = 65^\circ\text{C}$ в течение 5 ч;
- № 3 – без предварительной обработки ЭМП КНЧ, сушка при $t = 55^\circ\text{C}$ в течение 7 ч;
- № 4 – обработка ЭМП КНЧ (25 Гц, 1 мТл, 15 мин), сушка при $t = 55^\circ\text{C}$ в течение 7 ч.

Капусту белокочанную обрабатывали по следующим вариантам:

- № 1 – без предварительной обработки ЭМП КНЧ, сушка при $t = 65^\circ\text{C}$ в течение 3 ч;
- № 2 – обработка ЭМП КНЧ (25 Гц, 1 мТл, 15 мин), сушка при $t = 65^\circ\text{C}$ в течение 3 ч;
- № 3 – без предварительной обработки ЭМП КНЧ, сушка при $t = 55^\circ\text{C}$ в течение 4 ч;
- № 4 – обработка ЭМП КНЧ (25 Гц, 1 мТл, 15 мин), сушка при $t = 55^\circ\text{C}$ в течение 4 ч.

После обработки овощи подвергали мойке и обсушке, измельчали: морковь столовую – на тонкие бруски толщиной 0,3–0,5 мм; капусту белокочанную – на тонкие бруски толщиной 0,5–0,7 мм.

Далее все образцы сушили в дегидрататоре Oberhof Fruchttrockner D-47 (конвективная сушилка с принудительным горизонтальным обдувом и вращением поддонов).

После сушки образцы упаковывали в пищевые пластиковые пакеты с ziplock застежкой и хранили при температуре $25 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 75 % в течение 3 месяцев.

Микробиологические исследования были проведены в соответствии с требованиями и рекомендациями ГОСТ ISO 7218-2015. Пробы отбирали в соответствии с ГОСТ 31904-2012. Подготовку проб для микробиологических анализов проводили в соответствии с ГОСТ 26669-85. Культивирование, выявление и подсчет количества микроорганизмов осуществляли по ГОСТ 26670-91, ГОСТ 10444.12-2013 и ГОСТ 10444.15-94. Посев микроорганизмов, содержащихся в изучаемом материале, проводили на питательные среды: сухой питательный агар (для культивирования мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов) и Сабуро (для культивирования плесневых грибов). Уровни микробиологической обсемененности (КМАФАнМ и плесени) сушеной продукции изучали в соответствии с ТР ТС 021/2011. Количество микроорганизмов определяли сразу после сушки перед закладкой образцов на хранение, а также через 1 и 3 месяца хранения.

Исследования проводили в трехкратной повторности. Полученные данные обрабатывали в программах Microsoft Excel и Statistica с использованием однофакторного дисперсионного анализа ($\gamma = 95\%$).

Результаты и их обсуждение

Для того чтобы оценить влияние предварительной обработки электромагнитным полем крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) на интенсивность процесса сушки, сравнивали выход готового продукта из различных образцов. В таблице 1 показано, как изменилась масса исследуемых образцов моркови в результате сушки при выбранных параметрах.

Таблица 1. Изменение массы образцов моркови в результате сушки (средние значения)

Table 1. Carrot mass after drying, mean values

Вариант обработки			Вес, г	
			до сушки	после сушки
Ред Кор F1				
Сушка при температуре 65°C в течение 5 ч	№1	Контроль (без предварительной обработки)	860,3	81,8
	№2	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	830,1	71,5
Сушка при температуре 55°C в течение 7 ч	№3	Контроль (без предварительной обработки)	879,8	88,5
	№4	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	810,9	78,2
Борец F1				
Сушка при температуре 65°C в течение 5 ч	№1	Контроль (без предварительной обработки)	927,3	86,6
	№2	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	800,8	67,3
Сушка при температуре 55°C в течение 7 ч	№3	Контроль (без предварительной обработки)	830,1	85,7
	№4	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	852,6	83,3

Образцы моркови, предварительно обработанные электромагнитным полем, имели тенденцию к более быстрому высушиванию, чем контрольные образцы – в среднем на 30 мин быстрее выбранного времени.

Выход готового сухого продукта в зависимости от параметров процесса составлял: 8,61–10,06 % для гибрида Ред Кор F1 и 8,40–10,32 % для гибрида Борец F1. На рисунках 1 и 2 представлены сравнительные данные весовых показателей исследуемых образцов моркови столовой, условно доведенные до равного исходного веса.

В процессе сушки в дегидрататоре при температуре 65 °С в течение 5 ч образцы моркови Ред Кор F1, обработанные ЭМП КНЧ (рис. 1, № 2), теряли массу интенсивнее, чем контрольные образцы (рис. 1, № 1). Итоговая масса образца моркови Ред Кор F1, обработан-

ного по варианту № 2, были ниже в среднем на 9,0 г (0,9 %). Образцы, обработанные ЭМП КНЧ (рис. 1, № 4), во время сушки в дегидрататоре при температуре 55 °С в течение 7 ч также теряли массу интенсивнее, чем контрольные образцы (рис. 1, № 3). Масса образца моркови Ред Кор F1, обработанного по варианту № 4, ниже в среднем на 4,2 г (0,4 %).

Динамика процесса сушки образцов моркови Борец F1 (рис. 2) была аналогичной: масса продукта после обработки ЭМП КНЧ была ниже в среднем на 9,4 г (0,9 %) в случае сушки при температуре 65 °С и ниже на 5,5 г (0,5 %) – при 55 °С.

Далее все исследуемые образцы моркови закладывались на хранение на 3 месяца в пищевых пластиковых пакетах с ziplock застежкой. В таблице 2 представлены данные изменения микробиологических

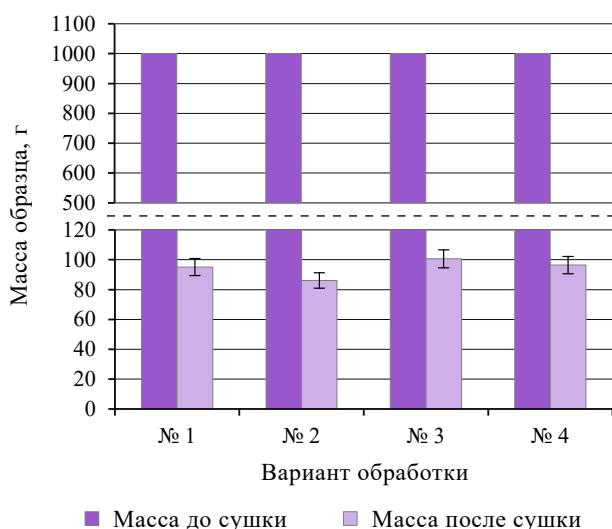


Рисунок 1. Выход сушеной моркови Ред Кор F1 в зависимости от параметров процесса

Figure 1. Effect of processing modes on the yield of Red Core F1 dried carrots

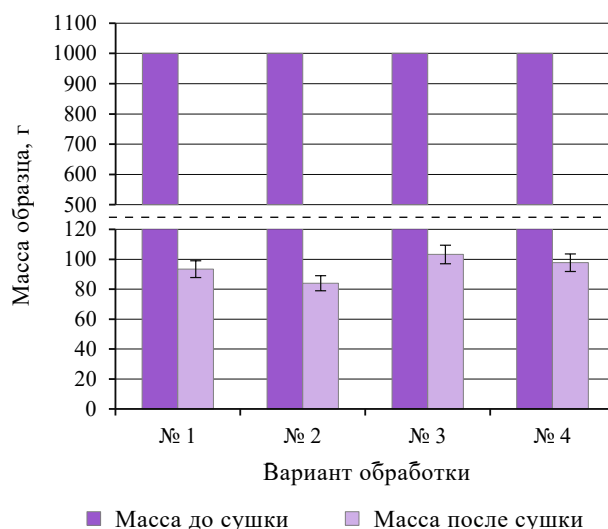


Рисунок 2. Выход сушеной моркови Борец F1 в зависимости от параметров процесса

Figure 2. Effect of processing modes on the yield of Borets F1 dried carrots

Таблица 2. Изменение микробиальной обсемененности в процессе хранения моркови сушеной при температуре 25 ± 2 °С (средние значения)

Table 2. Microbial contamination of dried carrots during storage at 25 ± 2 °С, mean values

Вариант обработки	КМАФАнМ, КОЕ/г			Количество плесеней, КОЕ/г		
	перед закладкой на хранение	1 месяц хранения	3 месяц хранения	перед закладкой на хранение	1 месяц хранения	3 месяц хранения
Ред Кор F1						
№ 1	9,3×10 ³	8,2×10 ³	7,7×10 ³	2,3×10 ²	1,6×10 ²	1,4×10 ²
№ 2	8,3×10 ³	7,6×10 ³	7,4×10 ³	2,3×10 ²	1,8×10 ²	1,5×10 ²
№ 3	10,6×10 ³	8,9×10 ³	8,5×10 ³	3,3×10 ²	2,5×10 ²	2,1×10 ²
№ 4	7,1×10 ³	6,6×10 ³	6,3×10 ³	3,0×10 ²	2,5×10 ²	2,0×10 ²
Борец F1						
№ 1	10,0×10 ³	8,9×10 ³	8,2×10 ³	2,4×10 ²	1,8×10 ²	1,6×10 ²
№ 2	8,8×10 ³	8,2×10 ³	7,6×10 ³	2,5×10 ²	2,0×10 ²	1,6×10 ²
№ 3	11,3×10 ³	9,7×10 ³	9,1×10 ³	3,5×10 ²	2,7×10 ²	2,4×10 ²
№ 4	7,4×10 ³	6,9×10 ³	6,5×10 ³	3,2×10 ²	2,6×10 ²	2,2×10 ²

показателей (КМАФАнМ и плесеней) моркови сушеной, нарезанной перед закладкой на хранение, через 1 и 3 месяца хранения.

Таким образом, все исследуемые варианты сушки моркови позволили получить допустимые значения микробной обсемененности по всем исследуемым показателям на протяжении всего времени хранения (в соответствии с ТР ТС 021/2011 – не более 5×10^5 КОЕ/г КМАФАнМ и не более 500 КОЕ/г плесеней).

При этом в обоих вариантах сушки (55 и 65 °C) образцы, предварительно обработанные ЭМП КНЧ, были обсеменены КМАФАнМ меньше, чем контрольные. На образцах без предварительной обработки (контроль, 65 °C) КМАФАнМ после сушки (перед закладкой на хранение) было выше на 10,7–12,0 %, чем на образцах, обработанных ЭМП КНЧ; при температуре 55 °C – выше на 33,0–34,5 %. При хранении

в течение 3 месяцев выявляемое КМАФАнМ имело тенденцию к постепенному снижению во всех образцах.

Обработка ЭМП КНЧ не оказала ярко выраженного влияния на количество плесеней в образцах моркови. На снижение данного показателя более эффективно повлияло увеличение температуры сушки. При последующем хранении количество выявляемых плесеней также постепенно снижалось во всех образцах.

Эти данные свидетельствуют об эффективности всех выбранных режимов сушки и обработки моркови.

В таблице 3 показано, как изменялась масса исследуемых образцов капусты белокочанной в результате сушки при выбранных параметрах.

Выход готового сушеного продукта в зависимости от параметров процесса составлял: 4,67–8,61 % для гибрида Олимп F1 и 5,05–8,82 % для гибрида Агрессор F1. На рисунках 3 и 4 представлены срав-

Таблица 3. Изменение массы образцов капусты в результате сушки (средние значения)

Table 3. Cabbage mass after drying, mean values

Вариант обработки			Вес, г	
			до сушки	после сушки
Олимп F1				
Сушка при температуре 65 °C в течение 3 ч	№ 1	Контроль (без предварительной обработки)	1101,2	54,7
	№ 2	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	580,1	46,3
Сушка при температуре 55 °C в течение 4 ч	№ 3	Контроль (без предварительной обработки)	1060,4	49,5
	№ 4	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	780,3	67,2
Агрессор F1				
Сушка при температуре 65 °C в течение 3 ч	№ 1	Контроль (без предварительной обработки)	984,6	51,3
	№ 2	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	722,7	58,2
Сушка при температуре 55 °C в течение 4 ч	№ 3	Контроль (без предварительной обработки)	1069,5	54,0
	№ 4	Предварительная обработка ЭМП КНЧ	811,2	71,5

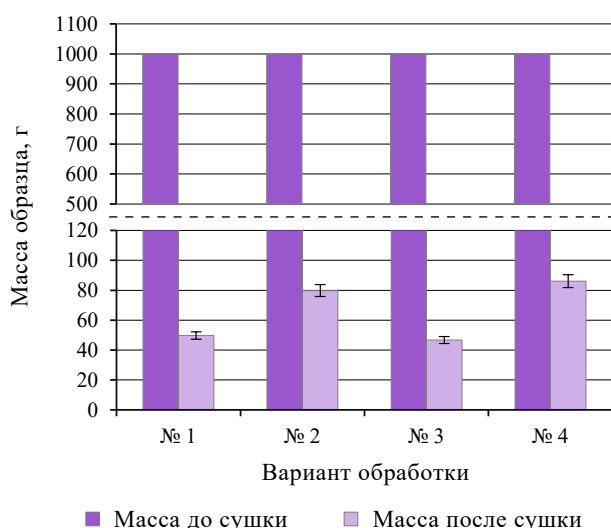


Рисунок 3. Выход сушеной капусты Олимп F1 в зависимости от параметров процесса

Figure 3. Effect of processing modes on the yield of Olympus F1 dried cabbage depending

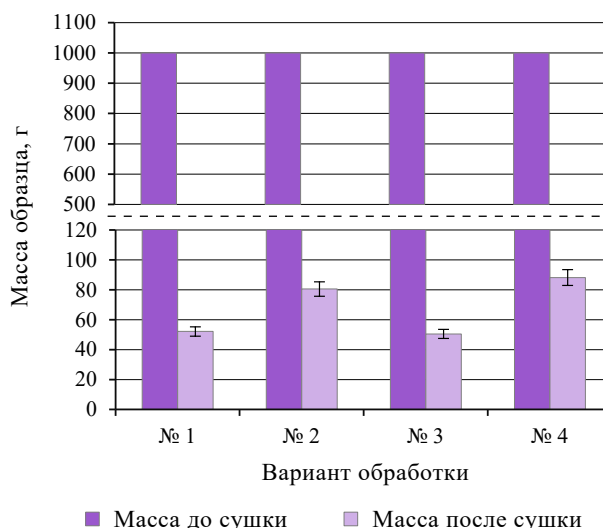


Рисунок 4. Выход сушеной капусты Агрессор F1 в зависимости от параметров процесса

Figure 4. Effect of processing modes on the yield of Aggressor F1 dried cabbage

нительные данные весовых показателей исследуемых образцов капусты белокочанной, условно доведенные до равного исходного веса.

Во время сушки в дегидрататоре при температуре 65 °С в течение 3 ч образцы капусты Олимп F1, обработанные ЭМП КНЧ (рис. 3, № 2), теряли массу менее интенсивно, чем контрольные (рис. 3, № 1) – итоговая масса выше в среднем на 30,1 г (~ 3,0 %). При сушке при температуре 55 °С в течение 4 ч образцы капусты Олимп F1, обработанные ЭМП КНЧ (рис. 3, № 4), также теряли меньше массы, чем контрольные (рис. 3, № 3) – итоговая масса была выше в среднем на 39,4 г (~ 3,9 %).

Из рисунка 4 видно, что динамика процесса сушки образцов капусты гибрида Агрессор F1 не имела принципиальных отличий: масса продукта после обработки ЭМП КНЧ была выше в среднем на 28,4 г (2,8 %) в случае сушки при температуре 65 °С и выше на 37,7 г (3,7 %) в случае сушки при 55 °С.

Все исследуемые образцы капусты белокочанной закладывались на хранение в пищевых пластиковых пакетах с ziplock застежкой. В таблице 4 представлены данные, иллюстрирующие изменение микробиологических показателей (КМАФАнМ и плесеней) капусты сушеной, нарезанной перед закладкой на хранение, а также через 1 и 3 месяца хранения.

В вариантах обработки № 3 и 4, высушенных при температуре 55 °С в течение 4 ч, наблюдалось превышение норм микробной обсемененности по всем исследуемым показателям (табл. 4). В варианте № 4 (предварительная обработка ЭМП КНЧ) КМАФАнМ оказалось в среднем почти в 4 раза выше, чем допускается в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2011 (5×10^5 КОЕ/г), количество плесневых микроорганизмов превышало допустимые нормы (500 КОЕ/г) более чем в 100 раз.

Обработка ЭМП КНЧ не позволила компенсировать невысокий стерилизационный эффект сушки при 55 °С и оказала дополнительное негативное влияние на показатели микробиологической безопасности сушеной продукции. Это может являться результатом менее интенсивной потери влаги в процессе сушки и, как следствие, более высокой итоговой влажности полученных образцов. Данные проведенного исследования свидетельствуют о нежелательности применения предварительной обработки ЭМП КНЧ при сушке капусты.

Сушка при температуре 65 °С в течение 3 ч обеспечивала допустимые значения микробной обсемененности у обоих исследуемых гибридов капусты. Образцы, обработанные ЭМП КНЧ (варианты № 2), имели несколько более высокие (на 9,5–12,5 %) уровни КМАФАнМ. При этом полностью отсутствовал рост колоний плесневых и дрожжевых грибов. При хранении в течение 3 месяцев количество выявляемых микроорганизмов постепенно снижалось во всех образцах (табл. 4).

Таким образом, авторами установлено, что предварительная обработка ЭМП КНЧ может по-разному влиять на кинетику процесса сушки различного сырья, что, по-видимому, связано с особенностями строения тканей и вариативными реакциями на внешнее воздействие. Похожие результаты были получены и в работах других исследователей, изучающих эффекты физического воздействия на процесс сушки растительного сочного сырья. Например, F. Salehi *et al.* рассмотрели влияние обработки нарезанных баклажанов электромагнитным полем сверхвысокой частоты и ультразвуком перед сушкой горячим воздухом (70 °С). Ультразвуковая обработка интенсифицировала процесс удаления влаги из сырья (по сравнению с контролем), в то время как электромагнитное воздействие сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ), напротив,

Таблица 4. Изменение микробной обсемененности в процессе хранения капусты сушеной при температуре 25 ± 2 °С (средние значения)

Table 4. Microbial contamination of dried cabbage during storage at 25 ± 2 °C, mean values

Вариант обработки	КМАФАнМ, КОЕ/г			Количество плесеней, КОЕ/г		
	перед закладкой на хранение	1 месяц хранения	3 месяц хранения	перед закладкой на хранение	1 месяц хранения	3 месяц хранения
Олимп F1						
№ 1	$4,2 \times 10^5$	$3,4 \times 10^5$	$3,3 \times 10^5$	–	–	–
№ 2	$4,6 \times 10^5$	$4,2 \times 10^5$	$4,0 \times 10^5$	–	–	–
№ 3	$7,7 \times 10^5$	$7,3 \times 10^5$	$7,0 \times 10^5$	$0,8 \times 10^4$	$0,4 \times 10^4$	$0,3 \times 10^4$
№ 4	$19,7 \times 10^5$	$16,7 \times 10^5$	$16,1 \times 10^5$	$6,5 \times 10^4$	$4,9 \times 10^4$	$4,6 \times 10^4$
Агрессор F1						
№ 1	$4,0 \times 10^5$	$3,4 \times 10^5$	$3,2 \times 10^5$	–	–	–
№ 2	$4,5 \times 10^5$	$4,1 \times 10^5$	$3,8 \times 10^5$	–	–	–
№ 3	$7,5 \times 10^5$	$7,2 \times 10^5$	$6,8 \times 10^5$	$0,7 \times 10^4$	$0,4 \times 10^4$	$0,3 \times 10^4$
№ 4	$19,2 \times 10^5$	$16,3 \times 10^5$	$15,9 \times 10^5$	$6,1 \times 10^4$	$4,6 \times 10^4$	$4,2 \times 10^4$

Примечание: «–» – рост колоний отсутствует.

Note: “–” – no colony growth detected.

значительно увеличило продолжительность сушки, что негативно сказалось на характеристиках полученного продукта. Среднее время высушивания образцов без обработки, а также обработанных ЭМП СВЧ и ультразвуком, составило 155,0; 197,5 и 102,5 мин соответственно. При этом увеличение времени ЭМП СВЧ обработки с 15 до 60 с приводило к увеличению продолжительности сушки с 180 до 230 мин; а ультразвуковой обработки с 5 до 20 мин сокращало продолжительность сушки с 125 до 80 мин [27]. В исследовании [28] те же виды обработки применялись перед сушкой нарезанной моркови. В этом случае отмечено сокращение продолжительности процесса: среднее время высушивания образцов моркови без обработки, а также обработанных ЭМП СВЧ и ультразвуком составило 225,0; 158,8 и 193,8 мин соответственно. Увеличение продолжительности обработок обоих типов сокращало время сушки моркови. Полученные данные указывают на то, что при выборе того или иного типа предварительной физической обработки важно учитывать конкретный вид растительного сырья, т. к. итоговый результат может противоречить ожиданиям. Что касается дальнейших исследований влияния ЭМП КНЧ на кинетику процесса сушки, то одним из возможных направлений является изучение различного времени воздействия.

Следует отметить, что выявленные в представленной работе изменения в процессе сушки нарезанной моркови после предварительной обработки ЭМП КНЧ на практике могут иметь два эффекта. Если сушка проводится в течение определенного периода времени, то это позволяет получить продукт с более низкими показателями влажности и микробиологической обсемененности (КМАФАнМ). Если же сушка проводится до определенного значения влажности, то это позволяет сократить продолжительность процесса высушивания примерно на 30 мин, то есть на 7–1 % (в зависимости от температуры). Это приведет к снижению потребления электроэнергии, поскольку, например, в случае конвективной сушки именно продолжительность процесса является основным фактором, определяющим общие затраты энергии (в отличие от некоторых других видов сушки) [29].

Более подробного рассмотрения заслуживает также зафиксированный факт изменения микробиологической обсемененности сушеной моркови и белокочанной капусты после предварительной обработки ЭМП КНЧ. С одной стороны, это можно объяснить разным уровнем влажности получаемого продукта: образцы моркови с меньшей влажностью (после обработки) имеют меньший уровень обсемененности, в то время как обработанные образцы капусты отличаются большей влажностью и уровнем обсемененности. Но возможно, в данном случае имеет место и другой механизм (хотя бы частично) – индукция резистентности в растительном сырье – то есть активизация его собственных защитных свойств под действием тех или иных факторов. Этот прием вызывает большой интерес и активно

изучается в последние годы, т. к. теоретически позволяет сократить применение синтетических пестицидов. Их использование становится все менее желательным из-за загрязнения окружающей среды, угрозы для здоровья людей и животных, а также из-за возникновения у фитопатогенных микроорганизмов устойчивости к этим веществам.

Изучение возможности индуцировать резистентность как в растениях в период вегетации, так и во фруктах и овощах в послеуборочный период при помощи целого ряда химических, биологических и физических агентов является популярной темой научных исследований. Общим действием является то, что они вызывают у растения ощущение стресса, сравнимого с тем, что возникает в случае поражения вредителями или болезнями, но не оказывают никакого серьезного вреда. В результате в растениях запускаются защитные процессы, которые обычно включают в себя активизацию ряда определенных ферментов и накопление антимикробных веществ [30].

Обработка горячей водой (обычно в районе 45–60 °С), пониженным давлением, ультрафиолетовым излучением, электромагнитными полями относится к типам физического воздействия, способным индуцировать резистентность в растительном сырье. Преимуществом физического воздействия является то, что оно не загрязняет поверхность обрабатываемого материала, в отличие от обработки химическими и биологическими препаратами. Так, T. Sun *et al.* изучили влияние ультрафиолетового излучения (UV-C) на уязвимость груш сорта Korla к микробиологической порче во время хранения. С этой целью плоды были искусственно заражены фитопатогеном *Alternaria alternata* и обработаны UV-C с различной интенсивностью (от 0,12 до 1,08 кДж/м²). Даже низкая доза UV-C излучения (0,36 кДж/м²) позволила эффективно контролировать развитие заболевания. При этом было отмечено увеличение активности таких защитных ферментов, как хитиназа, β -1,3-глюканаза, пероксидаза, супероксиддисмутаза, каталаза, аскорбатпероксидаза, фенилаланин-аммиак-лиаза, а также увеличение содержания фенольных веществ [31].

В исследовании [32] для борьбы с плодовой гнилью (монилиозом) в процессе хранения персики и нектарины были обработаны ЭМП СВЧ (20 кВт) при погружении в воду. Обработка проводилась для плодов как искусственно, так и естественно зараженных фитопатогеном *Monilinia* spp., время воздействия составляло 50 или 60 с. В случае 50-секундной обработки развитие порчи снизилось только для плодов мелкого размера, но эффективность падала при увеличении времени между инокуляцией и обработкой ЭМП СВЧ от 0 до 48 ч, а также при повышении концентрации фитопатогенов от 10³ до 10⁵ КОЕ/мл. Обработка в течение 60 с обеспечивала большую устойчивость плодов к порче, при этом все вышеперечисленные факторы не оказывали заметного влияния. Обработка персиков

и нектаринов с естественной обсемененностью в течение 50 с привела к сокращению случаев возникновения порчи до 43 %, а 60-секундная обработка – до 7 %.

М. Sisquella *et al.* [33] рассматривали похожее явление: погруженные в воду персики и нектарины обрабатывали электромагнитным излучением радиочастотного диапазона (радиоволнами). При искусственном заражении такая обработка значительно сокращала распространение монилиоза вне зависимости от степени зрелости плодов, концентрации фитопатогенных микроорганизмов или времени между инокулированием и обработкой. У плодов с естественной обсемененностью частота возникновения порчи была снижена с 92 % в контроле до 26 % у персиков и до 0 % у нектаринов. Негативного влияния на органолептические показатели плодов при этом не наблюдалось. В работе [34] было изучено влияние на яблоки импульсного электрического поля разной мощности. Обработка высокой мощности (1,8 и 7,3 кДж/кг) приводила к снижению общего количества фенольных веществ и к ухудшению качества плодов (обесцвечиванию и потере твердости). Обработка низкой мощности (0,01 кДж/кг) сопровождалась увеличением содержания полифенолов на 26–35 % без каких-либо негативных побочных эффектов.

Ранее в проведенных авторами исследованиях по изучению влияния ЭМП КНЧ и СНЧ на фрукты и овощи при хранении [23–25] было установлено в том числе, что такая обработка вызывает изменение содержания полифенольных веществ. В корнеплодах моркови столовой она обуславливает увеличение этого показателя, а в капусте белокочанной, напротив, некоторое его снижение. Таким образом, существует вероятность, что уменьшение микробиальной обсемененности в образцах моркови сушеной и ее увеличение в образцах капусты белокочанной является следствием изменения содержания антимикробных полифенольных веществ.

Выводы

В ходе проведенного исследования изучено влияние обработки моркови столовой гибридов Ред Кор F1 и Борец F1, а также капусты белокочанной гибридов Олимп F1 и Агрессор F1 электромагнитным полем крайне низкой частоты (ЭМП КНЧ) при 25 Гц с индукцией магнитного поля 1 мТл в течение 15 мин перед сушкой горячим воздухом на интенсивность процесса и микробиологические показатели получаемой продукции.

Установлено, что предварительная обработка ЭМП КНЧ по-разному влияет на кинетику процесса сушки моркови и капусты белокочанной. Такая обработка способствует более быстрому высушиванию в случае моркови (выход сухого продукта из сырья, обработанного ЭМП КНЧ, составлял на 0,4–0,9 % меньше, чем в контрольных образцах), но менее интенсивному в случае капусты белокочанной (выход сухого продукта из сырья, обработанного ЭМП КНЧ, был на 2,8–3,9 % больше, чем в контрольных образцах). Можно предположить, что такой эффект оказывают особенности строения тканей и различные реакции на внешнее воздействие.

Исследованные варианты сушки моркови (при 55 °С в течение 7 ч и 65 °С в течение 5 ч) позволили получить допустимые значения микробиальной обсемененности по всем показателям на протяжении всего времени хранения (при этом на контрольных образцах КМАФАнМ было выше на 10,7–34,5 %, чем на образцах, предварительно обработанных ЭМП КНЧ). Образцы капусты, высушенные при 65 °С в течение 3 ч, имели допустимые значения микробиальной обсемененности (хотя на контрольных образцах КМАФАнМ было ниже на 9,5–12,5 %, чем на образцах, предварительно обработанных ЭМП КНЧ). При этом у образцов, высушенных при 55 °С в течение 4 ч, отмечено превышение норм микробиальной обсемененности по всем исследуемым показателям.

Полученные данные могут быть использованы при разработке новых методов сушки моркови и капусты белокочанной с использованием ЭМП КНЧ.

Критерии авторства

Все авторы внесли равный вклад в исследование и несут равную ответственность за информацию, опубликованную в данной статье.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors have contributed equally to the study and are equally responsible for the information published in this article.

Conflict of interest

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

Список литературы / References

1. dos Santos SF, de Cassia Vieira Cardoso R, Borges ÍMP, Costal e Almeida A, Andrade ES, *et al.* Post-harvest losses of fruits and vegetables in supply centers in Salvador, Brazil: Analysis of determinants, volumes and reduction strategies. *Waste Management*. 2020;101:161–170. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.007>

2. Asiamah E, Arthur W, Kyei-Barfour V, Sarpong F, Ketemepi HK. Enhancing the functional and physicochemical properties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit through polysaccharides edible dipping technique coating under various storage conditions. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2023;30:100373. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2023.100373>
3. Reis FR, Marques C, de Moraes ACS, Masson ML. Trends in quality assessment and drying methods used for fruits and vegetables. *Food Control*. 2022;142:109254. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109254>
4. Pashazadeh H, Ali Redha A, Koca I. Effect of convective drying on phenolic acid, flavonoid and anthocyanin content, texture and microstructure of black rosehip fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2024;125:105738. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105738>
5. Ma Q, Bi J, Yi J, Wu X, Li X, et al. Stability of phenolic compounds and drying characteristics of apple peel as affected by three drying treatments. *Food Science and Human Wellness*. 2021;10(2):174–182. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2021.02.006>
6. Гулин А. В., Мачулкина В. А., Кигашпаева О. П., Каракаджиев А. С., Володина С. А. Энергосберегающая сушка перца сладкого. Хранение и переработка сельхозсырья. 2022. № 2. С. 41–51. [Gulin AV, Machulkina VA, Kigashpaeva OP, Karakadzhiev AS, Volodina SA. Energy-saving drying of sweet pepper. Storage and Processing of Farm Products. 2022;(2):41–51. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.251>
7. Titov EI, Krasnova IS, Ganina VI, Semenova EG. Freeze-dried food in the diet of temporary residents of the Far North. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(1):170–178. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-170-178>
8. Xu H, Lei M, Li J, Zou S, Yin W, et al. Effects of different drying methods on the physicochemical and functional properties of *Pyracantha fortuneana* (Maxim.) Li fruit. *LWT*. 2023;187:115383. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115383>
9. Li Y, Zhao H, Xiang K, Li D, Liu C, et al. Factors affecting chemical and textural properties of dried tuber, fruit and vegetable. *Journal of Food Engineering*. 2024;365:111828. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111828>
10. Navina B, Keshav Huthaash K, Velmurugan NK, Korumilli T. Insights into recent innovations in anti browning strategies for fruit and vegetable preservation. *Trends in Food Science & Technology*. 2023;139:104128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104128>
11. Akter J, Hassan J, Rahman MM, Biswas MdS, Khan HI, et al. Colour, nutritional composition and antioxidant properties of dehydrated carrot (*Daucus carota* var. *sativus*) using solar drying techniques and pretreatments. *Heliyon*. 2024;10(2):e24165. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24165>
12. Yarabbi H, Soltani K, Sangatash MM, Yavarmanesh M, Shafafi Zenoozian M. Reduction of microbial population of fresh vegetables (carrot, white radish) and dried fruits (dried fig, dried peach) using atmospheric cold plasma and its effect on physicochemical properties. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023;14:100789. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100789>
13. Sheng L, Wang L. Approaches for a more microbiologically and chemically safe dried fruit supply chain. *Current Opinion in Biotechnology*. 2023;80:102912. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2023.102912>
14. Бурак Л. Ч., Сапач А. Н. Влияние предварительной обработки импульсным электрическим полем на процесс сушки: обзор предметного поля. Хранение и переработка сельхозсырья. 2023. № 2. С. 44–71. [Burak LCh, Sapach AN. Influence of pre-treatment by a pulsed electric field on the drying process: Scoping review. Storage and Processing of Farm Products. 2023;(2):44–71. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.418>
15. Arshad RN, Abdul-Malek Z, Munir A, Buntat Z, Ahmad MH, et al. Electrical systems for pulsed electric field applications in the food industry: An engineering perspective. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;104:1–13. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.008>
16. Rani P, Tripathy PP. Effect of ultrasound and chemical pretreatment on drying characteristics and quality attributes of hot air dried pineapple slices. *Journal of Food Science and Technology*. 2019;56:4911–4924. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03961-w>
17. Tao Y, Han M, Gao X, Han Y, Show P-L, et al. Applications of water blanching, surface contacting ultrasound-assisted air drying, and their combination for dehydration of white cabbage: Drying mechanism, bioactive profile, color and rehydration property. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019;53:192–201. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.003>
18. Chen J, Venkitasamy C, Shen Q, McHugh TH, Zhang R, et al. Development of healthy crispy carrot snacks using sequential infrared blanching and hot air drying method. *LWT*. 2018;97:469–475. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.026>
19. Deng L-Z, Mujumdar AS, Yang X-H, Wang J, Zhang Q, et al. High humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying rate and softens texture of apricot via cell wall pectin polysaccharides degradation and ultrastructure modification. *Food Chemistry*. 2018;261:292–300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.062>
20. Bao T, Hao X, Shishir MRI, Karim N, Chen W. Cold plasma: An emerging pretreatment technology for the drying of jujube slices. *Food Chemistry*. 2021;337:127783. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127783>
21. Huang C-C, Wu JS-B, Wu J-S, Ting Y. Effect of novel atmospheric-pressure jet pretreatment on the drying kinetics and quality of white grapes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2019;99(11):5102–5111. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9754>

22. Osaе R, Essilfie G, Alolga RN, Akaba S, Song X, *et al.* Application of non-thermal pretreatment techniques on agricultural products prior to drying: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020;100(6):2585–2599. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10284>
23. Першакова Т. В., Купин Г. А., Тягушева А. А., Алёшин В. Н. Влияние обработки электромагнитными полями на активность пероксидазы и содержание полифенолов в капусте при хранении. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2021. № 5–6. С. 21–25. [Pershakova TV, Kupin GA, Tyagushcheva AA, Aleshin VN. Effect of electromagnetic fields treatment on peroxidase activity and polyphenol content in cabbage during storage. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2021;(5–6):21–25. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.5-6.4>
24. Pershakova TV, Gorlov SM, Lisovoy VV, Mikhaylyuta LV, Babakina MV, *et al.* Influence of electromagnetic fields and microbial pesticide Vitaplan on stability of apples during storage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;640:022053. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022053>
25. Першакова Т. В., Купин Г. А., Бабакина М. В., Горлов С. М., Алёшин В. Н. Влияние вида обработки на показатели товарного качества и срок хранения ягод земляники. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2022. № 4. С. 51–55. [Pershakova TV, Kupin GA, Babakina MV, Gorlov SM, Aleshin VN. Influence of the type of processing on the indicators of strawberry commercial quality and shelf life. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2022;(4):51–55. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2022.4.9>
26. Назарько М. Д., Лобанов В. Г., Касьянов Г. И., Усатиков С. В., Иночкина Е. В. и др. Разработка физико-биологических методов защиты для повышения сохранности и качества яблок. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2019. № 5–6. С. 53–57. [Nazarko MD, Lobanov VG, Kasyanov GI, Usatikov SV, Inochkina EV, *et al.* Development of physical and biological methods of protection to improve preservation and quality of apples. *Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2019;(5–6):53–57. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YMBXGO>
27. Salehi F, Goharpour K, Razavi Kamran H. Effects of different pretreatment techniques on the color indexes, drying characteristics and rehydration ratio of eggplant slices. *Results in Engineering*. 2024;21:101690. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101690>
28. Salehi F, Goharpour K, Razavi Kamran H. Effects of ultrasound and microwave pretreatments of carrot slices before drying on the color indexes and drying rate. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023;101:106671. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106671>
29. Luka BS, Vihikwagh QM, Ngabea SA, Mactony MJ, Zakka R, *et al.* Convective and microwave drying kinetics of white cabbage (*Brassica oleraceae* var *capitata* L.): Mathematical modelling, thermodynamic properties, energy consumption and reconstitution kinetics. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2023;12:100605. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100605>
30. Romanazzi G, Sanzani SM, Bi Y, Tian S, Gutiérrez Martínez P, *et al.* Induced resistance to control postharvest decay of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. 2016;122:82–94. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.08.003>
31. Sun T, Ouyang H, Sun P, Zhang W, Wang Y, *et al.* Postharvest UV-C irradiation inhibits blackhead disease by inducing disease resistance and reducing mycotoxin production in ‘Korla’ fragrant pear (*Pyrus sinkiangensis*). *International Journal of Food Microbiology*. 2022;362:109485. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109485>
32. Sisquella M, Picouet P, Viñas I, Teixidó N, Segarra J, *et al.* Improvement of microwave treatment with immersion of fruit in water to control brown rot in stone fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2014;26:168–175. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.06.010>
33. Sisquella M, Viñas I, Picouet P, Torres R, Usall J. Effect of host and *Monilinia* spp. variables on the efficacy of radio frequency treatment on peaches. *Postharvest Biology and Technology*. 2014;87:6–12. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.042>
34. Ribas-Agustí A, Martín-Belloso O, Soliva-Fortuny R, Elez-Martínez P. Enhancing hydroxycinnamic acids and flavan-3-ol contents by pulsed electric fields without affecting quality attributes of apple. *Food Research International*. 2019;121:433–440. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.057>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2569>
<https://elibrary.ru/PBRBJQ>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Сравнительный анализ биогенных аминов в винах и сидрах



Н. М. Агеева¹, А. А. Ширшова^{1,*}, Е. В. Ульяновская¹,
С. Н. Щеглов², А. А. Храпов¹, Е. А. Чернуцкая¹

¹ Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия^{ROR},
Краснодар, Россия

² Кубанский государственный университет^{ROR}, Краснодар, Россия

Поступила в редакцию: 17.07.2024
Принята после рецензирования: 31.08.2024
Принята к публикации: 01.04.2025

*А. А. Ширшова: anastasiya_1987@inbox.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-1428-5935>
Н. М. Агеева: <https://orcid.org/0000-0002-9165-6763>
Е. В. Ульяновская: <https://orcid.org/0000-0003-3987-7363>
С. Н. Щеглов: <https://orcid.org/0000-0003-3919-8168>
А. А. Храпов: <https://orcid.org/0000-0001-6436-1970>
Е. А. Чернуцкая: <https://orcid.org/0000-0001-5140-9891>

© Н. М. Агеева, А. А. Ширшова, Е. В. Ульяновская, С. Н. Щеглов,
А. А. Храпов, Е. А. Чернуцкая, 2025



Аннотация.

Мониторинг содержания биогенных аминов в пищевой продукции важен с точки зрения здоровья и безопасности потребителя, т. к. эти вещества токсичны и способны вызывать головную боль, учащенное сердцебиение, рвоту и другие симптомы. Несмотря на то что в некоторых странах установлены максимально допустимые значения содержания гистамина в винах, данный вопрос остается малоизученным. Цель работы – определить массовые концентрации биогенных аминов в винах и сидрах и провести их сравнительный анализ.

Объекты исследования – вина и сидры, изготовленные в условиях лабораторно-производственного подразделения «Микровиноделие» Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (г. Краснодар, Россия) и приобретенные в розничной торговой сети. Массовую концентрацию биогенных аминов определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Установлено, что в винах и сидрах концентрация биогенных аминов изменялась в зависимости от сорта винограда или яблони, наличия или отсутствия биологического кислотопонижения. Суммарная концентрация биогенных аминов в белых винах достигала 9,55 мг/дм³, в красных – 12,01 мг/дм³. При этом биологическое кислотопонижение с применением молочно-кислых бактерий способствовало увеличению концентрации биогенных аминов. Массовая концентрация гистамина в винах была выше, чем в сидрах. В сидрах не выявлено наличие путресцина, но отмечено более высокое содержание кадаверина. Применение азотосодержащих подкормок для дрожжей при сбраживании свежего сусла приводило к увеличению массовой концентрации биогенных аминов как в винах, так и в сидрах.

Для снижения уровня биогенных аминов в готовой продукции при проведении кислотопонижения необходимо уделять внимание выбору молочнокислых бактерий и подкормок для дрожжей, неспособствующих продуцированию биогенных аминов или интродуцирующих их в минимальных количествах. Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке нормативных актов, устанавливающих пороговые значения массовой концентрации биогенных аминов в винах и сидрах в качестве показателя безопасности. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку методов профилактики и снижения концентраций биогенных аминов в винах и сидрах.

Ключевые слова. Биогенные амины, азотистые вещества, вино, сидр, сорт винограда, сорт яблони, яблочно-молочное брожение, спиртовое брожение, ферментативные реакции

Финансирование. Исследование выполнено на базе Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (СКФНЦСВВ)^{ROR} при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/100.

Для цитирования: Агеева Н. М., Ширшова А. А., Ульяновская Е. В., Щеглов С. Н., Храпов А. А. и др. Сравнительный анализ биогенных аминов в винах и сидрах. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 284–299. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2569>

Comparative Analysis of Biogenic Amines in Wines and Ciders



Natalia M. Ageyeva¹, Anastasia A. Shirshova^{1,*},
Elena V. Ulyanovskaya¹, Sergey N. Shcheglov²,
Anton A. Khrapov¹, Evgenia A. Chernutskaya¹

¹ North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture Wine-making^{ROR}, Krasnodar, Russia

² Kuban State University^{ROR}, Krasnodar, Russia

Received: 17.07.2024

Revised: 31.08.2024

Accepted: 01.04.2025

*Anastasia A. Shirshova: anastasiya_1987@inbox.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-1428-5935>

Natalia M. Ageyeva: <https://orcid.org/0000-0002-9165-6763>

Elena V. Ulyanovskaya: <https://orcid.org/0000-0003-3987-7363>

Sergey N. Shcheglov: <https://orcid.org/0000-0003-3919-8168>

Anton A. Khrapov: <https://orcid.org/0000-0001-6436-1970>

Evgenia A. Chernutskaya: <https://orcid.org/0000-0001-5140-9891>

© N.M. Ageyeva, A.A. Shirshova, E.V. Ulyanovskaya, S.N. Shcheglov,
A.A. Khrapov, E.A. Chernutskaya, 2025



Abstract.

Biogenic amines are an important safety indicator for many food products. Although some countries have established maximum permissible values for histamine content in wines, this issue still remains understudied. This article introduces a comparative analysis of mass concentrations of biogenic amines in wines and ciders.

Some wine and cider samples were produced in the Microwinemaking Laboratory, North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking, while others were purchased in retail shops. The method of high-performance liquid chromatography made it possible to determine the mass concentration of biogenic amines.

In the wines and ciders, the concentration of biogenic amines depended on the grape or apple variety, as well as on the presence or absence of biological deacidification. The total concentration of biogenic amines reached 9.55 mg/dm³ in the white wines and 12.01 mg/dm³ in the red wines. The biological deacidification by lactic acid bacteria increased the concentration of biogenic amines. The mass concentration of histamine was higher in the wines than in the ciders. No putrescine was detected in the ciders, but they demonstrated a higher content of cadaverine. The use of nitrogen-containing yeast dressings during fermentation increased the mass concentration of biogenic amines in both types of alcoholic beverages.

The choice of optimal lactic acid bacteria and yeast dressings is important to reduce the level of biogenic amines in ciders or wines during deacidification since they may trigger the production of biogenic amines or introduce them in minimal quantities. The obtained results can be used to improve the existing safety indicators of mass concentrations of biogenic amines in wines and ciders. Further research will provide new methods for reducing the concentrations of biogenic amines in wines and ciders.

Keywords. Biogenic amines, nitrogenous substances, wine, cider, grape variety, apple variety, malolactic fermentation, alcoholic fermentation, enzymatic reactions

Funding. The research was conducted on the premises of the North Caucasian Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking (NCFSCHVW)^{ROR} and supported by the Kuban Science Foundation as part of Scientific Project No. MFI-20.1/100.

For citation: Ageyeva NM, Shirshova NM, Ulyanovskaya EV, Shcheglov SN, Khrapov AA, *et al.* Comparative Analysis of Biogenic Amines in Wines and Ciders. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):284–299. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2569>

Введение

В последние годы большой интерес исследователей вызывают биогенные амины [1, 2]. Это связано с обеспечением безопасности пищевой продукции, в том числе напитков, т. к. биогенные амины, особенно гистамин, являются токсичными веществами, способ-

ными вызывать головную боль, учащенное сердцебиение, рвоту и другие симптомы, в том числе имитирующие пищевую аллергию [3–5]. Однако нормативных актов, устанавливающих пороговые значения биогенных аминов в винах и сидрах в Российской Федерации с целью защиты потребителя, до сих пор

не существует [6]. Таким образом, мониторинг содержания биогенных аминов в пищевых продуктах, среди которых вина и сидры, важен с точки зрения контроля качества готовой продукции и ее безопасности [7]. Кроме того, по данным [8], изменение климата может повлиять на показатели качества и безопасности винодельческой продукции в различных географических регионах, а также на концентрацию биогенных аминов.

В настоящее время в ряде европейских стран установлены максимально допустимые значения гистамина в винах – от 2,0 до 10,0 мг/дм³ [9]. Так, его массовая концентрация не должна превышать, мг/дм³: в Германии – 2,0; в Нидерландах – 3,5; в Финляндии – 5,0; в Бельгии – 6,0; во Франции – 8,0; в Австралии и Швейцарии – 10,0 [10]. Зарубежными учеными описано, что биогенные амины обнаружены в винах Португалии в концентрации 7,3 мг/дм³ [11]; Франции – 14,1 мг/дм³; Испании – от 10,6 до 19,6 мг/дм³ [12, 13]; Италии – до 50,0 мг/дм³; Чили – от 2,2 до 65,1 мг/дм³ [14]. Согласно данным [15], в испанских, австрийских и немецких винах обнаружено 11,1; 12,1 и 14,8 мг/дм³ гистамина соответственно. Кроме того, путресцин выявлен в разных концентрациях в винах Италии (11,1–31,8 мг/дм³) и Франции (до 48,7 мг/дм³). Однако регламентированных требований к массовой концентрации биогенных аминов в винах и сидрах не установлено [16]. Данные Европейского агентства по безопасности пищевых продуктов (EFSA) говорят о необходимости дальнейших исследований данного вопроса.

Биогенные амины представляют собой группу органических соединений, образующихся в результате ферментативных реакций, таких как декарбоксилирование, трансаминирование и восстановительное аминирование соответствующих аминокислот – предшественников [17, 18]. Важнейшие среди них – гистамин, кадаверин, путресцин, тирамин, спермидин и β -фенилэтиламин – продукты декарбоксилирования гистидина, лизина, орнитина, тирозина, аргинина и β -фенилэтиламина соответственно [19]. Вариативность их содержания в винах объясняется сортом винограда и его микробиологическими показателями; санитарно-гигиеническим состоянием производственных цехов предприятия; условиями переработки винограда; спецификой дрожжей, применяемых для ферментации сусла или мезги, и молочнокислых бактерий, используемых для проведения биологического кислотопонижения [20–22].

Интерес вызывает исследование биогенных аминов в сидрах – слабоалкогольных напитках, полученных путем брожения яблочного сусла (сока), ввиду роста их популярности, а следовательно, и объемов производства [23]. Образование биогенных аминов в них протекает по такому же механизму, как и в винах. Различия в концентрациях может определять качественный и количественный состав аминокислот свежего яблочного сусла. Содержание аминокислот – предшественников биогенных аминов – в винах больше,

чем в сидрах. Однако плодам яблони характерно наличие больших количеств молочнокислых бактерий, ферментативный комплекс которых способствует образованию биогенных аминов.

Значительную часть сидров (в России более 90 %) производят из концентрированных яблочных соков, содержащих невысокие концентрации питательных веществ для развития дрожжевых клеток. Поэтому для активации брожения и обеспечения дрожжей питательными компонентами в промышленности, как правило, используют различные подкормки, содержащие азотистые вещества, витамины, микроэлементы. К их числу относятся диаммонийфосфат, тиамин, дрожжевой автолизат, инактивированные дрожжи, содержащие оболочки клеток, например Эливит, БиоПротект, Сэлклин (Франция), комплекс солей аммония (аммиачный азот, соли аммония и аминокислоты инактивированных дрожжей). Инактивированные дрожжи, автолизаты, клеточные оболочки снабжают сбраживаемую среду витаминами, олигоэлементами, факторами выживания, стеролами и способствуют детоксикации среды благодаря адсорбции веществ-ингибиторов брожения. Целлюлоза увеличивает мутность сусла и служит подкормкой для дрожжей. Тиамин стимулирует рост дрожжей и позволяет увеличить их популяцию. В связи с этим большой интерес представляет исследование влияния питательных добавок на накопление биогенных аминов при сбраживании виноградного и яблочного сусла, а также сравнительный анализ биогенных аминов в винах и сидрах.

Цель работы – определить массовые концентрации биогенных аминов в винах и сидрах и провести их сравнительный анализ.

Объекты и методы исследования

Опытные образцы вин и сидров были изготовлены в лабораторно-производственном подразделении «Микровиноделие» Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (СКФНЦСВВ), г. Краснодар, Россия.

При производстве вин использовали виноград, выращенный на базе Анапской зональной опытной станции виноградарства и виноделия (АЗОСВиВ – филиал СКФНЦСВВ), урожая 2023 г. Вина наливом (виноматериалы) сухие белые изготавливали путем дробления винограда сортов Шардоне и Совиньон блан (по отдельности) с последующим прессованием мезги на корзиночном прессе, получением сусла-самотека и дальнейшим его сбраживанием с использованием активных сухих дрожжей штамм ЮС1102 рода *Saccharomyces cerevisiae* (Институт энологии Шампани, Франция) при температуре брожения не более 18 °С. По окончании брожения вина наливом (виноматериалы) отделяли от дрожжевого осадка путем перекачивания в другие емкости. Вина наливом (виноматериалы) сухие красные получали путем дробления винограда сортов Каберне Совиньон и Саперави

(по отдельности) с получением мезги и дальнейшим ее сбраживанием расой дрожжей Oenoferm Rouge (Erbslöh Geisenheim, Германия) при температуре брожения не более 25 °С. При сбраживании более 85 % сахаров проводили отделение бродящего сусла от мезги. Стекшую мезгу подвергали прессованию. Затем сусло, полученное после стекания, и бродящее сусло, полученное после первого давления, объединяли и направляли на дображивание. После окончания брожения (остаточная массовая концентрация сахаров не более 4,0 г/дм³) вина наливом (виноматериал) сухие красные снимали с дрожжевых осадков. Осветление вин наливом (виноматериалов) проводили отстаиванием (самоосветление), после чего направляли на отдых. В винах определяли массовую концентрацию биогенных аминов до и после кислотопонижения бактериями яблочно-молочного брожения (раса MaloStar® Vitale SK11, Erbslöh Geisenheim, Германия).

Сидры изготавливали из плодов яблони различных сортов и сроков созревания (Кетни, Вирджиния Креб, Персиковое, Багрянец Кубани, Прикубанское, Флорина, Союз, Орфей, Марго, Либерти, Интерпрайс, Лигол, Амулет, Ренет Платона, Экзотика, Кармен, Чемпион) и элитных форм яблони селекции СКФНЦ СВВ, выращенных в центре коллективного пользования «Исследовательско-селекционная коллекция генетических ресурсов садовых культур», расположенном в ЗАО ОПХ «Центральное» (г. Краснодар). Для получения свежего яблочного сусла плоды яблони каждого сорта мыли, затем по отдельности перерабатывали с помощью дробилки-измельчителя. Сусло отделяли путем прессования мезги гидравлическим прессом. Свежее яблочное сусло сбраживали при температуре не более 18 °С с применением расы дрожжей IOC Fruit (род *Saccharomyces cerevisiae*, Институт энологии Шампани, Франция). В качестве вариантов сравнения были отобраны образцы сидров из торговой сети, изготовленные как из свежего яблочного сусла, так и из восстановленного яблочного сока.

Массовую концентрацию биогенных аминов (гистамина, тирамина, β -фенилэтиламина, путресцина, кадаверина) в винах и сидрах определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии прибором Agilent 1220 Infinity II LC (Agilent Technologies, Германия) с использованием градиентной системы элюирования, состоящей из ацетатного буфера/азида натрия (элюент А) и ацетонитрила/метанола (элюент В), с предварительной дериватизацией анализируемой пробы согласно методике OIV-MA-AS315-26.

В отдельных экспериментах для активации брожения свежего виноградного сусла (из сортосмеси винограда) и свежего яблочного сусла (из сорта Лигол) подкормку дрожжей осуществляли диаммоний-фосфатом (0,2 г/дм³), сухим препаратом автолизата дрожжей (0,1 г/дм³), Сэлклином (0,2 г/дм³). Диаммоний-фосфат представляет собой водорастворимую соль, образующуюся при взаимодействии аммиака и фос-

форной кислоты. Автолизат дрожжей – разрушенные клеточные стенки дрожжей с высвободившимися органическими и неорганическими веществами (пептиды, аминокислоты, микроэлементы и др.). Сэлклин (Cell-clean, Институт энологии Шампани, Франция) – клеточные оболочки дрожжей с высокой способностью к адсорбции ингибиторов брожения. Исследования проводили в научном центре «Виноделие» и центре коллективного пользования СКФНЦСВВ.

Испытания опытных образцов по показателям массовой концентрации биогенных аминов осуществляли в трехкратной повторности с оценкой приемлемости результатов. Для исследования сходства и различий средних значений массовых концентраций биогенных аминов был использован множественный ранговый тест – метод LSD (Least Significant Difference method), для корректного построения однородных групп по комплексу признаков, характеризующих содержание биогенных аминов в сидрах, – иерархический кластерный анализ по методу Уорда и *t*-критерия Стьюдента [24], реализованный в программе Statistica 14.0 (Tibco). Метод позволил проверить равенства средних значений нескольких выборок и выделить группы выборок с одинаковыми средними значениями.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования (табл. 1) показали, что массовая концентрация биогенных аминов в винах изменялась в зависимости от сорта винограда, из которого произведено вино, и наличия или отсутствия биологического кислотопонижения – яблочно-молочного брожения. Согласно полученным результатам, суммарная концентрация биогенных аминов в белых сортах вин варьировала от 4,91 (из сорта винограда Шардоне) до 9,55 мг/дм³ (из сорта винограда Совиньон блан) и в красных сортах вин – от 6,72 (из сорта винограда Каберне Совиньон) до 12,01 мг/дм³ (из сорта винограда Саперави) (рис. 1). При этом биологическое кислотопонижение с помощью бактерий яблочно-молочного брожения способствовало увеличению концентрации биогенных аминов, что согласуется с исследованиями других ученых [25]. Это позволяет считать, что лактобактерии обладают высокой активностью декарбоксилаз.

Среди отдельных биогенных аминов, идентифицированных в опытных образцах, в наибольших концентрациях обнаружен гистамин, чуть в меньших – тирамин, содержание которого существенно возросло после кислотопонижения.

При сравнении белых и красных вин отмечено, что концентрация как гистамина, так и тирамина в красных винах была выше, чем в белых. Наименьшие концентрации среди исследованных биогенных аминов были характерны для путресцина и кадаверина.

С использованием множественного рангового теста – метода LSD, который позволяет проверять равенства средних значений нескольких выборок и выделять

Таблица 1. Значения массовых концентраций биогенных аминов в сортовых винах*

Table 1. Values of mass concentrations of biogenic amines in varietal wines*

Образец	Массовая концентрация биогенных аминов, мг/дм ³				
	гистамин	тирамин	β -фенилэтиламин	путресцин	кадаверин
Вино сухое белое Шардоне	2,45 ± 0,04	1,88 ± 0,03	0,26 ± 0,03	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,03
Вино сухое белое Шардоне (КП)	3,84 ± 0,04	3,65 ± 0,03	0,43 ± 0,02	0,28 ± 0,02	0,32 ± 0,03
Вино сухое белое Совиньон блан	2,88 ± 0,04	2,45 ± 0,02	0,40 ± 0,03	0,24 ± 0,02	0,28 ± 0,03
Вино сухое белое Совиньон блан (КП)	4,22 ± 0,04	4,05 ± 0,04	0,63 ± 0,04	0,37 ± 0,03	0,28 ± 0,03
Вино сухое красное Каберне Совиньон	3,48 ± 0,04	2,54 ± 0,04	0,28 ± 0,03	0,22 ± 0,02	0,20 ± 0,02
Вино сухое красное Каберне Совиньон (КП)	5,10 ± 0,04	4,53 ± 0,04	0,32 ± 0,03	0,37 ± 0,03	0,31 ± 0,02
Вино сухое красное Саперави	4,22 ± 0,04	2,76 ± 0,03	0,34 ± 0,03	0,26 ± 0,02	0,20 ± 0,02
Вино сухое красное Саперави (КП)	5,34 ± 0,04	5,48 ± 0,04	0,45 ± 0,04	0,36 ± 0,02	0,38 ± 0,04
$p < 0,05$					
Минимум	2,45 ± 0,04	1,88 ± 0,03	0,26 ± 0,03	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,03
Максимум	5,34 ± 0,04	5,48 ± 0,04	0,63 ± 0,04	0,37 ± 0,03	0,38 ± 0,04

Примечание: * – сортовое вино, изготовленное на 100 % из винограда одного помологического сорта; КП – после кислотопонижения.

Note: * – varietal wine of one pomological grate variety; КП – after reducing acidity.

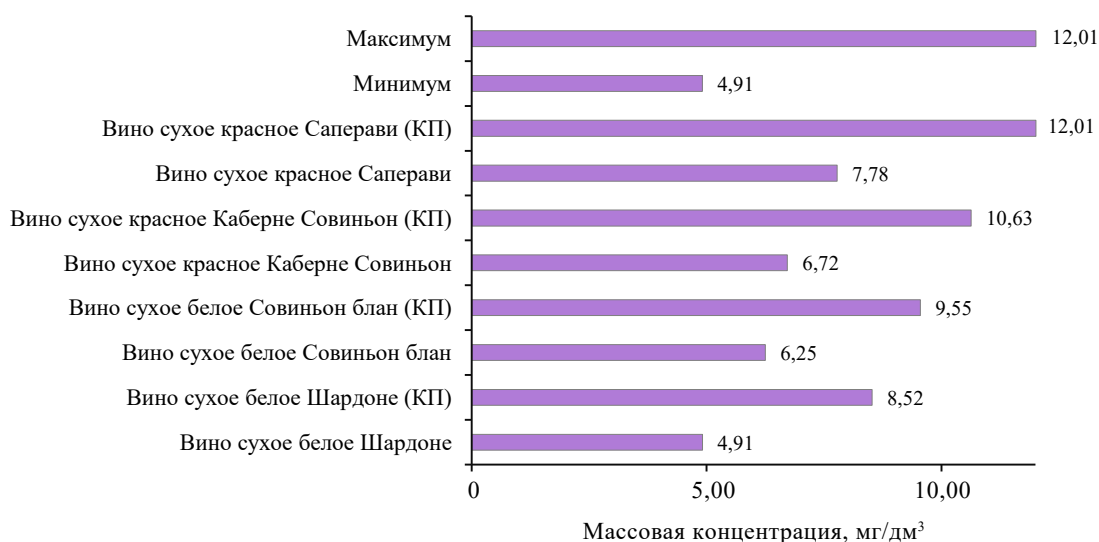


Рисунок 1. Суммарная массовая концентрация биогенных аминов в сухих белых и сухих красных винах в зависимости от сорта и наличия / отсутствия кислотопонижения (КП)

Figure 1. Effect of variety and deacidification on total mass concentration of biogenic amines in dry white and dry red wines

группы выборок с одинаковыми средними значениями, были изучены сходства и различия средних значений массовых концентраций биогенных аминов (гистамина (табл. 2), тирамина, β -фенилэтиламина, путресцина, кадаверина) в сортовых винах.

Установлено, что в сортовых винах после кислотопонижения содержание гистамина и тирамина возросло. По содержанию тирамина все варианты опыта статистически достоверно различались (табл. 3).

Вина Шардоне и Каберне Совиньон не имели достоверного различия по содержанию β -фенилэтиламина, у остальных сортовых вин его содержание увеличивалось после кислотопонижения. У образцов вин из сортов винограда Каберне Совиньон, Саперави, Совиньон блан

после кислотопонижения в содержании путресцина достоверных различий выявлено не было. В этих винах массовая концентрация путресцина была наибольшей. По содержанию кадаверина не выявлено статистически достоверного различия у вин из сортов винограда Шардоне и Саперави, Совиньон блан и Совиньон блан (после кислотопонижения), Каберне Совиньон (после кислотопонижения) и Шардоне (после кислотопонижения). В вине из винограда сорта Шардоне определена наименьшая концентрация кадаверина, в вине из сорта Саперави (после кислотопонижения) – наибольшая.

В таблице 4 представлены результаты множественного рангового теста содержания суммы биогенных аминов в сортовых винах.

Таблица 2. Результаты множественного рангового теста по содержанию гистамина в сортовых винах

Table 2. Multiple rank test of histamine content in varietal wines

Образец	Среднее значение, мг/дм ³	Множественный ранговый тест							
Вино сухое белое Шардоне	2,450	—	***	—	—	—	—	—	—
Вино сухое белое Совиньон блан	2,883	—	—	***	—	—	—	—	—
Вино сухое красное Каберне Совиньон	3,480	—	—	—	***	—	—	—	—
Вино сухое белое Шардоне (КП)	3,843	—	—	—	—	***	—	—	—
Вино сухое красное Саперави	4,220	***	—	—	—	—	—	—	—
Вино сухое белое Совиньон блан (КП)	4,223	***	—	—	—	—	—	—	—
Вино сухое красное Каберне Совиньон (КП)	5,113	—	—	—	—	—	***	—	—
Вино сухое красное Саперави (КП)	5,340	—	—	—	—	—	—	***	—

Примечание: *** на одной вертикали – средние значения, не имеющие статистически значимых различий; *** на разных вертикалях – различия средних значений статистически достоверны на 5 % уровне значимости. КП – после кислотопонижения.

Note: *** in one column – mean values with no statistically significant differences; *** in different columns – statistically significant differences in mean values (5% significance level). КП – after reducing acidity.

Таблица 3. Результаты множественного рангового теста по содержанию тирамина в сортовых винах

Table 3. Multiple rank test of tyramine content in varietal wines

Образец	Среднее значение, мг/дм ³	Множественный ранговый тест							
Вино сухое белое Шардоне	1,876	***	—	—	—	—	—	—	—
Вино сухое белое Совиньон блан	2,450	—	***	—	—	—	—	—	—
Вино сухое красное Каберне Совиньон	2,540	—	—	***	—	—	—	—	—
Вино сухое красное Саперави	2,760	—	—	—	***	—	—	—	—
Вино сухое белое Шардоне (КП)	3,650	—	—	—	—	***	—	—	—
Вино сухое белое Совиньон блан (КП)	4,053	—	—	—	—	—	***	—	—
Вино сухое красное Каберне Совиньон (КП)	4,536	—	—	—	—	—	—	***	—
Вино сухое красное Саперави (КП)	5,480	—	—	—	—	—	—	—	***

Примечание: *** на одной вертикали – средние значения, не имеющие статистически значимых различий; *** на разных вертикалях – различия средних значений статистически достоверны на 5 % уровне значимости. КП – после кислотопонижения.

Note: *** in one column – mean values with no statistically significant differences; *** in different columns – statistically significant differences in mean values (5% significance level). КП – after reducing acidity.

Таблица 4. Результаты множественного рангового теста по содержанию суммы биогенных аминов в сортовых винах

Table 4. Multiple rank test of biogenic amine content in varietal wines

Образец	Среднее значение, мг/дм ³	Множественный ранговый тест							
Вино сухое белое Шардоне	4,913	***	—	—	—	—	—	—	—
Вино сухое белое Совиньон блан	6,250	—	***	—	—	—	—	—	—
Вино сухое красное Каберне Совиньон	6,720	—	—	***	—	—	—	—	—
Вино сухое красное Саперави	7,780	—	—	—	***	—	—	—	—
Вино сухое белое Шардоне (КП)	8,520	—	—	—	—	***	—	—	—
Вино сухое белое Совиньон блан (КП)	9,550	—	—	—	—	—	***	—	—
Вино сухое красное Каберне Совиньон (КП)	10,630	—	—	—	—	—	—	***	—
Вино сухое красное Саперави (КП)	12,010	—	—	—	—	—	—	—	***

Примечание: *** на одной вертикали – средние значения, не имеющие статистически значимых различий; *** на разных вертикалях – различия средних значений статистически достоверны на 5 % уровне значимости. КП – после кислотопонижения.

Note: *** in one column – mean values with no statistically significant differences; *** in different columns – statistically significant differences in mean values (5% significance level). КП – after reducing acidity.

Значения суммы массовых концентраций изученных биогенных аминов в опытных образцах вин обладали статистически значимыми различиями, несмотря на близкие значения концентраций отдельных биогенных аминов. Так как образцы вин были произведе-

дены в одинаковых условиях с применением идентичных технологических приемов, можно сделать вывод, что массовая концентрация биогенных аминов в винах зависит от сорта винограда. Так, наименьшее содержание биогенных аминов было характерно

для вина из сорта винограда Шардоне, а наибольшее – из сорта винограда Саперави. Также увеличение концентрации биогенных аминов в винах наступило в результате применения яблочно-молочного брожения (биологическое кислотопонижение).

Дальнейшие исследования проведены с образцами экспериментальных и промышленных образцов сидра (табл. 5). При сравнении полученных результатов отмечено существенное варьирование концентрации биогенных аминов в зависимости от сорта яблоны

Таблица 5. Значения массовых концентраций биогенных аминов в сидрах

Table 5. Mass concentration values of biogenic amines in ciders

Образец	Массовая концентрация биогенных аминов, мг/дм ³			
	гистамин	кадаверин	тирамин	β -фенилэтиламин
Экспериментальные образцы сортовых* сухих сидров из различных сортов яблоны				
Кетни (урожай 2023 г.)	0,41 ± 0,03	4,15 ± 0,04	5,17 ± 0,02	0,45 ± 0,04
Вирджиния Креб (урожай 2023 г.)	0,40 ± 0,03	4,63 ± 0,02	5,42 ± 0,04	0,38 ± 0,03
Персиковое (урожай 2022 г.)	0,57 ± 0,04	3,79 ± 0,03	3,28 ± 0,03	0,27 ± 0,02
Персиковое, (урожай 2023 г.)	0,44 ± 0,03	3,26 ± 0,03	3,67 ± 0,03	0,29 ± 0,02
Багрянец Кубани (урожай 2022 г.)	0,32 ± 0,03	3,51 ± 0,03	2,85 ± 0,03	менее 0,10
Багрянец Кубани (урожай 2023 г.)	0,30 ± 0,02	3,25 ± 0,03	3,16 ± 0,03	менее 0,10
Прикубанское (урожай 2022 г.)	0,32 ± 0,03	4,08 ± 0,03	3,63 ± 0,03	0,14 ± 0,02
Прикубанское (урожай 2023 г.)	0,41 ± 0,03	3,36 ± 0,03	4,03 ± 0,03	0,16 ± 0,02
Флорина (урожай 2023 г.)	0,46 ± 0,04	3,84 ± 0,03	5,32 ± 0,04	0,28 ± 0,02
Союз (урожай 2023 г.)	0,33 ± 0,03	3,47 ± 0,03	4,56 ± 0,04	менее 0,10
Орфей (урожай 2023 г.)	0,22 ± 0,02	3,37 ± 0,03	3,63 ± 0,04	0,31 ± 0,03
Марго (урожай 2023 г.)	0,32 ± 0,02	3,06 ± 0,03	3,26 ± 0,03	менее 0,10
Либерти (урожай 2023 г.)	0,28 ± 0,02	5,24 ± 0,04	5,27 ± 0,04	0,24 ± 0,02
Интерпрайс (урожай 2023 г.)	0,45 ± 0,03	4,82 ± 0,03	5,09 ± 0,04	менее 0,10
Лигол (урожай 2023 г.)	0,56 ± 0,03	7,04 ± 0,04	6,23 ± 0,04	менее 0,10
Ренет Платона (урожай 2023 г.)	0,27 ± 0,02	3,19 ± 0,03	3,27 ± 0,03	0,41 ± 0,03
Амулет (урожай 2023 г.)	0,52 ± 0,03	3,87 ± 0,03	4,72 ± 0,03	менее 0,10
Экзотика (урожай 2023 г.)	0,37 ± 0,02	3,28 ± 0,03	4,05 ± 0,04	0,38 ± 0,02
Кармен (урожай 2023 г.)	0,45 ± 0,03	4,04 ± 0,04	5,24 ± 0,04	0,21 ± 0,03
Чемпион (урожай 2023 г.)	0,53 ± 0,03	4,27 ± 0,04	6,18 ± 0,05	менее 0,10
Экспериментальные образцы сортовых* сухих сидров из элитных форм яблоны селекции СКФНЦСВВ (урожай 2023 г.)				
12/1-20-4	0,48 ± 0,03	4,47 ± 0,04	5,64 ± 0,04	0,18 ± 0,02
12/1-20-16	0,44 ± 0,03	3,24 ± 0,03	6,21 ± 0,04	0,21 ± 0,02
12/1-20-33	1,27 ± 0,03	5,36 ± 0,04	5,35 ± 0,04	0,26 ± 0,03
12/1-21-15	1,25 ± 0,03	5,66 ± 0,04	3,72 ± 0,05	0,21 ± 0,02
12/1-21-36	0,55 ± 0,03	4,36 ± 0,04	5,17 ± 0,04	0,17 ± 0,02
Минимум	0,22 ± 0,02	3,19 ± 0,03	2,85 ± 0,03	менее 0,10
Максимум	1,27 ± 0,03	7,04 ± 0,04	6,23 ± 0,04	0,45 ± 0,04
Промышленные образцы сидров				
Сидр сухой «Натурал Трабанко», Испания	1,24 ± 0,03	6,24 ± 0,04	8,65 ± 0,05	0,38 ± 0,03
Сидр сухой «Октябрь № 20», Россия	1,28 ± 0,03	4,64 ± 0,04	5,25 ± 0,04	менее 0,10
Сидр полусладкий газированный «Абрау», Россия	0,86 ± 0,03	4,18 ± 0,04	5,83 ± 0,04	менее 0,10
Сидр сухой игристый «Гуд сайдер Сан-Себастьян. Брют», Испания	2,31 ± 0,04	7,12 ± 0,04	6,24 ± 0,04	0,17 ± 0,02
Сидр сухой «Магнерс Ориджинал», Ирландия	2,51 ± 0,04	7,32 ± 0,04	8,64 ± 0,05	0,25 ± 0,02
Сидр сухой игристый «Drunken Rat cider», Россия	1,65 ± 0,03	4,38 ± 0,04	5,37 ± 0,04	менее 0,10
Сидр сухой игристый «Русская Нормандия», Россия	0,78 ± 0,02	3,57 ± 0,03	4,57 ± 0,04	0,15 ± 0,01
Сидр сухой игристый «Белло де кроу дю пей д'От брют», Франция	1,56 ± 0,03	5,15 ± 0,04	8,56 ± 0,05	0,26 ± 0,02
Сидр сухой игристый «Артизаналь Ле Кло Флери брют», Франция	1,27 ± 0,03	6,37 ± 0,04	9,12 ± 0,05	0,27 ± 0,02
Сидр сухой игристый «Керисак Кюве Розе», Франция	1,48 ± 0,03	5,86 ± 0,04	7,63 ± 0,05	0,31 ± 0,03
Сидр сухой игристый «Валь де Ранс Розе», Франция	3,08 ± 0,04	9,35 ± 0,06	9,04 ± 0,06	0,28 ± 0,02
Сидр сухой ООО «Сельхоз-Галан», Россия	1,13 ± 0,03	5,18 ± 0,05	6,13 ± 0,05	менее 0,10
Минимум	0,78 ± 0,02	4,18 ± 0,04	5,25 ± 0,04	менее 0,10
Максимум	3,08 ± 0,04	9,35 ± 0,06	9,12 ± 0,05	0,31 ± 0,03

Примечание: * – сортовой сидр, изготовленный на 100 % из яблок одного pomological сорта.

Note: * – varietal cider of one pomological variety.

при равных условиях переработки плодов и брожения яблочного сусла. Так, наибольшее количество гистамина выявлено в сидрах, произведенных из элитных форм яблони 12/1-21-15 и 12/2-20-33 – более 1,0 мг/дм³; кадаверина из сортов яблони Лигол, Либерти, форм 12/1-21-15 и 12/2-20-33 – более 5,0 мг/дм³; тирамина – сортов Лигол, Чемпион, формы 12/1-20-16 – более 6,0 мг/дм³; β -фенилэтиламина – Кетни, Вирджиния Креб, Ренет Платона – более 0,38 мг/дм³.

Далее изучали различия по сводным данным о минимальных и максимальных концентрациях биогенных аминов в виноградных винах и сидрах (табл. 6).

На основе математической обработки полученных данных установлено, что содержание гистамина имело статистическое различие у сидров, сухих белых и сухих красных вин. По содержанию тирамина, β -фенилэтиламина, кадаверина и по сумме биогенных аминов статистически достоверные различия имели только

Таблица 6. Результаты множественного рангового теста сравнительных данных концентраций биогенных аминов в винах и сидрах

Table 6. Multiple rank test of comparative data on biogenic amine concentrations in wines and ciders

Наименование образца	Среднее значение, мг/дм ³	Множественный ранговый тест		
Гистамин				
Сидры	0,600	***	—	—
Вина сухие белые	2,617	—	***	—
Вина сухие красные	3,829	—	—	***
Тирамин				
Сидры	3,187	—	***	—
Вина сухие белые	6,683	***	—	—
Вина сухие красные	8,288	***	—	—
<i>β</i> -фенилэтиламин				
Сидры	0,268	—	***	—
Вина сухие белые	1,698	***	—	—
Вина сухие красные	2,141	***	—	—
Путресцин				
Сидры	0,433	***	—	—
Вина сухие белые	0,290	***	—	—
Вина сухие красные	0,362	***	—	—
Кадаверин				
Сидры	1,108	—	***	—
Вина сухие белые	0,287	***	—	—
Вина сухие красные	0,403	***	—	—
Сумма биогенных аминов				
Сидры	5,595	—	***	—
Вина сухие белые	11,575	***	—	—
Вина сухие красные	15,023	***	—	—

Примечание: *** на одной вертикали – средние значения, не имеющие статистически значимых различий; *** на разных вертикалях – различия средних значений статистически достоверны на 5 % уровне значимости.

Note: *** in one column – mean values with no statistically significant differences; *** in different columns – statistically significant differences in mean values (5% significance level).

сидры. По содержанию путресцина различий между тремя исследованными группами образцов обнаружено не было.

В таблице 7 представлены сводные данные о минимальных и максимальных концентрациях биогенных аминов в винах и сидрах. Концентрация гистамина и путресцина в винах была выше в сравнении с сидрами. При этом ни в промышленных, ни в лабораторных образцах сидров не выявлено наличие путресцина, предшественником которого является аминокислота орнитин. Во всех образцах сидров присутствовал спермидин (предшественник аргинин) в концентрации от 0,26 до 1,71 мг/дм³ из сортов Амулет и Лигол соответственно. Отмечено более высокое содержание кадаверина в сидрах, особенно в промышленных образцах, и незначительное – β -фенилэтиламина.

На рисунках 2 и 3 представлены максимальные суммарные концентрации биогенных аминов в промышленных и экспериментальных образцах сидров. Следует отметить, что максимальная суммарная концентрация биогенных аминов установлена в промышленных образцах сидров (в большей степени импортных): «Валь де Ранс Розе», «Белло де крю дю пей д'От брют» (Франция), «Магнерс Ориджинал» (Ирландия), «Сидр Натурал Трабанко» (Испания) – более 15,0 мг/дм³.

В результате статистической обработки экспериментальных данных установлено влияние срока созревания плодов яблони на содержание биогенных аминов в сортовых экспериментальных сидрах (табл. 8). Статистически значимые различия выявлены по содержанию β -фенилэтиламина, который отсутствовал в сидрах из плодов яблони летнего срока созревания и резко возрастал в сидрах из плодов яблони сортов осеннего срока созревания по сравнению с зимними сортами. Зависимости по содержанию гистамина, кадаверина, тирамина и суммы биогенных аминов не были установлены.

Также выявлены статистически значимые различия содержания биогенных аминов в сидрах в зависимости от географического происхождения сортов яблони (табл. 9).

Полученные данные позволили заключить, что сидры из плодов яблони сортов западноевропейского происхождения имели наибольшую концентрацию гистамина по сравнению с сортами российского и североамериканского происхождения, не имеющих достоверного различия по этому показателю.

Сидры из российских сортов яблони содержали меньше гистамина, кадаверина, тирамина и суммы биогенных аминов по сравнению с сидрами из западноевропейских и североамериканских сортов, которые не имели статистически значимых различий между концентрациями данных групп биогенных аминов. Установлено, что содержание β -фенилэтиламина не зависит от географического происхождения сортов яблони, т. к. различия между тремя исследованными группами статистически недостоверны.

Таблица 7. Сводная таблица сравнительных данных массовых концентраций биогенных аминов в винах и сидрах
Table 7. Comparative data on mass concentrations of biogenic amines in wines and ciders

Образец	Массовая концентрация биогенных аминов, мг/дм ³					
	гистамин	тирамин	β -фенилэтиламин	путресцин	кадаверин	сумма биогенных аминов
Вино сухое белое						
Минимум	2,45 ± 0,04	1,88 ± 0,03	0,26 ± 0,03	0,16 ± 0,03	0,16 ± 0,03	4,91 ± 0,03
Максимум	4,22 ± 0,04	4,05 ± 0,04	0,63 ± 0,04	0,37 ± 0,03	0,32 ± 0,03	9,55 ± 0,04
Вино сухое красное						
Минимум	3,48 ± 0,04	2,54 ± 0,04	0,28 ± 0,03	0,22 ± 0,02	0,20 ± 0,02	6,72 ± 0,04
Максимум	5,34 ± 0,04	5,48 ± 0,04	0,45 ± 0,04	0,36 ± 0,02	0,38 ± 0,04	12,01 ± 0,04
Сидр сухой сортовой (экспериментальные образцы)						
Минимум	0,22 ± 0,02	2,85 ± 0,03	менее 0,10	менее 0,10	3,19 ± 0,03	6,64 ± 0,03
Максимум	1,25 ± 0,03	6,23 ± 0,04	0,45 ± 0,04	менее 0,10	7,04 ± 0,04	13,83 ± 0,04
Сидр (промышленные образцы)						
Минимум	0,78 ± 0,02	5,25 ± 0,04	менее 0,10	менее 0,10	4,18 ± 0,04	10,87 ± 0,04
Максимум	3,08 ± 0,04	9,12 ± 0,05	0,31 ± 0,03	менее 0,10	9,35 ± 0,06	21,75 ± 0,05

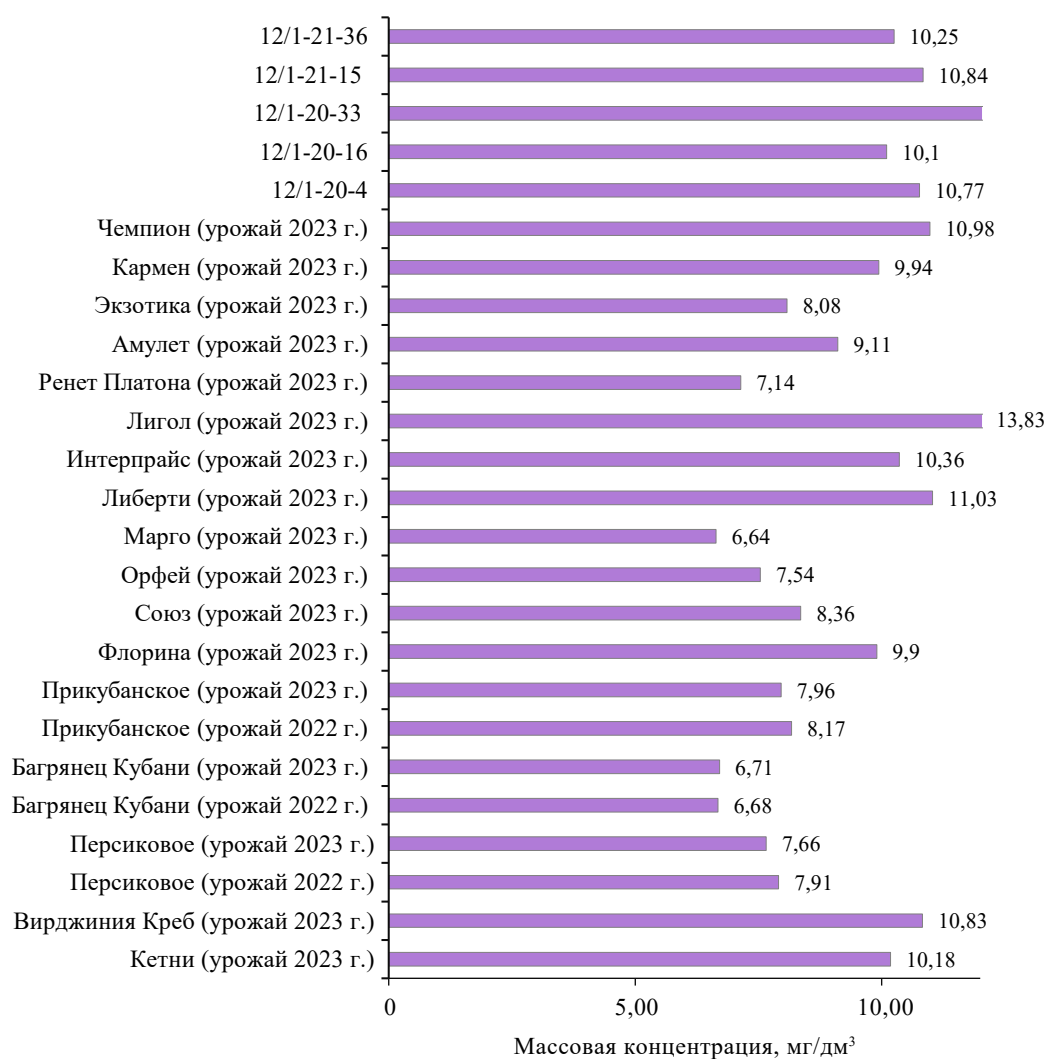


Рисунок 2. Суммарная массовая концентрация биогенных аминов в экспериментальных образцах сортовых сухих сидров из различных сортов и элитных форм яблони

Figure 2. Total mass concentration of biogenic amines in experimental samples of varietal dry ciders from different varieties and elite apple trees

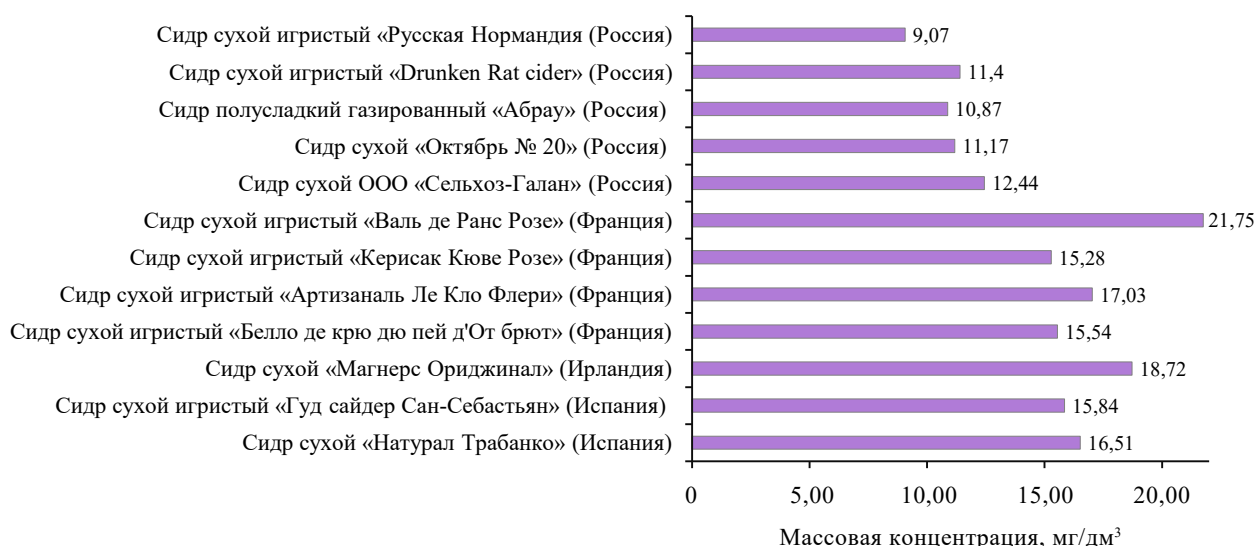


Рисунок 3. Суммарная массовая концентрация биогенных аминов в промышленных образцах сидров, приобретенных в розничной сети г. Краснодар

Figure 3. Total mass concentration of biogenic amines in industrial samples of ciders purchased in retail shops in Krasnodar

Таблица 8. Результаты множественного рангового теста по содержанию биогенных аминов в экспериментальных сидрах, изготовленных из сортов яблони разного срока созревания

Table 8. Multiple rank test of biogenic amine content in ciders made from apple varieties of different ripening time

Срок созревания плодов яблони	Среднее значение, мг/дм ³	Множественный ранговый тест		
Гистамин				
Зимний	0,390	***	—	—
Осенний	0,406	***	—	—
Летний	0,425	***	—	—
Кадаверин				
Летний	3,670	***	—	—
Осенний	3,984	***	—	—
Зимний	4,015	***	—	—
Тирамин				
Зимний	4,270	***	—	—
Летний	4,640	***	—	—
Осенний	4,902	***	—	—
β-фенилэтиламин				
Летний	0,000	***	—	—
Зимний	0,169	—	***	—
Осенний	0,323	—	—	***
Сумма биогенных аминов				
Летний	8,735	***	—	—
Зимний	8,845	***	—	—
Осенний	9,616	***	—	—

Примечание: *** на одной вертикали – средние значения, не имеющие статистически значимых различий; *** на разных вертикалях – различия средних значений статистически достоверны на 5 % уровне значимости.

Note: *** in one column – mean values with no statistically significant differences; *** in different columns – statistically significant differences in mean values (5% significance level).

Таблица 9. Результаты множественного рангового теста по содержанию биогенных аминов в сидрах из сортов яблони различного географического происхождения

Table 9. Multiple rank test of biogenic amine content in ciders from apple varieties of different geographical origins

Происхождение сорта	Среднее значение, мг/дм ³	Множественный ранговый тест		
Гистамин				
США	0,375	***	—	—
Россия	0,375	***	—	—
Западная Европа	0,499	—	***	—
Кадаверин				
Россия	3,550	—	***	—
Западная Европа	4,893	***	—	—
США	4,897	***	—	—
Тирамин				
Россия	3,878	—	***	—
США	5,260	***	—	—
Западная Европа	5,776	***	—	—
<i>β</i> -фенилэтиламин				
Западная Европа	0,084	***	—	—
Россия	0,191	***	—	—
США	0,206	***	—	—
Сумма биогенных аминов				
Россия	7,995	—	***	—
США	10,740	***	—	—
Западная Европа	11,252	***	—	—

Примечание: *** на одной вертикали – средние значения, не имеющие статистически значимых различий; *** на разных вертикалях – различия средних значений статистически достоверны на 5 % уровне значимости.

Note: *** in one column – mean values with no statistically significant differences; *** in different columns – statistically significant differences in mean values (5% significance level).

Далее показатели массовой концентрации биогенных аминов в сидрах из сортов яблони различного географического происхождения были подвергнуты группировке по комплексу признаков, характеризующих содержание биогенных аминов с помощью кластерного анализа методом Уорда (рис. 4). Особенность этого алгоритма заключалась в преобладании межгрупповой дисперсии над внутригрупповой, что позволило выделить максимально различные группы сидров в зависимости от сорта яблок, из которых они были изготовлены.

Были выделены два кластера образцов на уровне 40 усл. ед. В первый кластер включены сидры из сортов яблони: С_5 – Багрянец Кубани, С_7 – Прикубанское, С_3 – Персиковое (образцы урожая 2022 г.) и С_12 – Марго, С_6 – Багрянец Кубани, С_10 – Союз, С_18 – Экзотика, С_8 – Прикубанское, С_16 – Ренет Платона, С_11 – Орфей, С_4 – Персиковое (образцы урожая 2023 г.); во второй кластер: С_15 – Лигол, С_20 – Чемпион, С_14 – Интерпрайс, С_13 – Либерти, С_2 – Вирджиния Креб, С_17 – Амулет, С_19 – Кармен, С_9 – Флорина, С_1 – Кетни (все образцы урожая 2023 г.). В первый кластер вошли сидры только из сор-

тов яблони российской селекции; во второй – в основном из сортов зарубежной селекции, за исключением Амулет, Кармен и Кетни. Следует отметить, что сортовые сидры урожая разных лет попали в одну группу, что говорит о стабильности содержания в них биогенных аминов, которое, вероятно, определялось генотипом сорта яблони. Средние значения признаков в выделенных группах сравнивали с помощью *t*-критерия Стьюдента (табл. 10).

Согласно полученным расчетным данным (табл. 10), сидры из сортов второго кластера имели более высокое содержание биогенных аминов по сравнению с первым кластером. Различия между кластерами по содержанию β -фенилэтиламина были статистически недостоверными.

Множественный ранговый тест содержания биогенных аминов в сидрах из различных сортов и элитных форм яблони позволил выявить статистически значимые различия по концентрациям биогенных аминов (гистамина, кадаверина, тирамина) в сидрах из сорта Экзотика и элитной формы яблони 12/1-20-4.

Выявлены различия по содержанию биогенных аминов в трех группах сидров, в том числе: в экспери-

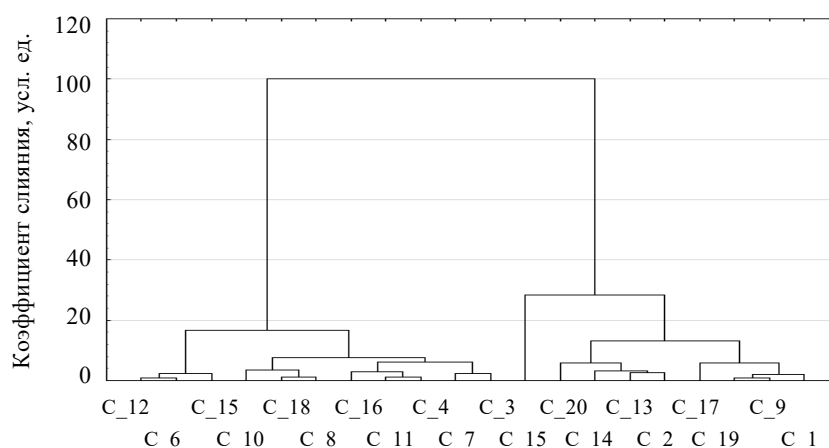


Рисунок 4. Результаты кластерного анализа показателей массовой концентрации биогенных аминов в сидрах в зависимости от сорта яблони

Figure 4. Cluster analysis of mass concentration indicators of biogenic amines in ciders depending on apple variety

Таблица 10. Сравнение средних значений признаков в выделенных кластерах

Table 10. Mean values in selected clusters

Признак	Первый кластер	Второй кластер	<i>t</i> -критерий
Содержание гистамина	0,351	0,450	2,46*
Содержание кадаверина	3,419	4,656	3,90**
Содержание тирамина	3,581	5,404	8,24**
Содержание β -фенилэтиламина	0,177	0,172	0,94
Сумма биогенных аминов	7,531	10,684	6,97**

Примечание: * – различия средних показателей, достоверных на 5 % уровне значимости; ** – различия средних показателей, достоверных на 1 % уровне значимости.

Note: * – differences in means are significant at 5%; ** – differences in means are significant at 1%.

ментальных сидрах из исследуемых сортов яблони, в экспериментальных сидрах из исследуемых элитных форм яблони, в промышленных образцах сидров (табл. 11).

Образцы сидров имели статистически значимые различия по содержанию гистамина, кадаверина и по сумме биогенных аминов, уровень которых в промышленных образцах сидров резко увеличивался. В содержании тирамина были выявлены статистически значимые изменения между группами экспериментальных образцов сидров из различных сортов яблони и элитных форм яблони селекции СКФНЦСВВ и группой промышленных образцов сидров (данный показатель резко возрастал у последней группы). Среди трех исследуемых групп значительные вариации в концентрации β -фенилэтиламина не обнаружены.

В результате изучения влияния питательных добавок для дрожжей на накопление биогенных аминов при сбраживании свежего виноградного сусла и свежего яблочного сусла получены экспериментальные данные, позволяющие заключить, что добавление

подкормок при сбраживании приводит к повышению концентрации биогенных аминов как в винах, так и в сидрах (табл. 12). При этом наибольшее увеличение отмечено при внесении дрожжевого автолизата, который под действием ферментов дрожжей при брожении декарбоксилируется до образования соответствующих биогенных аминов. Кроме того, значительное увеличение массовой концентрации биогенных аминов отмечено при внесении препарата Сэлклин, состоящего из оболочек дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae*. Оболочки автолизированных дрожжевых клеток под действием ферментных систем винных дрожжей трансформировались до аминокислот с последующим образованием биогенных аминов.

Внесение диаммонийфосфата, не содержащего аминокислоты, также приводило к увеличению концентрации биогенных аминов во всех экспериментальных образцах. Это подтверждает существование способности винных дрожжей синтезировать аминокислоты из различных азотистых соединений, в большей мере аммонийных и аммиачных солей,

Таблица 11. Результаты множественного рангового теста по содержанию биогенных аминов в экспериментальных сидрах из сортов и форм яблони и промышленных образцах сидров

Table 11. Multiple rank test of biogenic amine content in experimental ciders from different apple varieties vs. industrial samples

Образец	Среднее значение, мг/дм ³	Множественный ранговый тест		
Гистамин				
Экспериментальные образцы сидров из различных сортов яблони	0,398	***	—	—
Экспериментальные образцы сидров из элитных форм яблони селекции СКФНЦСВВ	0,888	—	***	—
Промышленные образцы сидров	1,596	—	—	***
Кадаверин				
Экспериментальные образцы сидров из различных сортов яблони	3,941	***	—	—
Экспериментальные образцы сидров из элитных форм яблони селекции СКФНЦСВВ	4,963	—	***	—
Промышленные образцы сидров	5,780	—	—	***
Тирамин				
Экспериментальные образцы сидров из различных сортов яблони	4,488	***	—	—
Экспериментальные образцы сидров из элитных форм яблони селекции СКФНЦСВВ	4,970	***	—	—
Промышленные образцы сидров	7,086	—	—	***
<i>β</i> -фенилэтиламин				
Экспериментальные образцы сидров из различных сортов яблони	0,173	***	—	—
Экспериментальные образцы сидров из элитных форм яблони селекции СКФНЦСВВ	0,177	***	—	—
Промышленные образцы сидров	0,205	***	—	—
Сумма биогенных аминов				
Экспериментальные образцы сидров из различных сортов яблони	9,005	***	—	—
Экспериментальные образцы сидров из элитных форм яблони селекции СКФНЦСВВ	11,025	—	***	—
Промышленные образцы сидров	14,635	—	—	***

Примечание: *** на одной вертикали – средние значения, не имеющие статистически значимых различий; *** на разных вертикалях – различия средних значений статистически достоверны на 5 % уровне значимости.

Note: *** in one column – mean values with no statistically significant differences; *** in different columns – statistically significant differences in mean values (5% significance level).

Таблица 12. Влияние подкормок дрожжей на массовую концентрацию биогенных аминов в винах и сидрах

Table 12. Effect of different yeast dressings on mass concentration of biogenic amines in wines and ciders

Добавка	Массовая концентрация биогенных аминов, мг/дм ³					
	гистамин	тирамин	β -фенилэтиламин	путресцин	кадаверин	сумма биогенных аминов
Вино сухое белое						
Без добавок (контроль)	1,32 ± 0,02	1,45 ± 0,03	0,18 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,06 ± 0,02	3,09 ± 0,03
Автолизат	3,88 ± 0,03	10,47 ± 0,04	2,74 ± 0,03	0,42 ± 0,03	0,56 ± 0,03	18,07 ± 0,04
Диаммонийфосфат	2,04 ± 0,02	6,47 ± 0,03	1,64 ± 0,03	0,24 ± 0,02	0,18 ± 0,02	10,57 ± 0,03
Сэлклин	3,22 ± 0,03	8,34 ± 0,04	2,23 ± 0,03	0,42 ± 0,03	0,36 ± 0,03	14,57 ± 0,04
Вино сухое красное						
Без добавок (контроль)	2,72 ± 0,03	2,58 ± 0,03	0,32 ± 0,02	0,12 ± 0,02	0,12 ± 0,02	5,86 ± 0,03
Автолизат	5,18 ± 0,03	14,12 ± 0,04	3,06 ± 0,04	0,53 ± 0,03	0,62 ± 0,03	23,51 ± 0,04
Диаммонийфосфат	3,06 ± 0,04	6,18 ± 0,04	2,42 ± 0,04	0,34 ± 0,03	0,35 ± 0,03	12,35 ± 0,03
Сэлклин	4,35 ± 0,03	10,27 ± 0,04	2,76 ± 0,03	0,46 ± 0,03	0,53 ± 0,03	18,37 ± 0,04
Сидр сухой (экспериментальный образец)						
Без добавок (контроль)	нет	1,32 ± 0,02	нет	нет	0,56 ± 0,03	1,88 ± 0,02
Автолизат	1,23 ± 0,02	4,45 ± 0,03	0,46 ± 0,03	0,88 ± 0,03	1,42 ± 0,04	8,44 ± 0,03
Диаммонийфосфат	0,14 ± 0,02	3,12 ± 0,02	0,24 ± 0,02	0,22 ± 0,02	1,13 ± 0,04	4,85 ± 0,02
Сэлклин	1,03 ± 0,02	3,86 ± 0,03	0,37 ± 0,02	0,63 ± 0,02	1,32 ± 0,03	7,21 ± 0,03

при участии ферментов восстановления и кетокислот бродящей среды. При этом нельзя исключать роль реакций переаминирования аминокислот.

Яблочное сусло практически не содержит таких аминокислот, как гистидин, орнитин, β -фенилаланин. В экспериментальных образцах сидров не выявлены гистамин, путресцин и β -фенилэтиламин, однако в сидрах, произведенных с применением активаторов брожения, данные биогенные амины идентифицированы. Следовательно, при брожении протекают процессы трансформации одной аминокислоты в другую, создавая условия для образования биогенных аминов.

Полученные результаты позволяют отметить, что при добавлении автолизата в свежее виноградное сусло из белых сортов винограда значительно увеличилась концентрация β -фенилэтиламина (в 15 раз), кадаверина (в 9 раз), тирамина (в 7 раз) в сравнении с контрольными образцами (без внесения добавок).

При брожении мезги красного винограда в присутствии автолизата наибольшее увеличение концентрации отмечено для β -фенилэтиламина (в 9,5 раза). Концентрация остальных биогенных аминов возросла в среднем в 3–5 раз.

Внесение добавок в свежее яблочное сусло способствовало образованию гистамина, β -фенилэтиламина и путресцина, увеличению концентрации тирамина и кадаверина, особенно при добавлении к бродящему суслу автолизата дрожжей и Сэлклина. Очевидно, этим фактом объясняется присутствие биогенных аминов в промышленных вариантах сидров, преимущественно в произведенных из концентрированного яблочного сока.

Изучены статистически значимые различия концентраций биогенных аминов в винах и сидрах в зависимости от внесенных подкормок для дрожжей (табл. 13).

Выявлено, что внесение подкормок для дрожжей не оказывает влияния на концентрацию β -фенилэтиламина и кадаверина как в винах, так и в сидрах. По концентрациям гистамина, тирамина, путресцина и сумме биогенных аминов в обоих типах образцов отмечены различия, которые являются статистически значимыми. С внесением автолизата дрожжей и Сэлклина в винах и сидрах установлено наибольшее содержание гистамина в сравнении с образцами без добавок (контрольными) и с внесением диаммонийфосфата. По содержанию путресцина статистически достоверных различий у контрольных и образцов с добавлением подкормок не выявлено.

Выводы

Представленные экспериментальные данные свидетельствуют о сложном механизме образования биогенных аминов в винах – трансформации азотистых соединений под действием ферментативных систем дрожжевых клеток. Установлено влияние сорта винограда и технологии производства вина на концентрацию биогенных аминов. Полученные результаты показали, что суммарная концентрация биогенных аминов в белых сухих винах варьировалась от 4,91 мг/дм³ (из сорта винограда Шардоне) до 9,55 мг/дм³ (из сорта винограда Совиньон блан), в красных сухих винах – до 12,01 мг/дм³ (из сорта винограда Саперави). Биологическое кислотопонижение способствовало увеличению концентрации биогенных аминов.

Таблица 13. Результаты множественного рангового теста по влиянию подкормок дрожжей на концентрацию биогенных аминов в винах и сидрах

Table 13. Multiple rank test of the effect of different yeast dressings on biogenic amine concentrations in wines and ciders

Добавка	Среднее значение, мг/дм³	Множественный ранговый тест		
Гистамин				
Без добавок	1,346	***	—	—
Диаммонийфосфат	1,749	***	***	—
Сэлклин	2,868	—	***	***
Автолизат	3,432	—	—	***
Тирамин				
Без добавок	1,783	—	—	***
Диаммонийфосфат	9,679	***	—	—
Сэлклин	5,258	***	***	—
Автолизат	7,490	—	***	—
β-фенилэтиламин				
Без добавок	0,169	—	***	—
Диаммонийфосфат	2,087	***	—	—
Сэлклин	1,432	***	—	—
Автолизат	1,788	***	—	—
Путресцин				
Без добавок	0,067	—	***	—
Диаммонийфосфат	0,610	—	—	***
Сэлклин	0,266	***	—	—
Автолизат	0,503	***	—	—
Кадаверин				
Без добавок	0,246	—	***	—
Диаммонийфосфат	0,866	***	***	—
Сэлклин	0,552	***	—	—
Автолизат	0,734	***	—	—
Сумма биогенных аминов				
Без добавок	3,610	—	—	***
Диаммонийфосфат	16,673	***	—	—
Сэлклин	9,257	***	***	—
Автолизат	13,383	—	***	—

Примечание: *** на одной вертикали – средние значения, не имеющие статистически значимых различий; *** на разных вертикалях – различия средних значений статистически достоверны на 5 % уровне значимости.

Note: *** in one column – mean values with no statistically significant differences; *** in different columns – statistically significant differences in mean values (5% significance level).

Зафиксировано высокое содержание кадаверина в сидрах, особенно в промышленных образцах, незначительное количество β -фенилэтиламина и отсутствие путресцина. Суммарная концентрация биогенных аминов имела наибольшее значение в промышленных образцах сидров, преимущественно в импортных. Выявлено существенное варьирование концентрации биогенных аминов в сидрах в зависимости от сорта яблони, срока созревания и геолого-географического происхождения.

Установлено, что добавление азотистых подкормок – активаторов брожения – приводит к увеличению концентрации биогенных аминов как в винах, так и в сидрах. Наибольшее увеличение отмечено при внесении дрожжевого автолизата и препарата Сэлклин. Снизить уровень биогенных аминов в готовой продукции возможно посредством выбора опре-

деленных молочнокислых бактерий и подкормок для дрожжей, неспособствующих продуцированию биогенных аминов или интродуцирующих их в минимальных количествах.

Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке нормативных актов, которые устанавливают пороговые значения массовой концентрации биогенных аминов в винах и сидрах в качестве показателя безопасности с целью обеспечения защиты потребителя.

Критерии авторства

Н. М. Агеева руководила проектом, формировала концепцию и дизайн исследования, подготавливала рукопись. А. А. Ширшова проводила исследование массовой концентрации биогенных аминов, подготавливала и оформляла рукопись. Е. В. Ульяновская

обосновывала выбор сортов яблони для исследования, участвовала в формировании концепции и дизайна исследования. С. Н. Щеглов проводил статистическую обработку полученных экспериментальных данных, участвовал в написании рукописи. А. А. Храпов, Е. А. Чернуцкая осуществляли сбор ягод винограда и плодов яблони, а также их переработку на вина и сидры. Все авторы утвердили окончательный вариант статьи и берут ответственность за целостность всех ее частей.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Выражаем благодарность сотрудникам центра коллективного пользования высокотехнологичным оборудованием Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия (СКФНЦСВВ) за оказанную помощь при проведении исследования.

Contribution

N.M. Ageeva supervised the project, developed the research concept, designed the study, and prepared the manuscript. A.A. Shirshova conducted studies of the mass concentration of biogenic amines and drafted the manuscript. E.V. Ulyanovskaya chose apple varieties, developed the research concept, and designed the study. S.N. Shcheglov performed the statistical processing of the experimental data and drafted the manuscript. A.A. Khrapov and E.A. Chernutskaya collected grapes and apples to be processed into wines and ciders. The authors approved the final version of the article and take responsibility for the integrity of all its parts.

Conflict of interest

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

Acknowledgements

The authors express their gratitude to the team of the Center for Collective Use of High-Tech Equipment, North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking.

Список литературы / References

1. Abedini A, Sadighara P, Sani MA, McClements DJ. The impact of synthetic and natural additives on biogenic amine production in food products. *Food Bioscience*. 2023;56:103295. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103295>
2. Gao X, Li C, He R, Zhang Y, Wang B, et al. Research advances on biogenic amines in traditional fermented foods: Emphasis on formation mechanism, detection and control methods. *Food Chemistry*. 2023;405(Part A):134911. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134911>
3. Шелехова Н. В., Абрамова И. М., Шелехова Т. М. Определение анионов неорганических кислот в спиртных дистиллированных напитках методом капиллярного электрофореза с кондуктометрическим детектированием. *Техника и технология пищевых производств*. 2023. Т. 53. № 4. С. 796–806. [Shelekhova NV, Abramova IM, Shelekhova TM. Inorganic acid anions in distilled alcoholic beverages: Capillary electrophoresis with conductometric detection. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(4):796–806. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-4-2479>
4. Diez-Ozaeta I, Amárita F, Lavilla M, Rainieri S. Ecology of indigenous lactic acid bacteria from Rioja Alavesa red wines, focusing on biogenic amine production ability. *LWT*. 2019;116:108544. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108544>
5. Angulo MF, Flores M, Aranda M, Henriquez-Aedo K. Fast and selective method for biogenic amines determination in wines and beers by ultra high-performance liquid chromatography. *Food Chemistry*. 2020;309:125689. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125689>
6. La Torre GL, Rotondo A, Salvo A. Do vine cropping and breeding practices affect the biogenic amines' content of produced wines? *Journal of Food Composition and Analysis*. 2023;115:104901. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104901>
7. Fabjanowicz M, Róžańska A, Kalinowska K, Płotka-Wasyłka J. Miniaturized, green salting-out liquid–liquid microextraction coupled with GC–MS used to evaluate biogenic amines in wine samples. *Microchemical Journal*. 2022;180:107616. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.107616>
8. Ubeda C, Hornedo-Ortega R, Cerezo AB, Garcia-Parrilla MC, Troncoso AM. Chemical hazards in grapes and wine, climate change and challenges to face. *Food Chemistry*. 2020;314:126222. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126222>
9. Mišková Z, Lorencová E, Salek RN, Kolářková T, Trávníčková L, et al. Occurrence of biogenic amines in wines from the Central European region (zone B) and evaluation of their safety. *Foods*. 2023;12(9):1835. <https://doi.org/10.3390/foods12091835>
10. Costantini A, Vaudano E, Pulcini L, Carafa T, Garcia-Moruno E. An overview on biogenic amines in wine. *Beverages*. 2019;5(1):19. <https://doi.org/10.3390/beverages5010019>
11. Perestrelo R, Bordiga M, Locatelli M, Silva C, Câmara JS. Polyphenols, biogenic amines and amino acids patterns in Verdelho wines according to vintage. *Microchemical Journal*. 2020;153:104383. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104383>

12. Gutiérrez-Escobar R, Aliaño-González MJ, Cantos-Villar E. Variety and year: Two key factors on amino acids and biogenic amines content in grapes. *Food Research International*. 2024;175:113721. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113721>
13. Palomino-Vasco M, Rodríguez-Cáceres MI, Mora-Diez N, Pardo-Botello R, Acedo-Valenzuela MI. Biogenic amines profile in red wines regarding aging and storage conditions. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2019;83:103295. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103295>
14. Henríquez-Aedo K, Galarce-Bustos O, Aqueveque P, García A, Aranda M. Dynamic of biogenic amines and precursor amino acids during cabernet sauvignon vinification. *LWT*. 2018;97:238–244. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.06.029>
15. Comuzzo P, Rauhut D, Werner M, Lagazio C, Zironi R. A survey on wines from organic viticulture from different European countries. *Food Control*. 2013;34(2):274–282. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.04.039>
16. Proestos C. *Biogenic Amines*. London: IntechOpen; 2019. 88 p. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75221>
17. Visciano P, Schirone M. Update on biogenic amines in fermented and non-fermented beverages. *Foods*. 2022;11(3):353. <https://doi.org/10.3390/foods11030353>
18. Ahangari H, Kurbanoglu S, Ehsani A, Uslu B. Latest trends for biogenic amines detection in foods: Enzymatic biosensors and nanozymes applications. *Trends in Food Science & Technology*. 2021;112:75–87. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.037>
19. Liao F-Y, Weng J-R, Lin Y-C, Feng C-H. Molecularly imprinted dispersive micro solid-phase extraction and tandem derivatization for the determination of histamine in fermented wines. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2024;416: 945–957. <https://doi.org/10.1007/s00216-023-05083-x>
20. Tan F, Wang B, Li L, Yu Q, Cai J, *et al.* The effect of non-*Saccharomyces* yeasts on biogenic amines in Sauvignon Blanc wine and Gewürztraminer wine. *Food Bioscience*. 2024;59:104153. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104153>
21. Morata A. *Red Wine Technology*. Madrid: Academic Press; 2019. 408 p. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01326-5>
22. Агеева Н. М., Ширшова А. А., Тихонова А. Н. Влияние спиртового и яблочно-молочного брожения на содержание биогенных аминов в винах. *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 3. С. 449–457. [Ageyeva NM, Shirshova AA, Tikhonova AN. Influence of alcoholic and malolactic fermentation on the level of biogenic amines in wine. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(3):449–457. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-449-457>
23. Lorencová E, Salek RN, Buňková L, Szczybrochová M, Černíková M, *et al.* Assessment of biogenic amines profile in ciders from the Central Europe region as affected by storage time. *Food Bioscience*. 2021;41:100957. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100957>
24. Eszergár-Kiss D, Caesar B. Definition of user groups applying Ward's method. *Transportation Research Procedia*. 2017;22:25–34. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.004>
25. Vilela A. Non-*Saccharomyces* yeasts and organic wines fermentation: Implications on human health. *Fermentation*. 2020;6(2):54. <https://doi.org/10.3390/fermentation6020054>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2573>
<https://elibrary.ru/YZSUVC>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Активность и состав секретируемых гидролаз термофильного штамма *Bacillus* sp. при культивировании на средах с растительной мукой



М. В. Романова*, Ф. Д. Макеев, Н. А. Мирзалиева,
С. А. Евдокимова, А. В. Белодед

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 03.07.2024
Принята после рецензирования: 28.08.2024
Принята к публикации: 01.04.2025

*М. В. Романова: romanova.m.v@muctr.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-3109-8445>
Ф. Д. Макеев: <https://orcid.org/0009-0008-9627-7499>
Н. А. Мирзалиева: <https://orcid.org/0009-0000-7076-1794>
С. А. Евдокимова: <https://orcid.org/0000-0002-4808-5002>
А. В. Белодед: <https://orcid.org/0000-0002-4425-8068>

© М. В. Романова, Ф. Д. Макеев, Н. А. Мирзалиева,
С. А. Евдокимова, А. В. Белодед, 2025



Аннотация.

Растительное сырье – доступный и перспективный субстрат для получения индивидуальных ферментов и мультиэнзимных композиций разного назначения. Эффективными продуцентами для промышленного производства ферментных препаратов могут стать термофильные бактерии, поскольку их ферменты обладают рядом преимуществ – термоустойчивостью и химической стабильностью. Актуальным является поиск термофильных штаммов, способных продуцировать промышленно ценные ферменты с высоким выходом при использовании недорогих растительных субстратов. Цель исследования – изучить состав комплекса гидролитических ферментов термофильного штамма-продуцента протеаз *Bacillus subtilis* Кб.12.Гл.35 при культивировании на средах с компонентами растительного происхождения и выбрать перспективное сырье для синтеза термостабильных гидролаз, в частности протеаз, амилаз и гемицеллюлаз.

Объект исследования – термофильный штамм Кб.12.Гл.35, выделенный из образца компоста и идентифицированный методом секвенирования гена 16S рРНК как *Bacillus subtilis*. Для исследования состава комплекса гидролаз штамм выращивали на средах с растительной мукой в комбинации с дрожжевым или кукурузным экстрактом, оценивали активность внеклеточных ферментов. В качестве растительной муки в количестве 1 % использовали гороховую, льняную, нуттовую, овсяную, рисовую, амарантовую, соевую, а также смесь на основе амарантовой и соевой муки. Активность протеаз определяли по казеину и на основе зимографического анализа, активность карбогидраз – методом с 3,5-динитросалициловой кислотой.

При культивировании продуцента гидролаз на питательных средах с растительной мукой (1 %) и кукурузным экстрактом (0,5 %) максимальный уровень синтеза протеаз (более 400 ед/мл) выявлен при использовании амарантовой, овсяной и рисовой муки; амилаз (более 1300 ед/мл) – нуттовой, овсяной и рисовой муки; галактоманназ (более 200 ед/мл) и ксиланаз (более 60 ед/мл) – амарантовой, гороховой и нуттовой; арабиногалактаназ (более 35 ед/мл) – амарантовой, нуттовой и рисовой муки. По результатам зимографического анализа можно предположить, что наибольшую роль в протеолитической активности играют ферменты массой 24,7–28,2 кДа, а также протеазы массой 62,7–75,0 кДа, т. к. их активность ярко выражена при культивировании на растительном сырье, в отличие от стандартной среды LB. Секретция протеазы массой 15,1 кДа на сырье практически не отличалась от ее уровня на стандартной среде.

Термофильный штамм Кб.12.Гл.35 можно рассматривать в качестве перспективного продуцента для получения протеаз, амилаз и гемицеллюлаз при использовании в составе среды растительной муки и кукурузного экстракта. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию состава питательных сред и условий культивирования для повышения выхода целевой группы гидролитических ферментов.

Ключевые слова. Термофильные бактерии, *Bacillus*, протеазы, амилазы, растительное сырье, зимография

Для цитирования: Романова М. В., Макеев Ф. Д., Мирзалиева Н. А., Евдокимова С. А., Белодед А. В. Активность и состав секретируемых гидролаз термофильного штамма *Bacillus* sp. при культивировании на средах с растительной мукой. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 300–314. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2573>

Activity and Composition of Hydrolases Secreted by Thermophilic Strain *Bacillus* sp. Grown on Plant Flour Media



Mariia V. Romanova*, Fedor D. Makeev, Nargiz A. Mirzalieva, Svetlana A. Evdokimova, Andrey V. Beloded

Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia

Received: 03.07.2024

Revised: 28.08.2024

Accepted: 01.04.2025

*Mariia V. Romanova: romanova.m.v@muctr.ru,

<https://orcid.org/0000-0003-3109-8445>

Fedor D. Makeev: <https://orcid.org/0009-0008-9627-7499>

Nargiz A. Mirzalieva: <https://orcid.org/0009-0000-7076-1794>

Svetlana A. Evdokimova: <https://orcid.org/0000-0002-4808-5002>

Andrey V. Beloded: <https://orcid.org/0000-0002-4425-8068>

© M.V. Romanova, F.D. Makeev, N.A. Mirzalieva, S.A. Evdokimova, A.V. Beloded, 2025



Abstract.

Plant raw materials are an accessible and efficient substrate for multipurpose enzymes and multi-enzyme complexes obtaining. Thermophilic bacteria are reliable producer strains for industrial enzymes with valuable physicochemical properties, e.g., heat resistance, stability at extreme pH, and chemical stability. Food scientists are on the lookout for new thermophilic strains capable of producing high yields of industrially valuable enzymes from cheap plant raw materials. In this research, various plant cultivation media affected the complex hydrolytic enzymes produced by a thermophilic strain of *Bacillus subtilis* Kb.12.Gl.35. The research objective was to select the optimal raw materials for the synthesis of thermostable hydrolases, i.e., proteases, amylases, and hemicellulases.

The thermophilic strain was isolated from a compost sample, identified by 16S rRNA sequencing, and tested using standard microbiological and biochemical methods. The strain grew on different media with plant flour combined with yeast or corn extract. The activity of extracellular enzymes made it possible to study the composition of the hydrolase complex. The proteolytic activity was determined using casein as the substrate and by zymography. The 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) method revealed the carbohydrase activity.

When culturing the hydrolase producer on nutrient media with plant flour (1%) and corn extract (0.5%), the highest level of protease synthesis (≥ 40 units/mL) was detected in the samples with amaranth, oat, and rice flour. The highest level of amylase ($\geq 1,300$ units/mL) belonged to the chickpea, oat, and rice flour samples. The biggest yields of galactomannanase (≥ 200 units/mL) and xylanases (≥ 60 units/mL) was found in the samples with amaranth, pea, and chickpea samples. The biggest amount of arabinogalactanase (≥ 35 units/mL) belonged to the amaranth, chickpea, and rice flour. Based on the zymographic analysis, the enzymes of 24.7–28.2 kDa and the proteases of 62.7–75.0 kDa appeared to be the most efficient proteolytic agents. Their activity was obvious on plant raw materials, in contrast to the standard LB medium. The secretion level of 15.1 kDa proteases was the same on the plant media as on the standard medium.

Bacillus subtilis Kb.12.Gl.35 proved to be an effective producer of proteases, amylases, and hemicellulases with plant flour and corn extract in the medium. Further studies are needed to optimize the composition of nutrient media and cultivation conditions to increase the yield of the target hydrolytic enzymes.

Keywords. Thermophilic bacteria, *Bacillus*, proteases, amylases, plant raw materials, zymography

For citation: Romanova MV, Makeev FD, Mirzalieva NA, Evdokimova SA, Beloded AV. Activity and Composition of Hydrolases Secreted by Thermophilic Strain *Bacillus* sp. Grown on Plant Flour Media. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):300–314. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2573>

Введение

В промышленных технологиях для интенсификации процессов все чаще применяются ферменты – высокоэффективные биокатализаторы белковой природы. Благодаря селективности, регулируемости и относительно мягким условиям действия (атмосферное дав-

ление, оптимальная температура – 30–50 °C, pH среды часто близкий к нейтральному) применение ферментов дает ряд преимуществ по сравнению с химическими катализаторами. Например, их использование снижает затраты на энергию и сырье, уменьшает образование побочных соединений и отходов, повышает

качество и выход целевого продукта [1–3]. Среди многочисленных источников ферментов следует выделить микроорганизмы, поскольку они обладают биохимическим разнообразием продуцируемых метаболитов, легко культивируются и дают возможность применять методы современной молекулярной генетики для получения модифицированных ферментов с улучшенными характеристиками, такими как повышенная каталитическая активность, специфичность, стабильность, чистота [4–6]. Большое значение в промышленности имеют ферменты класса гидролаз, обеспечивающие гидролиз широкого круга соединений, в частности биополимеров. К ним относятся протеазы, амилазы, целлюлазы, глюканы, ксиланазы, маннаназы и др. [1, 7]. Данные ферменты успешно применяются в пищевой, кормовой промышленности, текстильном и бумажном производстве, в составе моющих средств и при переработке отходов [4, 8].

В промышленном производстве часто реализуются процессы при повышенных температурах и экстремальных pH, что накладывает ограничение на использование некоторых коммерческих ферментных препаратов, выделенных из мезофильных организмов. В связи с этим многие исследования направлены на модификации мезофильных ферментов для придания им подходящих биохимических свойств, а также на поиск высокоэффективных ферментов термофильных микроорганизмов – термозимов [9]. Ввиду компактной структуры и большого числа стабилизирующих связей термозимы обладают высокой каталитической активностью, термостабильностью, а также устойчивы к различным химическим агентам [10, 11]. Высокотемпературные процессы, позволяющие оптимально использовать термостабильные ферменты, отличаются высокой скоростью реакции, лучшей растворимостью, диффузией субстратов и отводом летучих продуктов [12].

Способность расти и развиваться при высоких температурах встречается у некоторых бактерий, архей, а также грибов [13]. Среди термофильных бактерий наиболее распространены представители родов *Bacillus*, *Geobacillus*, *Paenibacillus*, *Brevibacillus*, *Clostridium*, *Thermus* и др. [14, 15]. Чтобы выживать в экстремальных условиях термофилы продуцируют ряд соединений с уникальными свойствами, например, ферменты, белки стресса, антибиотики, полисахариды [16]. Ферменты термофильных бактерий обладают потенциалом широкого применения. Термостабильные целлюлазы, маннаназы и ксиланазы могут эффективно использоваться в целлюлозно-бумажной промышленности для отбеливания бумаги и в конверсии лигноцеллюлозного сырья для получения биотоплива [12]. С помощью маннаназ получают пребиотики на основе маннанолигосахаридов, а также они могут применяться в производстве растворимого кофе с целью снижения его вязкости. [17, 18]. Термостабильные амилазы и пектиназы используются, чтобы осветлять фрукто-

вые соки, в текстильной промышленности и других областях. Самой востребованной группой гидролаз являются протеазы – ферменты, катализирующие гидролиз белков. Их спектр применения охватывает множество областей: хлебопечение, сыроделие, пивоварение, кожевенная промышленность, медицина, синтез пептидов, деструкция биопленок, переработка отходов [19]. Мультиэнзимные композиции на основе термостабильных гидролаз входят в состав кормовых добавок, повышая их питательную ценность, а также стиральных порошков [20, 21].

Для промышленного получения ферментов, в частности гидролаз, важно учитывать физиологические особенности продуцента. Добавление в среду моносахаридов, таких как глюкоза, манноза или фруктоза, ингибирует синтез внеклеточных протеаз и амилаз бактерий – данное явление называется катаболитной репрессией [22, 23]. А наличие в среде олигомеров и полимеров может приводить к индукции синтеза деполимеризующих ферментов, главным образом гидролаз. На синтез внеклеточных гидролаз также оказывают влияние такие физико-химические факторы, как отношение углерода и азота в среде, температура и pH культивирования, аэрация, присутствие кофакторов в виде ионов металлов, объем посевного материала и пр. [24]. Поскольку ферментация составляет значительную долю стоимости ферментных препаратов – около 30–40 %, в промышленном масштабе в качестве компонентов питательной среды целесообразно использовать недорогое и доступное сырье: муку, отруби, патоку, жмыхи, шроты, перья [25, 26].

Бактерии рода *Bacillus*, особенно термофильные представители *B. subtilis* и родственные виды *B. amyloliquefaciens*, *B. velezensis* и др., быстро растут на недорогих субстратах и характеризуются высокой секрецией белка, что делает их подходящей платформой синтеза ферментов [27]. Например, M. Bawela *et al.* изучали оптимизацию синтеза термостабильной и устойчивой к детергентам щелочной протеазы *B. pumilus* MP 27 при использовании пшеничной соломы и пептона в качестве источника углерода и азота соответственно [28]. В исследовании [29] для продукции α -амилазы штаммами *B. amyloliquefaciens* BT 2022 и *B. licheniformis* Basma 87 использовали хлебные отходы в качестве субстрата, а полученный амилолитический фермент иммобилизовали в альгинатном геле и тестировали на способность препарата амилазы удалять крахмал после расклихтовки ткани. S. Devi *et al.* для оптимального синтеза ксиланазы *B. subtilis* XPS7 в качестве источников углерода выбрали доступные сельскохозяйственные отходы – пшеничную солому, отруби и шелуху, а в качестве источника азота – неорганические соли [30].

P. K. Srivastava и M. Kapoor [31] проводили оптимизацию содержания компонентов среды (шелухи зеленой чечевицы и подсолнечного жмыха) для получения эндоманнаназы, используемой в дальнейшем

для получения маннанолигосахаридов из гуаровой камеди, далее олигосахариды проверяли на способность стимулировать рост лактобактерий. Так как растительное сырье варьируется по углеводному составу и соотношению отдельных олиго- и полисахаридов, в процессе роста культуры может вырабатываться комплекс гидролитических ферментов, и экспрессия отдельных групп карбогидраз может изменяться в зависимости от используемого сырья, что следует учитывать при разработке технологии получения ферментных препаратов.

Цель данной работы – изучить состав комплекса гидролитических ферментов термофильного штамма-продуцента протеаз *B. subtilis* Кб.12.Гл.35 при культивировании на средах с компонентами растительного происхождения и выбрать перспективное сырье для синтеза термостабильных гидролаз, в особенности протеаз, амилаз и гемицеллюлаз.

Объекты и методы исследования

Выделение и идентификация штамма-продуцента. Объект исследования – термотолерантный штамм-продуцент секретируемых протеаз *Bacillus subtilis* Кб.12.Гл.35, выделенный ранее методом накопительных культур из образца компоста при 50 °С [32]. Штамм был первично охарактеризован по морфологическим свойствам (форма клеток, окраска по Граму, окраска спор, подвижность клеток) и путем проведения биохимических тестов (каталаза, уреазы, образование кислот из углеводов) согласно методикам из справочника Берджи по бактериологической систематике [33]. Микроморфологию культуры изучали с помощью светового микроскопа (Carl Zeiss, Германия).

Идентификацию штамма проводили на основе секвенирования гена 16S рРНК. Нуклеиновые кислоты выделяли из ночной культуры, выращенной на стандартной среде LB при 50 °С. Экстракцию ДНК выполняли с использованием набора для выделения геномной ДНК из бактериальных клеток (Диаэм, Россия) согласно инструкции производителя. В анализе использовали универсальные праймеры 8F (5'-AGAGT-TTGATCCTGGCTCAG-3') и 1492R (5'-TACGGYT-ACCTTGTTACGACTT-3') (Евроген, Россия). Полимеразную цепную реакцию осуществляли при помощи набора реактивов для ПЦР с *Taq* ДНК-полимеразой (Диаэм, Россия) в амплификаторе T100 Thermal Cycler (Bio-Rad Laboratories, США). Реакционная смесь включала ПЦР буфер – 5 мкл, смесь dNTP – 0,5 мкл, 50 mM MgCl₂ – 1 мкл, прямой и обратный праймеры – по 0,2 мкл, ДНК-матрицу – 1 мкл, ДНК-полимеразу – 0,2 мкл, деионизованную воду – 16,9 мкл. При постановке ПЦР использовали следующие температурные условия: предварительная денатурация при 95 °С в течение 5 мин, затем 34 цикла, включающих денатурацию при 95 °С на 30 с, отжиг при 54 °С на 30 с и элонгацию при 72 °С на 90 с, далее следовал цикл финальной элонгации 72 °С в течение 10 мин.

Секвенирование полученных ПЦР-фрагментов генов 16S рРНК проводили по методу Сэнгера с предварительной очисткой на оборудовании компании Евроген (Россия). Полученные нуклеотидные последовательности сравнивали с последовательностями гена 16S рРНК родственных видов из базы данных GenBank NCBI при помощи инструмента поиска BLAST. Филогенетический анализ выполняли с использованием метода присоединения соседей (neighbor-joining) в программном обеспечении MEGA [34].

Скрининг штаммов на наличие внеклеточных гидролаз. Выявление внеклеточных гидролаз осуществляли путем посева культуры на агаризованные питательные среды с соответствующими субстратами. Посевы инкубировали при 50 °С в течение 24 ч. Для скрининга на секретируемые протеазы использовали молочный агар следующего состава, г/л: сухое обезжиренное молоко пищевое (1,5 %, Fit Parad) – 28, триптон – 5, дрожжевой экстракт – 2,5, глюкоза – 1, агар – 15. Наличие протеолитической активности фиксировали при появлении зон гидролиза казеина вокруг колоний штамма. Гидролитическую активность по отношению к полисахаридам тестировали на средах, г/л: полисахарид – 2, триптон – 5, дрожжевой экстракт – 2, NaCl – 5, агар – 15. В качестве полисахаридных субстратов применяли растворимый крахмал, карбоксиметилцеллюлозу (пищевая), галактоманнан (камедь рожкового дерева пищевая), арабиногалактан (из березы, пищевой) и ксилан (из бука). В целях визуализации зон гидролиза субстратов чашки с крахмалом окрашивали йодным раствором, остальные – 0,5 % раствором Конго красного. Чашки Петри промывали дистиллированной водой до появления светлых зон на фоне окрашенного субстрата.

ПЦР-скрининг штаммов на наличие генов внеклеточных гидролаз. Скрининг на наличие структурных генов секретируемых гидролаз проводили посредством ПЦР в реальном времени. Праймеры для ПЦР подбирали при помощи инструмента Primer-BLAST на основе последовательностей структурных генов протеаз и амилаз бактерий *B. subtilis* и родственных видов, в том числе эталонного штамма *B. subtilis* 168. В качестве контрольной мишени использовали ген 16S рРНК с универсальными праймерами 337F и 518R (табл. 1). Все олигонуклеотиды синтезировали на оборудовании компании Евроген (Россия).

ПЦР проводили в амплификаторе Real-Time CF X96 Touch (Bio-Rad Laboratories, США). Реакционная смесь объемом 25 мкл включала 12,5 мкл Био-Мастер HS-qPCR SYBR Blue (2×) (Биолабмикс, Россия), 1 мкл каждого праймера с конечной концентрацией 100 нМ и 1 мкл раствора, содержащего ДНК. При постановке ПЦР были применены следующие температурные режимы: предварительная денатурация при 95 °С в течение 3 мин, затем 30 циклов, включающих денатурацию при 95 °С на 20 с, отжиг при 56 °С на 20 с и элонгацию при 72 °С в течение 25 с. Специ-

Таблица 1. Праймеры, использованные для ПЦР в реальном времени

Table 1. Primers used for real-time polymerase chain reaction (PCR)

Ген	Продукт	Последовательность праймеров 5'-3'	Длина фрагмента, п.н.
<i>aprE</i>	Субтилизин	GAGTGTGTTGTCCAGTTCGGGT	130
		GGCGTCTCTATCCAAAGCAC	
<i>bpr</i>	Бациллопептидаза F	GGAAGCTGGTGAATGGGT	225
		GCCGGATTGTGCGATAGAACC	
<i>vpr</i>	Сериновая протеаза Vpr	GATGCTACACTCCTTGCCTAC	329
		GAGGAATAGGAACCGAAGGAGA	
<i>epr</i>	Сериновая протеаза Epr	TGACGGACGCAAGAGACAAA	232
		CTGACTGCTTTTTGGGCTTT	
<i>nprE</i>	Бациллолизин	GGAAAGAGGCGAGAAGAATGAG	250
		GGGCACACTCGTATCAAGCA	
<i>nprB</i>	Нейтральная протеаза B	CTGACCGTGATGATTGGGAGA	149
		GACTCCGCCATAATCCTCTGTT	
<i>mpr</i>	Глутамил-специфичная эндопептидаза	ATGTGGTCTGATACAAAGCCGA	192
		GAATACATCGTTCGTCACCCCTT	
<i>amyE</i>	α -Амилаза	TCTCGAACCCGAATGGAAACAA	190
		TTGATCGTGCTGTCAGTTT	
<i>amyX</i>	Пуллуланаза	ACGAGGTTGACGAATGGAAAGA	141
		TCTTGATTCTGTGTTGGGTCTTCCT	
<i>malL</i>	α -Глюкозидаза	ATACGATGAAGGAACAGGGCA	133
		GTCAACGCCTCTATCCATCCA	
16S pPHK	16S pPHK (337F и 518R)	GACTCCTACGGGAGGCAGCAG	≈ 200
		GTATTACCGCGGCTGCTGG	

фичность проведения ПЦР устанавливали с помощью построения кривых плавления при нагревании проб в диапазоне температур 58–90 °C с шагом 0,5 °C/5 с. Пороговый цикл C_q определяли как цикл, который соответствует пересечению кривой амплификации и пороговой линии. Базовая и пороговая линии были рассчитаны программным обеспечением CFX Manager 3.1 (Bio-Rad Laboratories, США).

Культивирование штаммов на средах с растительным сырьем. Штамм культивировали на средах с комплексным растительным сырьем и на стандартной среде LB. В качестве комплексных источников углерода использовали растительную муку в количестве 1 %: гороховую, льняную, нуттовую, овсяную и рисовую марки «С.Пудовъ», амарантовую «Амарант-мастер» и смесь на основе амарантовой и соевой муки «Спарта» (БэйкЛаб, Россия), муку соевую обезжиренную дезодорированную «Соянта-200». Источником азота являлись дрожжевой экстракт (Диаэм, Россия) и кукурузный экстракт (Masklin, Китай) в количестве 0,5 %. Для поддержания pH в питательные среды вносили MgSO₄ и CaCO₃. Культивирование проводили в колбах Эрленмейера на 250 мл в объеме среды 50 мл в аэробных условиях на качалке при 200 об/мин при 50 °C в течение 48 ч.

Сырой протеин определяли методом Кьельдаля согласно ГОСТ 32044.1-2012 с использованием комплекта оборудования «Кельтран» (Сибгагроприбор, Россия).

Определение протеолитической активности по казеину. Для анализа биомассу отделяли от культуральной жидкости на центрифуге (Eppendorf Centrifuge 5810 R, Германия) при 8500 об/мин в течение 15 мин, полученный супернатант использовали в качестве источника ферментов. 0,1 мл супернатанта инкубировали с 0,5 мл Tris-HCl буфера (0,05 М, pH 8,0) и 0,4 мл 1 % раствора казеина по Гаммерстену (Sigma, США) в том же буфере 30 мин при 50 °C и интенсивном перемешивании. Реакцию останавливали добавлением 1 мл 10 % раствора трихлоруксусной кислоты. Пробы центрифугировали 10 мин при 8500 об/мин, затем измеряли оптическую плотность супернатанта при длине волны 280 нм на спектрофотометре СФ-104 (Аквион, Россия). В качестве контролей использовали пробы, содержащие аналогичные компоненты в тех же пропорциях с добавлением казеина после осаждения ТХУ. По разнице оптической плотности опытных и контрольных проб судили о содержании ароматических аминокислот, образованных в ходе гидролиза казеина. Активность выражали в мкмоль тирозина, высвободившегося в ходе гидролиза казеина на 1 мл реакционной смеси за 1 мин относительно контрольной пробы.

Определение ферментативной активности карбогидраз, катализирующих гидролиз полисахаридов, проводили методом с 3,5-динитросалициловой кислотой (ДНСК). С этой целью биомассу отделяли от культуральной жидкости путем центрифугирования

при 8500 об/мин в течение 15 мин, полученный супернатант служил источником ферментов. Для постановки реакции 0,15 мл супернатанта инкубировали с 0,15 мл 0,5 % раствора субстрата в Tris-HCl буфере (0,05 М, pH 8,0) 30 мин при 50 °С на роторном шейкере. Далее отбирали 0,25 мл содержимого из каждой пробы и переносили в пробирки с 0,5 мл раствора ДНСК, помещали их на кипящую водяную баню на 10 мин. Контролями являлись пробы, в которые субстрат был добавлен непосредственно перед смешиванием с ДНСК. После кипячения пробирки охлаждали в воде со льдом. 0,5 мл цветного раствора переносили в пробирки с 5 мл дистиллированной воды, перемешивали, измеряли оптическую плотность проб при 540 нм на спектрофотометре СФ-104. Сравнивали разницу в оптической плотности опытных и контрольных образцов, чтобы оценить содержание редуцирующих веществ, образовавшихся в ходе гидролиза полисахаридов. Активность выражали в мкмоль моносахарида, высвободившегося в ходе гидролиза полисахарида на 1 мл реакционной смеси за 1 мин относительно контрольной пробы. Активность амилаз пересчитывали на мкмоль глюкозы, галактоманназы – маннозы, арабиногалактаназ – галактозы, ксиланаз – на мкмоль ксилозы.

Зимография протеаз. С целью детекции отдельных протеолитических ферментов в культуральной жидкости проводили зимографический анализ, основанный на электрофорезе в полиакриламидном геле (SDS-PAGE) согласно методике [35], с некоторыми модификациями. Образцы супернатанта культуральной жидкости смешивали с буфером для проб в соотношении 1:1 без добавления меркаптоэтанола. Полученные пробы без предварительного кипячения загружали в лунки в количестве 10 мкл. Молекулярную массу определяли белковым предокрашенным маркером Prism Ultra Protein Ladder, 5–245 кДа (Abcam, Великобритания), который добавляли в лунку геля в количестве 5 мкл. Разделение белков проводили в камере для вертикального электрофореза (Компания Хеликон, Россия) с использованием источника питания серии «Эльф» (ДНК-Технология, Россия) в 12 % полиакриламидном геле с включенным в матрицу казеином с концентрацией 0,1 %. По окончании электрофореза дорожку с маркером отрезали и фиксировали в 5 % ТХУ на протяжении 5 мин. Чтобы удалить SDS из геля, дорожки с опытными пробами инкубировали в течение часа в 2,5 % растворе Triton X-100 при комнатной температуре со встряхиванием, далее в 50 мМ Трис-HCl pH 8,0 для удаления Triton X-100 при тех же условиях. Гель выдерживали в инкубационном буфере 50 мМ Трис-HCl pH 8,0, 200 мМ NaCl, 5 мМ CaCl₂ 18 ч при 50 °С. После инкубации гель окрашивали 0,25 % Кумасси бриллиантовым голубым G-250 (Диаэм, Россия) в течение 3 ч, избыток красителя отмывали в 20 % этаноле и 10 % уксусной кислоте до проявления зон протеолиза в виде светлых полос на синем фоне геля.

Статистический анализ. Все исследования проводились в трехкратной повторности. Статистическую обработку данных осуществляли по стандартным методикам с использованием программного обеспечения Microsoft Excel 2019. Для полученных данных были рассчитаны средние значения (М) и стандартные отклонения ($\pm$ SD).

Результаты и их обсуждение

Выделение и характеристика термофильного штамма-продуцента протеаз. В качестве продуцента внеклеточных гидролаз был взят ранее выделенный из компоста термофильный штамм *Bacillus subtilis* Кб.12.Гл.35, показавший высокий уровень синтеза протеаз в предыдущих исследованиях [32]. Для первичной идентификации культуры проводили стандартные микробиологические и биохимические тесты (табл. 2).

Исследования показали, что штамм Кб.12.Гл.35, помимо протеолитических ферментов, продуцирует ряд карбогидраз, в том числе амилазы, целлюлазы, галактоманназы, ксиланазы, арабиногалактаназы.

Таблица 2. Физиолого-биохимическая характеристика термофильного штамма *Bacillus subtilis* Кб.12.Гл.35

Table 2. Physiological and biochemical profile of thermophilic strain *Bacillus subtilis* Kb.12.Gl.35

Характеристика	Результат
Морфология клеток	Палочковидная
Окраска по Граму	Грамположительные
Образование эндоспор	+
Подвижность	+
Каталаза	+
Уреаза	–
Образование кислот из углеводов	
Ксилозы	+
Арабинозы	+
Галактозы	–
Фруктозы	+
Маннозы	+
Рамнозы	–
Сорбозы	+
Сахарозы	+
Мальтозы	+
Лактозы	–
Раффинозы	–
Внеклеточные ферментативные активности	
Протеолитическая	+
Амилазная	+
Целлюлазная	+
Глюканазная	+
Маннаназная	+
Ксиланазная	+
Арабиногалактаназная	+

Примечание: «+» – обнаружено; «–» – не обнаружено.

Note: “+” – detected; “–” – not detected.

По результатам проведенного секвенирования гена 16S рРНК штамма Кб.12.Гл.35 было обнаружено более чем 99 % совпадение с типовым штаммом *B. subtilis* 168 (рис. 1).

Скрининг штаммов на наличие генов, кодирующих внеклеточные гидролазы. В качестве мишеней для ПЦР-скрининга были выбраны бациллярные гены, кодирующие внеклеточные протеолитические и амилолитические ферменты. Результаты ПЦР-анализа представлены на рисунке 2.

Согласно полученным данным, термофильный штамм *B. subtilis* Кб.12.Гл.35 имеет потенциальную способность синтезировать внеклеточные сериновые протеазы (AprE, Bpr), металлопротеазы (NprE, Mpr), α -амилазу (AmyE), пуллулазу (AmyX) и α -глюкозидазу (MalL).

Определение активности гидролитических ферментов при культивировании термофилов на средах с растительным сырьем. Для дальнейших исследований в качестве комплексных субстратов использовали растительную муку как основной источник углерода и азота. А дополнительным источником азота, витаминов и микроэлементов являлся традиционный при культивировании микроорганизмов дрожжевой или кукурузный экстракт. Содержание сырого протеина и пищевая ценность использованных субстратов представлены в таблице 3.

Растительная мука, помимо белка, содержит углеводные компоненты, являющиеся резервным источником питания (крахмал) и входящие в состав клеточных стенок (некрахмалистые гомо- и гетерополисахариды – целлюлоза, пектин, маннаны, галактаны,

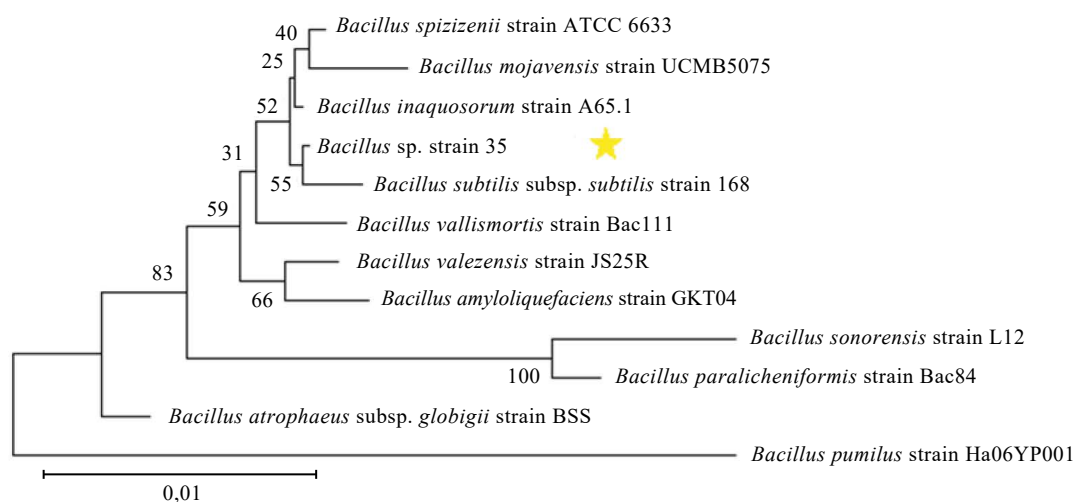


Рисунок 1. Филогенетическое дерево, построенное методом присоединения соседей на основе сравнения нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК термофильного штамма Кб.12.Гл.35 (на схеме обозначен как *Bacillus* sp. strain 35) и типовых штаммов рода *Bacillus*

Figure 1. Phylogenetic tree constructed by neighbor joining based on comparison of nucleotide sequences of the 16S rRNA gene of the thermophilic strain Kb.12.Gl.35 (*Bacillus* sp. strain 35) and typical genus *Bacillus* strains

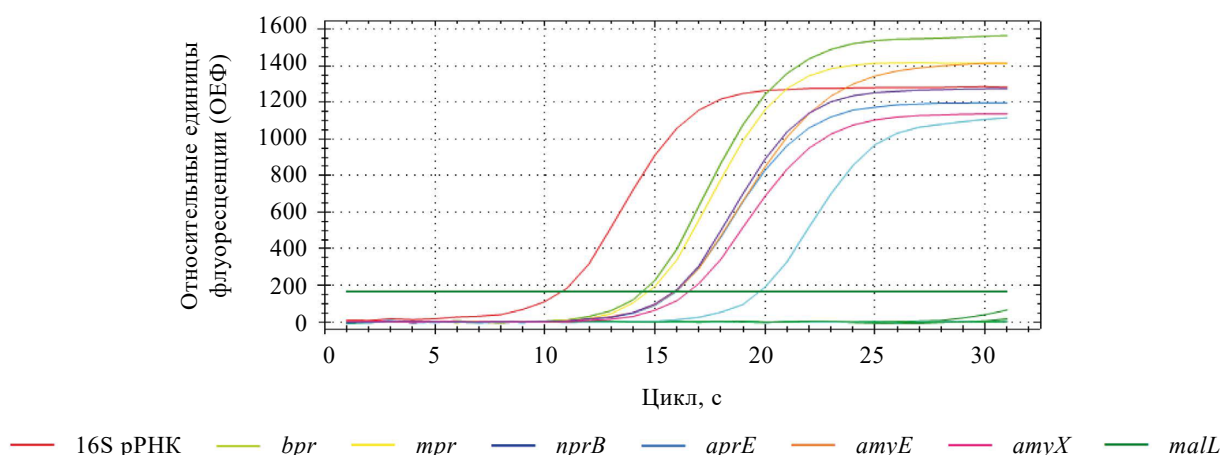


Рисунок 2. Кривые амплификации фрагментов ДНК штамма *Bacillus subtilis* Кб.12.Гл.35

Figure 2. Amplification curves of DNA fragments of the *Bacillus subtilis* strain Kb.12.Gl.35

Таблица 3. Содержание основных компонентов в используемых субстратах

Table 3. Major components in plant substrates

Субстрат	Сырой протеин, % от сухих веществ	Пищевая ценность на 100 г продукта*, г		
		Белки	Жиры	Углеводы
Амарантовая мука	7,9	13,5	3,0	61,2
Гороховая мука	18,0	21,0	2,0	49,0
Льняная мука	27,0	25,0	5,0	20,0
Нутовая мука	14,7	22,0	7,0	58,0
Овсяная мука	10,8	13,0	7,0	63,0
Соевая мука	60,1	49,0	1,0	21,7
Смесь на основе амарантовой и соевой муки	29,9	37,0	6,5	38,0
Рисовая мука	4,5	7,0	1,0	79,0
Дрожжевой экстракт	31,7	–	–	–
Кукурузный экстракт	32,8	–	–	–

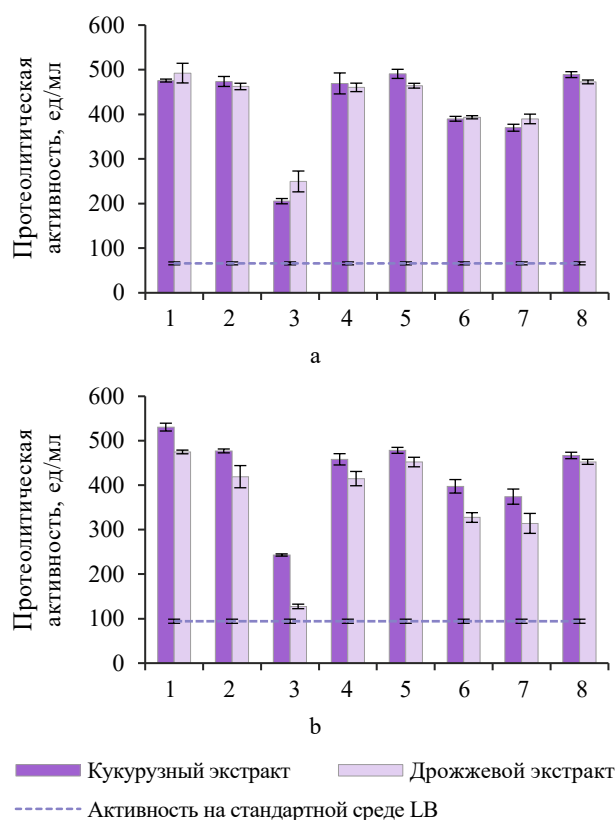
Примечание: * – данные производителя.

Note: * – as reported by the producer.

ксиланы, арабиногалактаны, галактоманнаны, арабиноксиланы и др.). Кукурузный экстракт является побочным продуктом производства крахмала из зерен кукурузы. Экстракт получают путем замачивания кукурузных початков в растворе сернистой кислоты или сульфита натрия, в результате чего происходит высвобождение растворимых беков, аминокислот, углеводов, витаминов и других веществ [36]. Поскольку карбогидразы относятся к индуцибельным ферментам, можно сделать предположение, что их экспрессия будет зависеть в том числе от углеводного состава сырья.

Предварительные исследования показали, что в случае культивирования термофильного штамма на средах с растительным сырьем, содержащим крахмал, на начальных фазах роста наблюдалось умеренное закисление среды (до pH 6), что приводило к снижению активности внеклеточных протеаз. При внесении в среды с растительной мукой солей $MgSO_4$ и $CaCO_3$ отмечали повышение активности протеаз, максимальная активность была зафиксирована при одновременном применении обеих солей. Это может объясняться буферированием ферментационной среды, а также использованием бактериями катионов металлов в качестве кофакторов для функционирования ферментов. Например, внеклеточные протеазы и амилазы бактерий *B. subtilis* характеризуются наличием в структуре ферментов кальций-связывающих каналов, которые играют важную роль в поддержании термостабильности белковых молекул [37].

На первом этапе исследования определили протеолитическую активность штамма *B. subtilis* Кб.12.Гл.35 спустя 24 и 48 ч роста на комплексных средах (рис. 3). Максимальный синтез протеаз происходил при культивировании на средах с амарантовой, гороховой, нутовой, овсяной и рисовой мукой (более 400 ед/мл культуральной жидкости) относительно стандартной среды LB. Согласно результатам (табл. 3), содержание



1 – Амарантовая мука, 2 – Гороховая мука, 3 – Льняная мука, 4 – Нутовая мука, 5 – Овсяная мука, 6 – Соевая мука, 7 – Смесь на основе амарантовой и соевой муки, 8 – Рисовая мука

Рисунок 3. Протеолитическая активность термофильного штамма *Bacillus subtilis* Кб.12.Гл.35 спустя 24 (а) и 48 ч (б) культивирования на средах с растительной мукой и кукурузным или дрожжевым экстрактом

Figure 3. Proteolytic activity of *Bacillus subtilis* Kб.12.Gл.35 after 24 (a) and 48 h (b) of cultivation on media with plant flour and corn or yeast extract

сырого протеина в данных субстратах варьировалось от 4,5 до 18,0 %. Соевая и льняная мука, с более высоким содержанием сырого протеина, снижала синтез протеаз. Через сутки культивирования замена дрожжевого экстракта на кукурузный влияла на активность протеаз незначительно. Однако спустя 48 ч наблюдалось снижение активности протеаз при росте продуцента на среде с дрожжевым экстрактом и растительной мукой любого типа. Используемые экстракты близки по содержанию сырого протеина (табл. 3). Кукурузный экстракт содержит некоторое количество углеводов в виде моносахаридов, олигосахаридов и декстринов. Тем не менее в ходе исследований не было зафиксировано явления катаболитной репрессии, что может объясняться постепенным гидролизом сложных углеводов без образования избытка моносахаридов в питательной среде. Наличие в средах углеводов в кукурузном экстракте могло замедлить переход культуры в стационарную фазу, в отличие от роста на средах с дрожжевым экстрактом, что способствовало сохранению биосинтетической активности клеток.

На следующем этапе исследования провели определение активности карбогидраз: амилаз, галактоманназ, арабиногалактаназ и ксиланаз. Высокое содержание крахмала характерно для зерен кукурузы, пшеницы, ячменя, риса; низкое – для соевой и льняной муки [38–40]. На рисунке 4 представлены результаты измерения амилазной активности комплекса внеклеточных гидролаз штамма *B. subtilis* Кб.12.Гл.35.

Полученные значения амилазной активности на первые сутки культивирования частично соотносятся с содержанием крахмала в выбранных видах муки – максимальная активность амилаз была зафиксирована на средах с овсяной, рисовой и нутовой мукой. Наличие в ферментационной среде кукурузного экстракта практически во всех вариантах провоцировал более высокую амилазную активность культураль-

ной жидкости на 24 ч роста культуры, по сравнению с дрожжевым экстрактом. Спустя 48 ч синтез амилаз на средах с дрожжевым экстрактом значительно снизился – в ряде сред активность амилаз оказалась ниже, чем при росте на стандартной среде LB. Более высокая амилолитическая активность в случае культивирования на средах с кукурузным экстрактом может быть связана с содержанием в нем декстринов и мальто-олигосахаридов, которые могут выступать дополнительными индукторами синтеза амилаз.

Проанализирована амилолитическая активность, активность ряда гемицеллюлаз, в том числе гидролаз гексозанов и пентозанов. При росте штамма Кб.12.Гл.35 на амарантовой муке в комбинации с кукурузным экстрактом наблюдалась самая высокая суммарная гидролитическая активность по отношению к галактоманнану, арабиногалактану и ксилану (рис. 5–7).

Арабиноксилан и арабиногалактан – смешанные полисахариды из зерен амаранта [41]. Их присутствие в среде могло усилить у штамма экспрессию генов ксиланаз, арабиназ и манназ. Основной полисахарид клетчатки риса – арабиноксилан и глюкуроноарабиноксилан, а также в ее состав входит глюкоманнан, что, предположительно, могло индуцировать синтез соответствующих гемицеллюлаз. Нутовая и гороховая мука характеризуются высоким содержанием арабинана и смешанных полисахаридов арабиногалактуронана, рамногалактуронана и ксилоглюкана [42]. Их наличие может обуславливать высокую арабиногалактаназную и ксиланазную активность комплекса гидролаз, синтезируемых спустя сутки культивирования. Соевая мука также содержит некрахмалистые полисахариды, галактуронаны, арабиногалактуронаны, арабинаны и характеризуется небольшим содержанием маннанов (до 1,61 %) [43, 44], это может объяснять невысокие уровни синтеза галактоманназ. При использовании льняной муки умеренная активность гемицеллюлаз

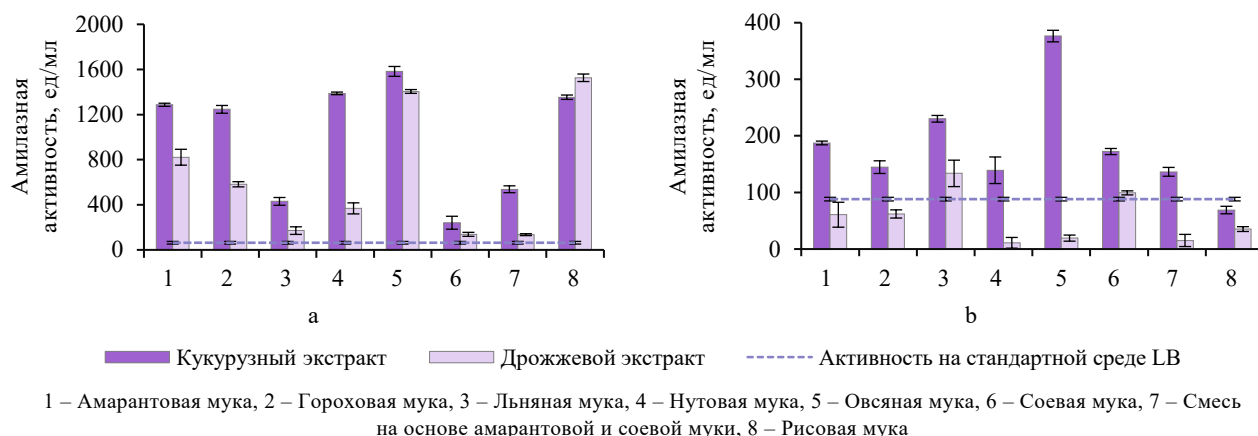


Рисунок 4. Амилазная активность термофильного штамма *Bacillus subtilis* Кб.12.Гл.35 спустя 24 (а) и 48 ч (б) культивирования на средах с растительной мукой и кукурузным или дрожжевым экстрактом

Figure 4. Amylase activity of *Bacillus subtilis* K6.12.Gl.35 after 24 (a) and 48 h (b) of cultivation on media with plant flour and corn or yeast extract

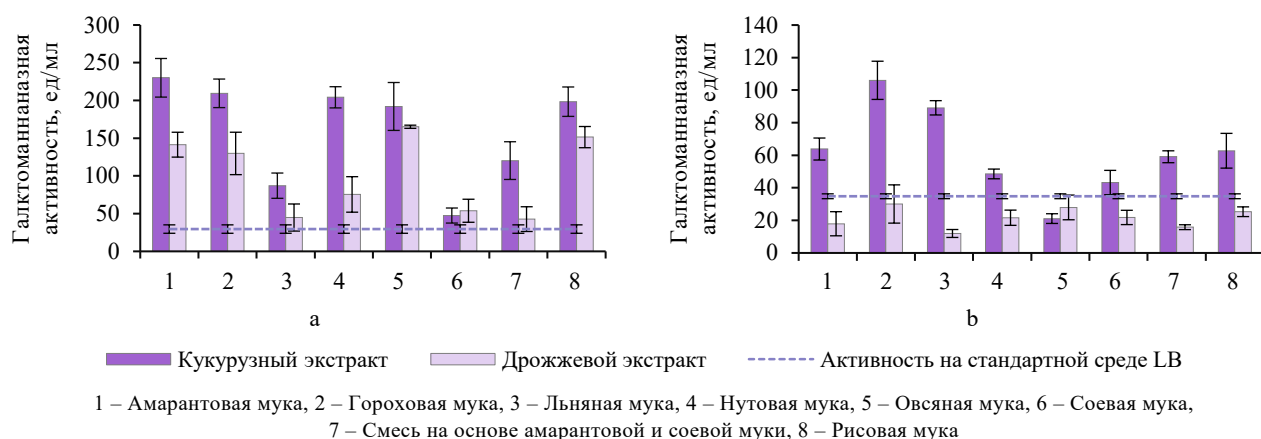


Рисунок 5. Галктоманнаназная активность термофильного штамма *Bacillus subtilis* К6.12.Гл.35 спустя 24 (а) и 48 ч (б) культивирования на средах с растительной мукой и кукурузным или дрожжевым экстрактом

Figure 5. Galactomannase activity of *Bacillus subtilis* Kb.12.Gl.35 after 24 (a) and 48 h (b) of cultivation on media with plant flour and corn or yeast extract

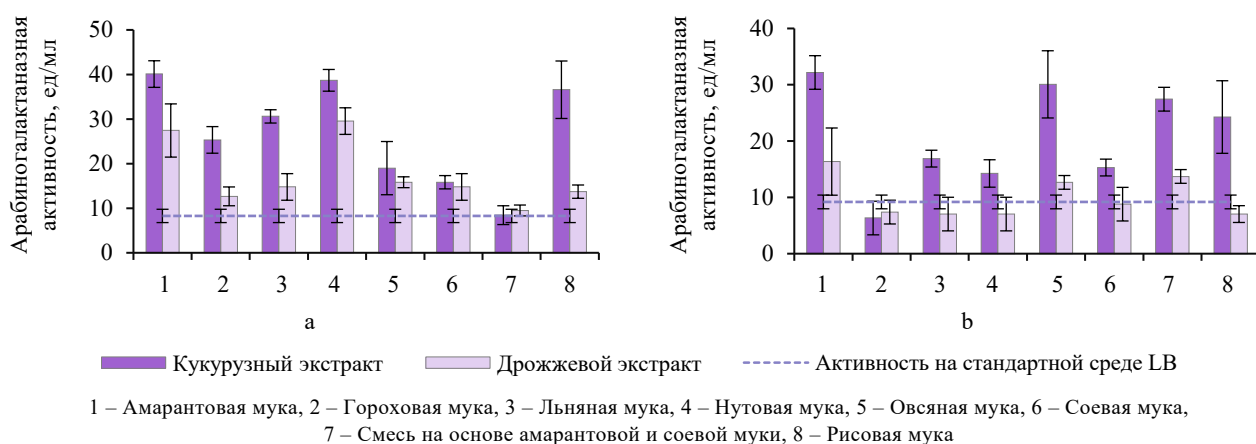


Рисунок 6. Арабиногалактаназная активность термофильного штамма *Bacillus subtilis* К6.12.Гл.35 спустя 24 (а) и 48 ч (б) культивирования на средах с растительной мукой и кукурузным или дрожжевым экстрактом

Figure 6. Arabinogalactanase activity of *Bacillus subtilis* Kb.12.Gl.35 after 24 (a) and 48 h (b) of cultivation on media with plant flour and corn or yeast extract

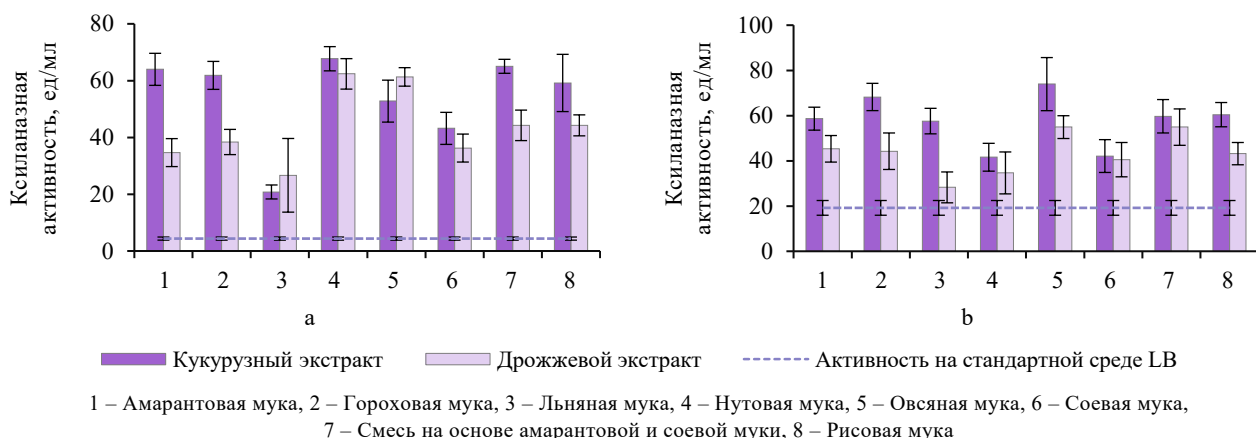


Рисунок 7. Ксиланазная активность термофильного штамма *Bacillus subtilis* К6.12.Гл.35 спустя 24 (а) и 48 ч (б) культивирования на средах с растительной мукой и кукурузным или дрожжевым экстрактом

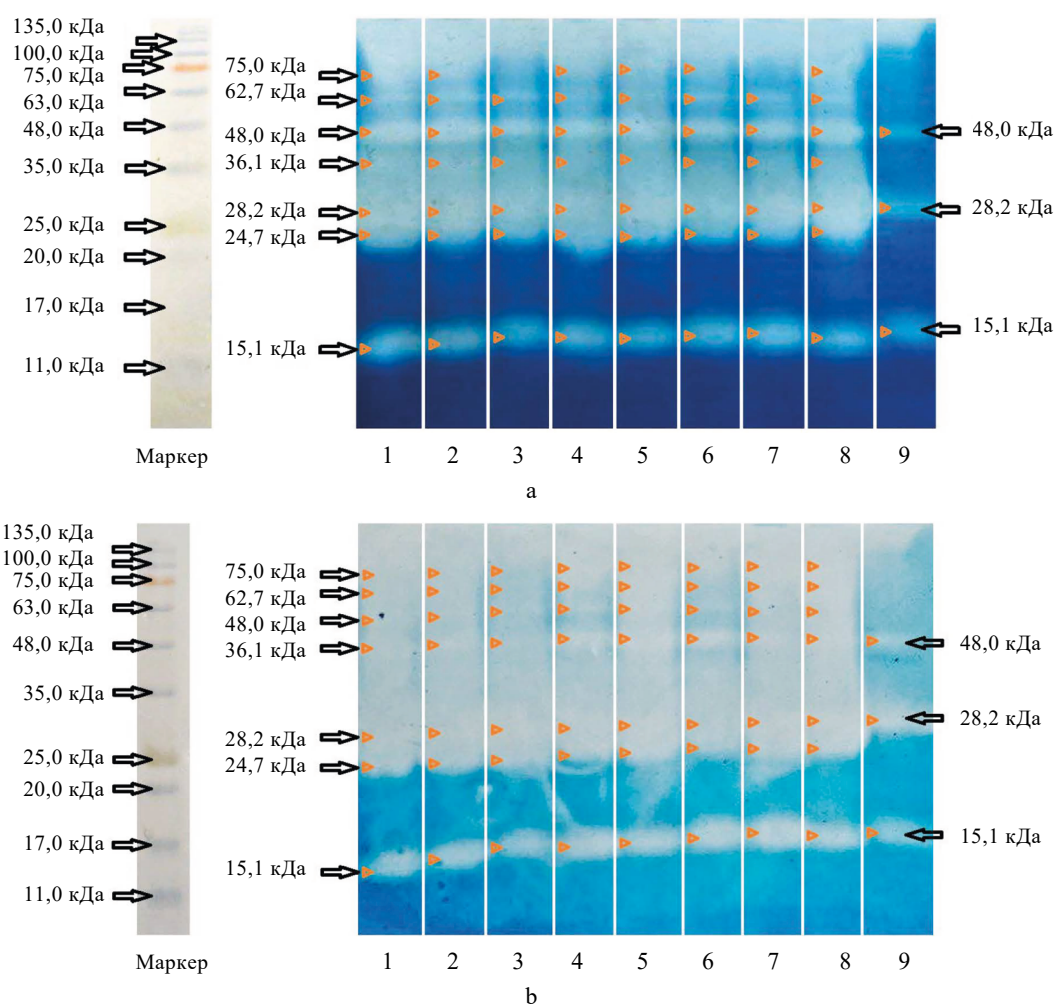
Figure 7. Xylanase activity of *Bacillus subtilis* Kb.12.Gl.35 after 24 (a) and 48 h (b) of cultivation on media with plant flour and corn or yeast extract

по отношению к арабиногалактану и низкая к остальным некрахмалистым углеводам может быть обусловлена полисахаридным составом семян льна, включающим рамногалактуронан и арабиноксилан [45].

В ряде случаев резкое снижение уровня амилаз на 48 ч культивирования штамма фиксировалось одновременно с небольшим снижением активности других карбогидраз. Вероятно, причина в частичном переключении метаболизма с потребления крахмала и продуктов его деструкции – мальтозы и глюкозы, на утилизацию некрахмалистых углеводов. Данное явление хорошо наблюдалось при росте штамма *B. subtilis* Кб.12.Гл.35 на средах с кукурузным экстрактом, на основании чего было сделано предположение: олигосахариды, присутствующие в кукурузном экстракте, например, ксилоолигосахариды и арабиноолигосахариды [46], могут выступать индуктором синтеза гемицеллюлаз.

Зимографический профиль протеолитических ферментов при культивировании на средах с растительным сырьем. В ходе изучения пула внеклеточных протеаз термофильного штамма *B. subtilis* Кб.12.Гл.35 обнаружено, что при росте на стандартной среде LB в течение 24 ч в культуральной жидкости наблюдается активность минимум трех протеолитических ферментов с массами 15,1; 28,2 и 48,0 кДа (рис. 8).

При выращивании штамма-продуцента на средах с растительным сырьем получен более представительный профиль ферментов с протеолитической активностью. В случае использования в качестве дополнительного источника азота дрожжевого экстракта в комбинации с растительной мукой экзопротеазный профиль практически идентичен для всех видов используемой муки и характеризовался наличием до семи отдельных ферментов с массами от 15,1 до 75,0 кДа. В ходе



1 – Амарантовая мука, 2 – Гороховая мука, 3 – Льняная мука, 4 – Нутовая мука, 5 – Овсяная мука, 6 – Соевая мука, 7 – Смесь на основе амарантовой и соевой муки, 8 – Рисовая мука

Рисунок 8. Зимограмма внеклеточных протеаз штамма *Bacillus subtilis* Кб.12.Гл.35 при культивировании на средах с растительной мукой в комбинации с дрожжевым (а) или кукурузным (б) экстрактом и на стандартной среде LB

Figure 8. Zymogram of extracellular proteases of *Bacillus subtilis* Kb.12.Gl.35 on media with plant flour in combination with yeast (a) or corn (b) extract vs. standard LB medium

анализа протеаз культуральной жидкости, полученной при выращивании штамма на среде с кукурузным экстрактом, был выявлен набор ферментов с аналогичными молекулярными массами, также обнаружены отличия в синтезе отдельных протеаз. Например, при использовании льняной и соевой муки секреция протеазы массой 48,0 кДа была снижена, а протеаза массой 62,7 кДа в культуральной жидкости практически отсутствовала. Согласно данным зимографического исследования (рис. 8), наибольшее количество протеаз в культуральной жидкости наблюдалось при применении гороховой, овсяной, рисовой муки в комбинации с кукурузным экстрактом. Это соотносится с данными протеолитической активности по казеину (рис. 3).

Данные исследования F. Xie *et al.* [47] и результаты проведенного скрининга генома штамма Кб.12. Гл.35 (рис. 2) позволяют предположить, что протеаза массой 28,2 кДа принадлежит семейству субтилизинов – протеаз, за продукцию которых отвечает ген *aprE*, а протеаза 36,1 кДа – нейтральная протеаза – продукт экспрессии гена *nprE*. Некоторые из обнаруженных ферментов могут являться продуктами экспрессии гена *bpr*, обнаруженного у штамма *B. subtilis* Кб.12.Гл.35, поскольку процессинг предшественника *Bpr*, или бациллопептидазы F, приводит к образованию ферментов с различной молекулярной массой. Например, X. C. Wu *et al.* идентифицировали протеазы *Bpr* с массами 80, 68, 50 и 48 кДа [48]. Y. Ning *et al.* обнаружили протеазы *Bpr* с массами от 11 до 75 кДа [49].

Так как у штамма *B. subtilis* Кб.12.Гл.35 был обнаружен ген *bpr*, ферменты с массами 48,0–75,0 кДа можно предварительно отнести к продуктам процессинга данного гена. На дорожке зимограммы протеолитического комплекса, полученного на стандартной среде LB, проявилась одна полоса предполагаемого продукта процессинга белка *Bpr* – 48,0 кДа, а на средах с растительным сырьем наблюдалась активность более крупных протеаз и белок массой 24,7 кДа.

Секреция внеклеточных протеаз также варьируется в зависимости от фазы роста культуры. Более крупные предшественники в ходе роста культуры могут подвергаться ограниченному протеолиту с образованием активных белков с более низкой молекулярной массой [50]. Можно предположить, что состав среды оказывает влияние на созревание внеклеточных протеаз, т. к. при изменении состава питательной среды может изменяться как уровень экспрессии отдельных генов, так и продолжительность фаз роста продуцента. Поскольку в среде с растительным сырьем содержатся полисахариды, пролонгирование экспоненциальной фазы роста и наличие трудноутилизуемых по сравнению с триптоном белков могло привести к образованию разнообразных активных предшественников и зрелых протеаз, обладающих максимальной активностью в разные промежутки времени.

Наибольший вклад в протеолитическую активность, по-видимому, вносят ферменты с массой 24,7–28,2 кДа, а также протеазы с массой 62,7–75,0 кДа, поскольку их активность ярко представлена в варианте с использованием растительного сырья, в отличие от среды LB. Секреция протеазы массой 15,1 кДа на растительном сырье по сравнению со стандартной средой отличалась незначительно.

Выводы

Термофильный штамм *Bacillus subtilis* Кб.12.Гл.35, продуцирующий комплекс гидролитических ферментов (протеаз, амилаз, галактоманназ, арабиногалактаназ, ксиланаз), идентифицирован и охарактеризован с биохимической точки зрения. Изучены особенности синтеза гидролитических ферментов (протеаз, амилаз и гемицеллюлаз) на средах, содержащих комплексное растительное сырье. Подобраны перспективные источники углерода для синтеза протеаз и амилаз – амарантовая, гороховая, нутовая, овсяная и рисовая мука; для синтеза маннаназ, ксиланаз и арабиногалактаназ – амарантовая, гороховая и нутовая мука. Показано повышение синтеза внеклеточных гидролаз при использовании в качестве источника азота кукурузного экстракта по сравнению с дрожжевым. Рассмотрен профиль внеклеточных протеаз при культивировании штамма *B. subtilis* Кб.12.Гл.35 на растительном сырье – комплекс протеаз включал семь отдельных ферментов с массами от 15,1 до 75,0 кДа.

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшей оптимизации условий культивирования и питательной среды с целью получения термостабильных гидролаз как в виде индивидуальных ферментов, так и мультиэнзимных композиций с широким потенциалом применения в пищевой и сельскохозяйственной промышленности, а также при производстве детергентов.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Идея и анализ – М. В. Романова. Руководство работой – А. В. Белодед.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The authors contributed equally to the study and bear equal responsibility for the information published in this article. M.V. Romanova designed the research and analysis. A.V. Beloded supervised the research.

Conflict of interest

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

Список литературы / References

1. Mokrani S, Nabti EH. Recent status in production, biotechnological applications, commercial aspects, and future prospects of microbial enzymes: A comprehensive review. *International Journal of Agricultural Science and Food Technology*. 2024;10(1):006–020. <https://doi.org/10.17352/2455-815x.000202>
2. Tripathi P, Sinha S. Industrial biocatalysis: An insight into trends and future directions. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*. 2020;7:66–72. <https://doi.org/10.1007/s40518-020-00150-8>
3. Meghwanshi GK, Kaur N, Verma S, Dabi NK, Vashishtha A, et al. Enzymes for pharmaceutical and therapeutic applications. *Biotechnology and Applied Biochemistry*. 2020;67(4):586–601. <https://doi.org/10.1002/bab.1919>
4. Shukla P. Synthetic biology perspectives of microbial enzymes and their innovative applications. *Indian Journal of Microbiology*. 2019;59(4):401–409. <https://doi.org/10.1007/s12088-019-00819-9>
5. Singh RS, Singh T, Pandey A. Microbial enzymes—An overview. In: Singh RS, Singhania RR, Pandey A, Larroche C, editors. *Advances in Enzyme Technology*. MA: Elsevier; 2019. pp. 1–40. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64114-4.00001-7>
6. Zhang Y, Geary T, Simpson BK. Genetically modified food enzymes: A review. *Current Opinion in Food Science*. 2019;25:14–18. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2019.01.002>
7. Burkhardt C, Baruth L, Meyer-Heydecke N, Klippel B, Margaryan A, et al. Mining thermophiles for biotechnologically relevant enzymes: Evaluating the potential of European and Caucasian hot springs. *Extremophiles*. 2023;28:5. <https://doi.org/10.1007/s00792-023-01321-3>
8. Thapa S, Li H, OHair J, Bhatti S, Chen F-C, et al. Biochemical characteristics of microbial enzymes and their significance from industrial perspectives. *Molecular Biotechnology*. 2019;61:579–601. <https://doi.org/10.1007/s12033-019-00187-1>
9. Atalah J, Cáceres-Moreno P, Espina G, Blamey JM. Thermophiles and the applications of their enzymes as new biocatalysts. *Bioresource Technology*. 2019;280:478–488. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.02.008>
10. Kumar S, Dangi AK, Shukla P, Baishya D, Khare SK. Thermozymes: Adaptive strategies and tools for their biotechnological applications. *Bioresource Technology*. 2019;278:372–382. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.088>
11. Han H, Ling Z, Khan A, Virk AK, Kulshrestha S, et al. Improvements of thermophilic enzymes: From genetic modifications to applications. *Bioresource Technology*. 2019;279:350–361. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.087>
12. Ajeje SB, Hu Y, Song G, Peter SB, Afful RG, et al. Thermostable cellulases / xylanases from thermophilic and hyperthermophilic microorganisms: Current perspective. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021;9:794304. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.794304>
13. Verma J, Sourirajan A, Dev K. Bacterial diversity in 110 thermal hot springs of Indian Himalayan Region (IHR). *3 Biotech*. 2022;12:238. <https://doi.org/10.1007/s13205-022-03270-8>
14. Finore I, Feola A, Russo L, Cattaneo A, di Donato P, et al. Thermophilic bacteria and their thermozymes in composting processes: A review. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2023;10:7. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00381-z>
15. Romanova MV, Dolbunova AN, Epishkina YuM, Evdokimova SA, Kozlovskiy MR, et al. A thermophilic L-lactic acid producer of high optical purity: Isolation and identification. *Foods and Raw Materials*. 2024;12(1):101–109. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-1-591>
16. Kambourova M. Thermostable enzymes and polysaccharides produced by thermophilic bacteria isolated from Bulgarian hot springs. *Engineering in Life Sciences*. 2018;18(11):758–767. <https://doi.org/10.1002/elsc.201800022>
17. Liang Q, Zhan Y, Yuan M, Cao L, Zhu C, et al. Improvement of the catalytic ability of a thermostable and acidophilic β -mannanase using a consensus sequence design strategy. *Frontiers in Microbiology*. 2021;12:722347. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.722347>
18. Tan S, Tao X, Zheng P, Chen P, Yu X, et al. Thermostability modification of β -mannanase from *Aspergillus niger* via flexibility modification engineering. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14:1119232. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1119232>
19. Solanki P, Putatunda C, Kumar A, Bhatia R, Walia A. Microbial proteases: Ubiquitous enzymes with innumerable uses. *3 Biotech*. 2021;11:428. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02928-z>
20. Herrera-Márquez O, Fernández-Serrano M, Pilamala M, Jácome MB, Luzón G. Stability studies of an amylase and a protease for cleaning processes in the food industry. *Food and Bioproducts Processing*. 2019;117:64–73. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.06.015>
21. Velázquez-De Lucio BS, Hernández-Domínguez E, Villa-García M, Díaz-Godínez G, Mandujano-González V, et al. Exogenous enzymes as zootechnical additives in animal feed: A review. *Catalysts*. 2021;11(7):851. <https://doi.org/10.3390/catal11070851>
22. Nagarajan DR, Krishnan C. Use of a new catabolite repression resistant promoter isolated from *Bacillus subtilis* KCC103 for hyper-production of recombinant enzymes. *Protein Expression and Purification*. 2010;70(1):122–128. <https://doi.org/10.1016/j.pep.2009.09.020>

23. Xiao F, Li Y, Zhang Y, Wang H, Zhang L, *et al.* A new CcpA binding site plays a bidirectional role in carbon catabolism in *Bacillus licheniformis*. *iScience*. 2021;24(5):102400. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102400>
24. Sun B, Zou K, Zhao Y, Tang Y, Zhang F, *et al.* The fermentation optimization for alkaline protease production by *Bacillus subtilis* BS-QR-052. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14:1301065. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1301065>
25. Naik B, Kumar V, Rizwanuddin S, Chauhan M, Gupta AK, *et al.* Agro-industrial waste: A cost-effective and eco-friendly substrate to produce amylase. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2023;5:30. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00143-2>
26. Bhange K, Chaturvedi V, Bhatt R. Simultaneous production of detergent stable keratinolytic protease, amylase and biosurfactant by *Bacillus subtilis* PF1 using agro industrial waste. *Biotechnology Reports*. 2016;10:94–104. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2016.03.007>
27. Su Y, Liu C, Fang H, Zhang D. *Bacillus subtilis*: A universal cell factory for industry, agriculture, biomaterials and medicine. *Microbial Cell Factories*. 2020;19:173. <https://doi.org/10.1186/s12934-020-01436-8>
28. Baweja M, Tiwari R, Singh PK, Nain L, Shukla P. An alkaline protease from *Bacillus pumilus* MP 27: Functional analysis of its binding model toward its applications as detergent additive. *Frontiers in Microbiology*. 2016;7:01195. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01195>
29. Abd-Elhalim BT, Gamal RF, El-Sayed SM, Abu-Hussien SH. Optimizing alpha-amylase from *Bacillus amyloliquefaciens* on bread waste for effective industrial wastewater treatment and textile desizing through response surface methodology. *Scientific Reports*. 2023;13:19216. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46384-6>
30. Devi S, Dwivedi D, Bhatt AK. Utilization of agroresidues for the production of xylanase by *Bacillus safensis* XPS7 and optimization of production parameters. *Fermentation*. 2022;8(5):221. <https://doi.org/10.3390/fermentation8050221>
31. Srivastava PK, Kapoor M. Cost-effective endo-mannanase from *Bacillus* sp. CFR1601 and its application in generation of oligosaccharides from guar gum and as detergent additive. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*. 2014;44(4):392–417. <https://doi.org/10.1080/10826068.2013.833108>
32. Романова М. В., Кузнецов А. Е., Белодед А. В. Молекулярно-биологическая и биохимическая характеристика внеклеточных протеаз термофильных бактериальных штаммов. *Бутлеровские сообщения*. 2021. Т. 68. № 12. С. 103–111. [Romanova MV, Kuznetsov AYe, Beloded AV. Molecular biological and biochemical characteristics of extracellular proteases of thermophilic bacterial strains. *Butlerov Communications*. 2021;68(12):103–111. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/LBSMNK>
33. de Vos P, Garrity GM, Jones D, Krieg NR, Ludwig W, *et al.* *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Second Edition, Vol. 3. NY: Springer; 2009. pp. 21–128. https://doi.org/10.1007/978-0-387-68489-5_3
34. Tamura K, Stecher G, Kumar S. MEGA11: Molecular evolutionary genetics analysis version 11. *Molecular Biology and Evolution*. 2021;38(7):3022–3027. <https://doi.org/10.1093/molbev/msab120>
35. Oliver GW, Stetler-Stevenson WG, Kleiner DE. Zymography, casein zymography, and reverse zymography: Activity assays for proteases and their inhibitors. In: Sterchi EE, Stöcker W, editors. *Proteolytic enzymes*. Berlin: Springer Lab Manual; 1999. pp. 63–76. https://doi.org/10.1007/978-3-642-59816-6_5
36. Гольдштейн В., Лукин Н., Радин О. Кукурузный экстракт в кормах. *Комбикорма*. 2022. № 3. С. 45–46. [Goldshstein V, Lukin N, Radin O. Corn extract in feeds. *Compound Feeds*. 2022;(3):45–46. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2022-03-3-170>
37. Harwood CR, Kikuchi Y. The ins and outs of *Bacillus* proteases: Activities, functions and commercial significance. *FEMS Microbiology Reviews*. 2022;46(1):fuab046. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuab046>
38. Al-Attar H, Ahmed J, Thomas L. Rheological, pasting and textural properties of corn flour as influenced by the addition of rice and lentil flour. *LWT*. 2022;160:113231. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113231>
39. Filipović J, Ivkov M, Košutić M, Filipović V. Ratio of omega-6/omega-3 fatty acids of spelt and flaxseed pasta and consumer acceptability. *Czech Journal of Food Sciences*. 2016;34(6):522–529. <https://doi.org/10.17221/384/2015-CJFS>
40. Agume ASN, Njintang NY, Mbofung CMF. Effect of soaking and roasting on the physicochemical and pasting properties of soybean flour. *Foods*. 2017;6(2):12. <https://doi.org/10.3390/foods6020012>
41. Malik M, Sindhu R, Dhull SB, Bou-Mitri C, Singh Y, *et al.* Nutritional composition, functionality, and processing technologies for amaranth. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2023;2023(1):1753029. <https://doi.org/10.1155/2023/1753029>
42. Noguchi M, Hasegawa Y, Suzuki S, Nakazawa M, Ueda M, *et al.* Determination of chemical structure of pea pectin by using pectinolytic enzymes. *Carbohydrate Polymers*. 2020;231:115738. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115738>
43. Karki B, Maurer D, Kim TH, Jung S. Comparison and optimization of enzymatic saccharification of soybean fibers recovered from aqueous extractions. *Bioresource Technology*. 2011;102(2):1228–1233. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.08.004>
44. Hsiao H-Y, Anderson DM, Dale NM. Levels of β -mannan in soybean meal. *Poultry Science*. 2006;85(8):1430–1432. <https://doi.org/10.1093/ps/85.8.1430>

45. Ray S, Paynel F, Morvan C, Lerouge P, Driouich A, et al. Characterization of mucilage polysaccharides, arabinogalactanproteins and cell-wall hemicellulosic polysaccharides isolated from flax seed meal: A wealth of structural moieties. Carbohydrate Polymers. 2013;93(2):651–660. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.12.034>
46. Yan F, Tian S, Chen H, Gao S, Dong X, et al. Advances in xylooligosaccharides from grain byproducts: Extraction and prebiotic effects. Grain & Oil Science and Technology. 2022;5(2):98–106. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2022.02.002>
47. Xie F, Feng F, Liu D, Quan S, Liu L, et al. *Bacillus amyloliquefaciens* 35M can exclusively produce and secrete proteases when cultured in soybean-meal-based medium. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2022;209(Part 2):112188. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2021.112188>
48. Wu XC, Nathoo S, Pang A, Carne T, Wong S. Cloning, genetic organization, and characterization of a structural gene encoding bacillopeptidase F from *Bacillus subtilis*. The Journal of Biological Chemistry. 1990;265(12):6845–6850. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(19\)39225-7](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(19)39225-7)
49. Ning Y, Yang H, Weng P, Wu Z. Analysis and identification of the extracellular proteases from *Bacillus velezensis* SW5. Applied Biochemistry and Microbiology. 2021;57:S27–S37 <https://doi.org/10.1134/S0003683821100082>
50. Yoo JY, Yao Z, Lee SJ, Jeon HS, Kim JH. Cloning and expression of a fibrinolytic enzyme gene, aprECJ1, from *Bacillus velezensis* CJ1 isolated from *Myeolchi Jeotgal*. Microbiology and Biotechnology Letters. 2021;49(3):289–297. <https://doi.org/10.48022/mbi.2104.04012>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2575>
<https://elibrary.ru/VMRNGD>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Оптические характеристики и индивидуальные каротиноиды пюре из мякоти тыквы в зависимости от сорта сырья и способа получения



Е. Д. Рожнов*, М. Н. Школьников*, В. Н. Аббазова*

Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

Поступила в редакцию: 26.07.2024

Принята после рецензирования: 06.11.2024

Принята к публикации: 01.04.2025

*Е. Д. Рожнов: red@bti.secna.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

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

В. Н. Аббазова: <https://orcid.org/0000-0002-2009-8856>

© Е. Д. Рожнов, М. Н. Школьников, В. Н. Аббазова, 2025



Аннотация.

Тыква (*Cucurbita*) – бахчевая, кормовая и масличная культура, богата полезными макро- и микронутриентами, благодаря чему обладает антибактериальными, противопаразитарными, антиоксидантными и прооксидантными, противораковыми, противодиабетическими, обезболивающими и противовоспалительными свойствами. Для сохранения и стабилизации качественных характеристик тыквы, как и других свежих овощей, используются различные методы консервации. Цель данной работы заключалась в исследовании изменений оптических характеристик и содержания индивидуальных каротиноидов в пюре из мякоти тыквы в зависимости от сорта сырья и способа его получения.

Объектами исследования послужили свежие плоды тыквы шести среднеспелых сортов – Россиянка, Улыбка, Кустовая оранжевая, Грибовская зимняя, Зимняя сладкая и Алтайская 47. В исследовании использованы колориметрические (для определения цвета и цветовых различий), хроматографические (для анализа индивидуальных каротиноидов) и статистические (для обработки результатов) методы. Для получения образцов сухого пюре применены традиционный способ высушивания и ферментализ препаратами Амилизин и Протозим.

Установлено, что сорт тыквы оказывал влияние на показатели светлоты, цветовую координату b^* и индекс потемнения, содержание лютеина и *транс-β*-каротина в пюре; технология получения – на показатели цветовой координаты a^* , цветовое различие, насыщенность и угол оттенка тона, содержание виолоксантина, α - и *цис-β*-каротина. Образцы пюре из тыквы, полученные путем ферментализа, характеризовались лучшими значениями показателей светлоты, меньшими изменениями цветовых координат a^* и b^* и насыщенности цвета, большим содержанием виолоксантина, лютеина, α -каротина, *транс-β*-каротина, меньшим – *цис-β*-каротина, по сравнению с образцами, высушенными традиционным способом. Определены лучшие сорта тыквы для получения пюре: по оптическим характеристикам – Россиянка, Улыбка и Кустовая оранжевая; по содержанию индивидуальных каротиноидов – Улыбка, Грибовская зимняя, Россиянка, Зимняя сладкая и Алтайская 47. Значимые прямые тесные корреляционные зависимости установлены между содержанием *транс-β*-каротина в пюре из тыквы и изменениями светлоты / цветовых координат a^* , виолоксантина и изменениями цветовых координат a^* и b^* , α -каротина и изменениями цветовых координат a^* , обратные тесные корреляционные зависимости – между содержанием *цис-β*-каротина и изменениями светлоты / цветовых координат a^* / b^* .

Представленные в работе результаты имеют практическую значимость для предприятий, занимающихся переработкой тыквы, поскольку их применение позволит организовать производство тыквенного пюре высокого качества со стабильными оптическими характеристиками.

Ключевые слова. Пюре овощное, тыква, консервация, ферментализ, оптические характеристики, индивидуальные каротиноиды, *цис-транс*-изомеризация

Для цитирования: Рожнов Е. Д., Школьников М. Н., Аббазова В. Н. Оптические характеристики и индивидуальные каротиноиды пюре из мякоти тыквы в зависимости от сорта сырья и способа получения. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 315–330. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2575>

Effect of Production Process and Raw Material Quality on Carotenoid Content in Pumpkin Pulp and Its Optical Properties



Evgeny D. Rozhnov*, Marina N. Shkolnikova, Venera N. Abbazova

Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

Received: 26.07.2024

Revised: 06.11.2024

Accepted: 01.04.2025

*Evgeny D. Rozhnov: red@bti.secna.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-3982-9700>

Marina N. Shkolnikova: <https://orcid.org/0000-0002-9146-6951>

Venera N. Abbazova: <https://orcid.org/0000-0002-2009-8856>

© E.D. Rozhnov, M.N. Shkolnikova, V.N. Abbazova, 2025



Abstract.

Pumpkin (*Cucurbita*) is a melon, fodder, and oilseed crop. It is rich in macro- and micronutrients that give it its antibacterial, antiparasitic, antioxidant, prooxidant, anticancer, antidiabetic, analgesic, and anti-inflammatory properties. Various storage and preservation methods make it possible to preserve and stabilize the initial quality of pumpkin. This article describes the changes in the optical properties and carotenoid content in pumpkin pulp depending on the cultivar and the production method.

The research featured fresh pumpkins of six mid-season varieties, i.e., Rossiyanka, Ulybka, Kustovaya Oranzhevaya, Gribovskaya Zimnaya, Zimnaya Sladkaya, and Altaiskaya 47. The colorimetric methods made it possible to determine the color differences during storage while the carotenoid content was analyzed by chromatography. The data obtained underwent statistical processing. The dry puree samples were obtained by conventional drying and enzymolysis with Amilorizin and Protozyme.

The pumpkin variety affected the lightness indices, the b^* color coordinate, and the browning index, as well as the content of lutein and $trans\text{-}\beta$ -carotene in the puree. The production method affected the a^* color coordinate, the color difference, the saturation, and the hue angle, as well as the content of violaxanthin, α -carotene, and $cis\text{-}\beta$ -carotene. Compared with the conventional drying, the enzymolysis samples demonstrated better lightness indices, smaller a^* , b^* , and saturation changes, a higher content of violaxanthin, lutein, α -carotene, $trans\text{-}\beta$ -carotene, and a lower content of $cis\text{-}\beta$ -carotene. The best optical properties belonged to the cultivars of Rossiyanka, Ulybka, and Kustovaya Oranzhevaya. The optimal carotenoid content belonged to Ulybka, Gribovskaya Zimnaya, Rossiyanka, Zimnaya Sladkaya, and Altaiskaya 47. Some significant direct correlations were registered between the content of $trans\text{-}\beta$ -carotene and the a^* changes; violaxanthin correlated with a^* and b^* ; α -carotene correlated with a^* . An inverse correlation occurred between the content of $cis\text{-}\beta$ -carotene and the changes in a^* and b^* .

The results may help pumpkin farms to improve the production of high-quality pumpkin puree with stable optical properties.

Keywords. Vegetable pulp, pumpkin, preservation, enzymolysis, optical properties, individual carotenoids, $cis\text{-}trans$ -isomerization

For citation: Rozhnov ED, Shkolnikova MN, Abbazova VN. Effect of Production Process and Raw Material Quality on Carotenoid Content in Pumpkin Pulp and Its Optical Properties. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):315–330. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2575>

Введение

Тыква – перспективная культура, используемая в питании человека в свежем и переработанном виде: ее мякоть запекают, жарят, маринуют, сушат; из нее изготавливают сок, повидло, джем, варенье, цукаты, конфеты и т. д. [1]. Ценные нативные компоненты мякоти плодов тыквы, в том числе каротиноиды, переходят в получаемый продукт (табл. 1).

При переработке тыквы выход мякоти составляет 72,0–76,0 %, кожуры – 2,6–16,0 %, семян – 3,1–4,4 % [6]. Все части тыквы обладают экономическим потенциалом в виде сырья для пищевой, фармацевтической, косметической и кормовой отраслей благодаря

полезным свойствам (антибактериальные, противопаразитарные, антиоксидантные и прооксидантные, противораковые, противодиабетические, обезболивающие и противовоспалительные) [7, 8]. Кроме макро- и микронутриентов – углеводов, белков и жиров [9], плоды тыквы богаты минеральными веществами, фенольными соединениями, жирными кислотами, незаменимыми аминокислотами, витаминами, терпеноидами, сапонинами, стеринами, токоферолами и каротиноидами (до 35,1 мг/100 г) [10, 11]. Последние в организме человека поддерживают антиоксидантную защиту, уничтожая свободные радикалы и активный атомарный кислород, обеспечивая антиоксидантную

Таблица 1. Сохранность нативных веществ и каротиноидов мякоти тыквы в пищевых продуктах (примеры)

Table 1. Preserving native substances and carotenoids of pumpkin pulp in food products: examples

Пищевой продукт	Вид применяемой мякоти	Отличительные особенности пищевых продуктов	Источник
Концентрат для приготовления супа	Пюре из вареной мякоти, сухой экстракт	Опытные образцы содержали повышенное количество клетчатки, жира, белка и β -каротина. Наблюдалось увеличение срока годности образцов с мякотью тыквы (по сравнению с контролем) за счет снижения активности воды	[2]
Сырцовые пряники	Пюре из мякоти	Опытные образцы содержали большее количество углеводов, клетчатки, магния, фосфора, железа, а также β -каротина, витаминов РР и Е (по сравнению с контролем). Рентабельность производства пряников с использованием пюре из тыквы повысилась на 2 %	[3]
Маффины	Замена мукой из высушенной мякоти до 20 % пшеничной муки	Содержание β -каротина в опытном образце маффинов увеличивалось почти на 30 %. Внесение большего количества тыквенной муки негативно повлияло на цвет и потребительскую приемлемость готовых маффинов	[4]
Мармелад	Пюре из мякоти, обогащенное аскорбиновой кислотой	В течение двух месяцев хранения в темноте наблюдалась сохранность β -каротина в образце (независимо от других показателей климатического режима и наличия аскорбиновой кислоты)	[5]

и противораковую активность, фотозащиту, профилактику сердечно-сосудистых заболеваний и возрастных заболеваний глаз, противовоспалительное действие [12]. Также β -каротин относят к биологически активным добавкам к пище геропротекторной направленности [13]. Согласно исследованиям, проведенным V. A. Dadali *et al.* [14], диета, богатая антиоксидантами, снижает риск развития диабета, рака, сердечно-сосудистых и нейродегенеративных заболеваний, а также предотвращает депрессию.

Таким образом, использование каротиноидов при разработке функциональных продуктов и нутрицевтиков с улучшенными питательными свойствами из отходов и субпродуктов является одной из основных задач для многих исследователей, решение которой позволит реализовать глубокую переработку растительных сырьевых ресурсов, что важно в сложившихся экономической и экологической ситуациях [15].

Каротиноиды, являясь в первую очередь жирорастворимыми пигментами оранжевого или красного цвета, в значительной степени деградируют в процессе хранения и переработки. Основные факторы, влияющие на их содержание: температура и действие света [16].

Продукты переработки тыквы широко применяются в пищевых технологиях. Использование тыквы при производстве мясных изделий обусловлено ее положительным влиянием на процессы приготовления блюд из мясного фарша, в том числе фрикаделек и котлет. Добавление мякоти тыквы в изделия из фарша позволяет повысить стабильность мясной эмульсии, сохранить сочность блюд, улучшить сенсорное восприятие готового продукта и снизить в нем окисление липидов [17, 18]. Применение тыквенной муки как альтернативы традиционной при приготовлении

хлебобулочных и кондитерских изделий обогащает их β -каротином, витамином А и рядом других соединений. Умеренное добавление тыквенной муки в рецептуру таких изделий создает возможность получения оригинальных продуктов с хорошими органолептическими свойствами. В работе A. Aziz *et al.* указывается, что внесение тыквенной муки в тесто способствует улучшению клейковины, подъему хлеба и стабилизации газовых ячеек. По мнению респондентов, хлебобулочные и кондитерские изделия на основе тыквы являются приемлемыми продуктами, которые они готовы покупать [19]. Тыкву применяют в производстве напитков – соков и нектаров, а также при их купажировании с другими видами соков. Благодаря получению купажированных соков тыквы с добавлением сока ананаса, манго или клубники, удастся производить напитки высокого качества с улучшенными питательными свойствами и высоким содержанием микронутриентов [20, 21]. Современные технологии пищевых продуктов включают в себя получение тыквенной муки, порошков и других дегидратированных продуктов переработки тыквы, которые после регидратации становятся полноценными компонентами для составления рациона питания [22–24].

Основными факторами, влияющими на решение потребителя при выборе пищевого продукта, являются характеристики его внешнего вида, прежде всего цвет [25]. Цвет продукта питания – достаточно сложный атрибут качества. Потребитель на основе личного опыта, ориентируясь на цвет продукта, имеет возможность получить информацию о других его сенсорных свойствах, например вкусе или аромате, а также о его безопасности, натуральности и потенциальной пользе. Стоит отметить, что в последние несколько лет в России уверенно набирает популярность тренд

«Чистая этикетка», который стимулирует повышение спроса на продукты на основе натуральных ингредиентов, красителей и сырья. Все больше потребителей, прежде чем совершить покупку, внимательно изучают данные маркировки на товаре и считают принципиальным условием отсутствие искусственных ингредиентов. Это подтверждает мнение экспертов рынка и специалистов по здоровому питанию о том, что в последнее десятилетие образовался быстро растущий сегмент потребителей, заботящихся о своем здоровье. Как правило, это образованные и хорошо информированные люди, ищущие источники как коммерческой, так и научной информации с целью укрепления здоровья и полагающиеся на их фактическую достоверность, а не рекламу [26, 27]. Цвет высушенных продуктов – также важный фактор качества, формирующий сенсорную привлекательность. Цвет высушенного пюре тыквы, которое подлежит регидратации при получении конечных продуктов питания, должен оставаться максимально близким к цвету свежей мякоти.

Основными химическими соединениями, формирующими цвет тыквы, являются каротиноиды – преимущественно β - и α -каротин, лютеин, зеаксантин. Каротиноиды плодового и овощного сырья привлекают все большее внимание благодаря своим функциональным свойствам [28]. Они локализируются в субклеточных органеллах (пластидах), т. е. хлоропластах и хромопластах. В хлоропластах каротиноиды главным образом связаны с белками и служат вспомогательными пигментами при фотосинтезе, тогда как в хромопластах они откладываются в кристаллической форме или в виде маслянистых капель [29].

Каротиноиды обуславливают желтый и оранжевый цвет многих фруктов и овощей. Интенсивность цвета зависит от количества сопряженных двойных связей и различных функциональных групп, содержащихся в их молекуле каротиноида [30]. И чем больше число сопряженных двойных связей, тем выше максимумы поглощения ($\lambda_{\max}$) [31]. В результате цвет тыквы, а также многих фруктов и овощей варьируется от желтого, красного до оранжевого. Кроме того, при созревании плодов может происходить их этерификация жирными кислотами, что может влиять на интенсивность окраски [32].

Большая часть каротиноидов встречается в растениях в виде транс-изомеров. Однако количество *цис*-изомеров может увеличиваться за счет изомеризации *транс*-изомеров каротиноидов во время обработки пищевых продуктов [33]. В некоторых исследованиях, посвященных анализу пищевых каротиноидов и их потенциальных изомеров, большое внимание уделялось их геометрической изомеризации [34]. Имеются данные о содержании каротиноидов в свежих, замороженных и консервированных продуктах [35].

На образование и изомеризацию каротиноидов влияет множество факторов. Прежде всего их изомеризации в пищевых продуктах способствуют температура, свет и структурные различия. Окислительная деградация каротиноидов (рис. 1 [по: 36]) может приводить к *цис*-транс-изомеризации и образованию их эпоксидов [37].

Анализ литературных данных показал, что *цис*-изомеры каротиноидов можно идентифицировать по характеристикам спектра поглощения и относи-

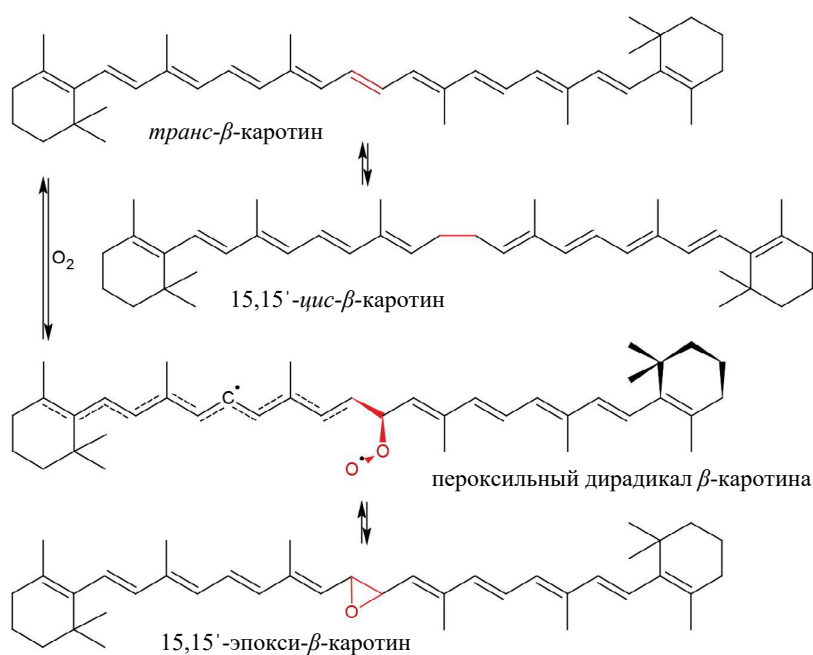


Рисунок 1. Механизм окислительной деградации каротиноидов на примере β -каротина [по: 36]

Figure 1. Oxidative degradation of carotenoids with β -carotene as an example [по: 36]

тельной интенсивности *цис*-пика. УФ-спектр *цис*-каротиноидов отличается их $\lambda_{\max}$ в диапазоне 330–350 нм [38] с наибольшей интенсивностью, когда двойная связь расположена вблизи или в центре хромофора [39]. При этом для *транс*-каротиноидов наблюдается гипсохромный сдвиг $\lambda_{\max}$ и меньший коэффициент экстинкции. В целом их *цис-транс*-изомеризация приводит к снижению интенсивности окраски [40, 41].

Обработка овощей повышает биодоступность каротиноидов, поскольку разрушает целлюлозную структуру растительной клетки. Экспериментальные исследования показывают, что более высокое потребление каротиноидов с пищей обеспечивает защиту от развития некоторых видов рака (например, легких, кожи, матки, шейки матки, желудочно-кишечного тракта), дегенерации желтого пятна, катаракты и других заболеваний, связанных с окислительными или свободными радикалами. Особая физиологическая активность этих соединений в организме человека как предшественников витамина А и антиоксидантов вызывает возрастающий интерес исследователей к определению их содержания в различных продуктах [42].

Вопросы сохранности каротиноидов тыквы в процессе переработки и динамика оптических характеристик продуктов из нее являются актуальными, а также основополагающими для потребителей, которым важно отсутствие сероватых и зеленоватых тонов, снижающих эстетическую привлекательность, в продуктах питания, полученных из мякоти тыквы. Анализ литературных источников показал, что исследований по изучению изменения цвета полуфабрикатов из мякоти тыквы в ходе технологических операций крайне мало. Цель настоящей работы – исследовать изменения оптических характеристик и содержание индивидуальных каротиноидов в пюре из мякоти тыквы в зависимости от ее сорта и способа получения пюре.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили свежие плоды тыквы урожая 2020–2023 гг. потребительской степени зрелости (без повреждений и признаков порчи) шести среднеспелых сортов:

- крупноплодная тыква из Свердловской области (Россиянка, Улыбка, Кустовая оранжевая) и Алтайского края (Грибовская зимняя, Зимняя сладкая);
- твердокорая тыква из Алтайского края (Алтайская 47).

В мякоти свежих плодов тыквы определяли содержание каротиноидов и показатели цвета для сравнения эффективности примененных способов получения полуфабриката – пюре.

Для проведения исследования подготовлены контрольные и опытные образцы пюре из мякоти тыквы.

Контрольные образцы получены традиционным способом высушивания: плоды тыквы промывали водопроводной водой, мякоть очищали от кожуры и семенной части, нарезами на куски размером 1×1 см.

Затем мякоть бланшировали в кипящей воде в течение 10 мин и протирали через сетку с размером отверстий 1,0 мм – образец К1. Тыквенное пюре высушивали в вакуумном сушильном шкафу Labtex LT-VO/50 (Россия) при температуре 60–80 °С на силиконовых ковриках при толщине слоя 5–7 мм до конечной влажности 4,5 % – образец К2.

Опытные образцы получены ферментализацией нативных полимеров мякоти тыквы: плоды промывали водопроводной водой, мякоть очищали от кожуры и семенной части и диспергировали в гомогенизаторе Witeg HG-15D (Witeg Labortechnik GmbH, Германия) при частоте вращения ротора 2000 об/мин. Диспергированное пюре подвергали ферментализации при 65 °С в течение 60 мин при использовании ферментных препаратов Амилолизин (ООО «Биопрепарат», Россия) и Протозим (ООО «Биопрепарат», Россия) в дозировках 25 ед. АС/г и 5 ед. ПС/г сырья соответственно – образец О1. Ферментализованное пюре высушивали в вакуумном сушильном шкафу Labtex LT-VO/50 (Россия) при температуре 60–80 °С на силиконовых ковриках при толщине слоя 5–7 мм до конечной влажности 4,5 % – образец О2.

Для исследования оптических характеристик полученных образцов пюре (предварительно все образцы доводили до содержания сухих веществ 10 % путем добавления питьевой воды) белые матовые пластины покрывали слоем продукта толщиной 5 мм и сглаживали поверхность силиконовым шпателем для исключения неровностей и образования теней. Затем с использованием цифровой фотокамеры Canon EOS 2000D Kit 18–55 mm DC (Canon, Китай) в белом боксе при цветовой температуре 6000 К делали снимки поверхности пюре. Далее снимки обрабатывали с применением открытого программного обеспечения ImageColorPicker для анализа изображений, позволяющего с использованием классического для фоторедакторов инструмента «пипетка» определить координаты цвета любой точки загруженного изображения в модели RGB. Затем при помощи цветового конвертера cielab.xyz определяли координаты цвета в трихроматических координатах XYZ.

Определение расчетных координат цвета L^* (светлота), a^* (красно-зеленая цветовая ось) и b^* (желто-синяя цветовая ось) осуществляли согласно рекомендациям ISO/CIE 11664-4:2019. Colorimetry. Part 4: CIE 1976 $L^*a^*b^*$ colour space, далее проводили оценку цветовых различий (ΔE) свежей мякоти контрольного и опытного образцов тыквенного пюре с использованием формулы:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

где ΔL^* – разница между светлотой образцов; Δa^* – между значениями координат цвета двух образцов по зелено-красной хроматической оси; Δb^* – по желто-синей хроматической оси.

Светлота пищевых продуктов как оптическая характеристика обуславливает их цвет от черного (значение светлоты равно 0) до белого (значение светлоты равно 100). Отрицательное значение цветовой координаты a^* свидетельствует о преобладании зеленого, положительное – красно-фиолетового цвета. Отрицательное значение цветовой координаты b^* говорит о преобладании синего, положительное – желтого [43].

На основании значений цветовых координат a^* и b^* рассчитывали индекс насыщенности цвета (*Luminance index, LI*), который отражает, насколько тусклым или ярким является продукт [44]:

$$LI = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

В соответствии с теорией цвета смешивание чистого оттенка с черным, белым или любым другим цветом снижает его насыщенность, которая представляет собой полярную координату, в отличие от декартовых координат a^* и b^* .

Угол оттенка тона (*Hue Angle, H°*) также является количественной характеристикой, позволяющей оценивать цвет фруктов и овощей, а также продуктов их переработки [45]:

$$H^\circ = \arctan\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3)$$

Угол оттенка тона показывает, насколько похож или отличается цвет изучаемого объекта от основных – красного, зеленого, синего и желтого. Угол меньший или равный 360° (0°) соответствует чистому красному оттенку, меньший или равный 90° – желтому, 180° – зеленому, 270° – синему.

Индекс потемнения (*Browning index, BI*, (безразмерная величина)), отражающий глубину процесса потемнения продукта, рассчитывали по формуле [46]:

$$BI = \frac{100(x - 0,31)}{0,17} \quad (4)$$

где

$$x = \frac{(a^* + 1,75L^*)}{(5,645L^* + a^* - 3,012b^*)} \quad (5)$$

Индивидуальные каротиноиды в исследуемых образцах продукции: виолаксантин (Sigma-Aldrich, CAS № 126-29-4), лютеин (Clearsynth, CAS № 127-40-2), α -каротин (Sigma-Aldrich, CAS № 7488-99-5), *транс*- β -каротин (Sigma-Aldrich, CAS № 7235-40-7), *цис*- β -каротин (9-*cis*- β -Carotene, GlpBio Technology, CAS № 13312-52-2) – анализировали методом обращенно-фазовой ВЭЖХ с использованием хроматографа Waters с диодно-матричным детектором (Waters 2996) (Waters Corporation, США). Каротиноиды разделяли с помощью двух последовательно установленных колонок 150×4.6-nm RP C18, 3- μ m Nucleosyl (Interchim, Montlucon, Франция) и 250×4.6-nm RP C18, 5- μ m Vydac TP54 (Hesperia, США). Подвижная фаза

состояла из ацетонитрила, дихлорметана, метанола (содержащий 50 мМ ацетата аммония) и воды в соотношении 70:10:15:5 (по объему) соответственно. В качестве аналитической пробы использовали каротиноидсодержащий экстракт мякоти свежих плодов тыквы, опытных и контрольных образцов пюре. Экстракт готовили растиранием известной массы навески образца с небольшим количеством воды под слоем н-гексана. Затем его отбирали из ступки и переносили на воронку с фильтровальной бумагой. К твердому остатку добавляли новую порцию экстрагента. Экстракцию повторяли до получения бесцветной порции экстракта. Все порции экстракта объединяли, растворитель удаляли на вакуумном ротационном испарителе Stegler RI-213 (Россия). Остаток растворяли в известном объеме подвижной фазы для ВЭЖХ-определения каротиноидов. Далее раствор пропускали через насадочный фильтр в вials, перенося их в ячейки автодозатора хроматографа. Каротиноиды детектировали при 450 нм, идентифицировали по времени удерживания и спектральному анализу (от 300 до 550 нм), в сравнении с чистыми стандартами индивидуальных каротиноидов.

При составлении общего механизма неферментативного и ферментативного окисления каротиноидов в процессе производства и хранения пищевой продукции использовали методы поиска и скрининга научной литературы, извлечение данных и их анализ, систематизацию и обобщение.

Все экспериментальные исследования проводили в пятикратной повторности, результаты представляли как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение ($M \pm m$). Статистическую обработку результатов выполняли с использованием пакета Statistica 10. Для оценки изменений рассматриваемых показателей качества в процессе производства использовали двухфакторный дисперсионный анализ (независимые переменные – технология получения продукции, сорт тыквы), сравнение средних значений – тест Тьюки ($p < 0,05$), корреляционный анализ (между оптическими характеристиками продукции и содержанием в ней индивидуальных каротиноидов); сила влияния – метод Снедекора ($p < 0,05$).

Результаты и их обсуждение

На первом этапе работы проводили исследования цвета и цветовых различий по цветовым координатам пюре из тыквы (табл. 2–4, рис. 2–4).

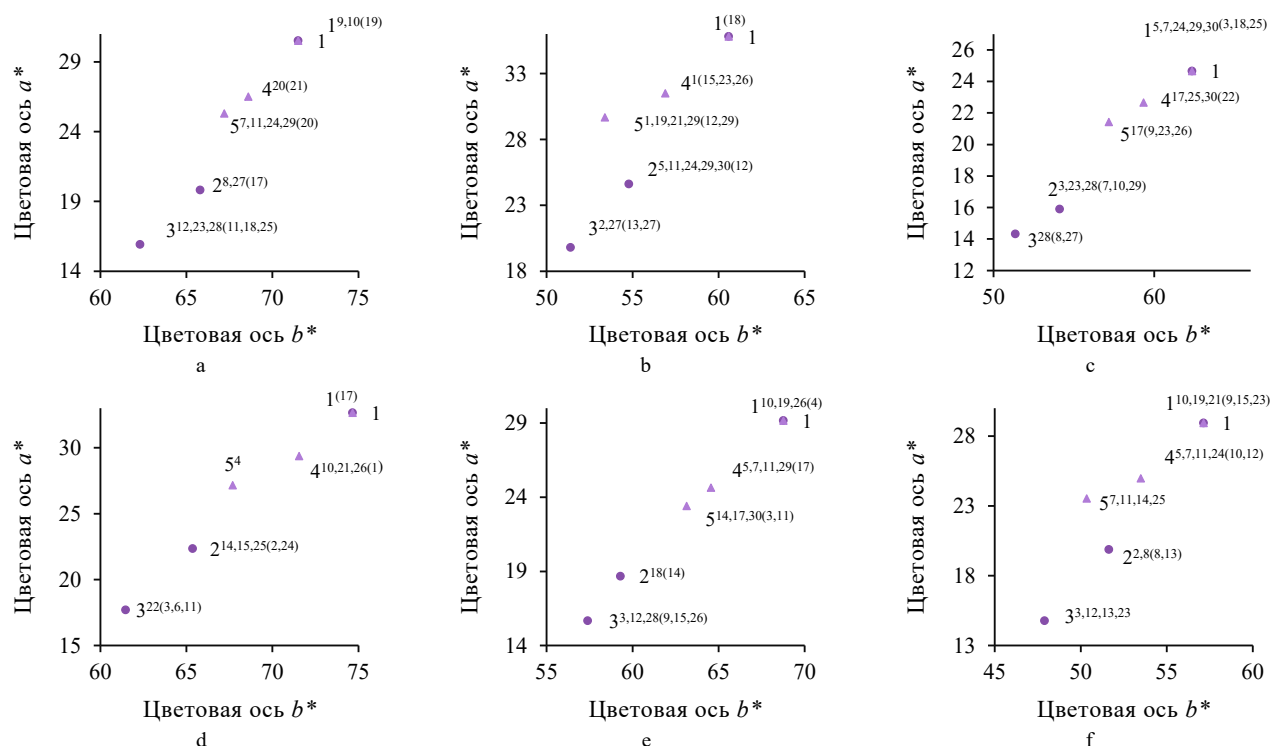
Из данных таблицы 2 видно, что показатели светлоты исследуемых образцов продукции имели в основном значимые различия ($p < 0,05$). На изменение показателя светлоты оказывали влияние все исследуемые факторы – сорт, технология и взаимодействие «сорт × технология» (сила влияния 71,6; 28,0 и 0,3 % соответственно, $p < 0,01$). Лучшими показателями светлоты отличались образцы из тыквы сортов Улыбка (K1, K2, O2 – сохранность 92,2; 89,8 и 92,7 % соответственно),

Таблица 2. Значение показателя светлоты пюре из тыквы (L^* , lightness) ($M \pm m$, $n = 5$)Table 2. Lightness index L^* of pumpkin puree ($M \pm m$, $n = 5$)

Сорт тыквы	Мякоть свежих плодов	Образцы			
		K1	K2	O1	O2
Россиянка (¹⁻⁵)	$78,19 \pm 0,65^9$	$70,34 \pm 0,47^{14}$	$68,55 \pm 0,43^{15,16,29}$	$74,60 \pm 0,37^{7,10,11}$	$72,12 \pm 0,19^{8,14,26}$
Улыбка (⁶⁻¹⁰)	$81,19 \pm 1,50$	$74,88 \pm 0,47^{4,10,11}$	$72,96 \pm 0,46^{5,26}$	$77,55 \pm 0,29^1$	$75,27 \pm 0,36^{4,7,11}$
Грибовская зимняя (¹¹⁻¹⁵)	$74,84 \pm 0,72^{4,7,10}$	$65,62 \pm 0,78^{27}$	$61,04 \pm 0,50^{17,20,28}$	$71,42 \pm 0,37^{2,5}$	$68,56 \pm 0,40^{3,16,29}$
Зимняя сладкая (¹⁶⁻²⁰)	$67,61 \pm 0,71^{3,15,27,29}$	$60,36 \pm 0,62^{13,20}$	$56,71 \pm 0,54^{22}$	$63,96 \pm 0,37^{30}$	$60,70 \pm 0,44^{13,17}$
Алтайская 47 (²¹⁻²⁵)	$62,49 \pm 0,60^{28}$	$55,95 \pm 0,82^{18,25}$	$50,91 \pm 0,43$	$58,84 \pm 0,39$	$55,36 \pm 0,59^{22}$
Кустовая оранжевая (²⁵⁻³⁰)	$72,85 \pm 1,41^{5,8}$	$66,60 \pm 0,62^{12,16}$	$61,92 \pm 0,35^{13,21}$	$68,79 \pm 0,39^{3,15,16}$	$64,48 \pm 0,26^{19}$

Примечание: Различия средних значений с разными надстрочными индексами не существенны ($p < 0,05$).

Note: Mean values with different superscripts are not significant ($p < 0.05$).



1 – цветовые координаты, соответствующие цвету мякоти свежих плодов тыквы; 2 – цветовые координаты, соответствующие цвету образца K1; 3 – цветовые координаты, соответствующие цвету образца K2; 4 – цветовые координаты, соответствующие цвету образца O1; 5 – цветовые координаты, соответствующие цвету образца O2

Различия средних значений цветовой координаты a^* в точках с разными надстрочными индексами не существенны ($p < 0,05$); различия средних значений цветовой координаты b^* в точках с разными надстрочными индексами в скобках не существенны ($p < 0,05$)

Рисунок 2. Цветовые координаты a^* и b^* образцов пюре из различных сортов тыквы: а – Россиянка; б – Улыбка; с – Кустовая оранжевая; д – Грибовская зимняя; е – Зимняя сладкая; ф – Алтайская 47

Figure 2. Color coordinates a^* and b^* in puree samples of different pumpkin cultivars: а – Rossiyanka; б – Ulybka; с – Kustovaya Oranzhevaya; д – Gribovskaya Zimnaya; е – Zimnaya Sladkaya; and ф – Altaiskaya 47

Россиянка (O1 – сохранность 95,6 %). Худшие показатели отмечены у образцов из сортов Грибовская зимняя (K1 – сохранность 87,7 %), Алтайская 47 (K2, O1 – сохранность 81,5 и 94,2 % соответственно), Кустовая оранжевая (O2 – сохранность 88,4 %). Продукция, полученная по технологии с ферментализмом сырья,

отличалась лучшими показателями светлоты (в среднем 92,85 %), чем без него (в среднем 87,6 %).

На рисунке 2 представлены цветовые координаты a^* и b^* (в системе оценки цвета CIE Lab) исследуемых образцов, которые свидетельствуют о том, что на смещение их цветовых координат в сине-зеленую

область спектра оказывали влияние сорт тыквы, технология получения продукции и взаимодействие «сорт × технология» – сила влияния на цветовые координаты a^* составила 19,7; 79,9 и 0,3 % соответственно, b^* – 69,1; 30,1 и 0,4 % соответственно ($p < 0,01$).

Наименьшие изменения цветовых координат a^* отмечены у образцов из тыквы сортов Улыбка (K1 – сохранность 68,8 %), Кустовая оранжевая (K2, O1, O2 – сохранность 58,2; 91,8 и 86,8 % соответственно). Худшие значения цветовых координат a^* зафиксированы у образцов из тыквы сортов Зимняя сладкая (K1, O1, O2 – сохранность 64,1; 84,5 и 80,3 % соответственно), Алтайская 47 (K2 – сохранность 51,1 %).

Наименьшие изменения цветовых координат b^* отмечены у образцов из тыквы сорта Россиянка (K1, K2, O1 и O2 – сохранность 92,1; 87,1; 96,1 и 94,0 % соответственно), наибольшие – у образцов из тыквы сортов Зимняя сладкая (K1 – сохранность 86,2 %), Грибовская зимняя (K2 – сохранность 82,3 %), Алтайская 47 (O1 и O2 – сохранность 93,6 и 88,1 % соответственно).

Продукция, полученная по технологии с ферментализмом сырья, отличалась меньшими изменениями цветовых координат a^* (O1 и O2 – сохранность 87,9 и 82,8 % соответственно), чем без него (K1 и K2 – сохранность 66,7 и 54,0 % соответственно). Аналогичную тенденцию отметили и для изменений цветовых координат b^* – сохранность для K1, K2, O1 и O2 составила 88,9; 84,0; 94,8 и 90,9 % соответственно.

Из экспериментальных данных (рис. 3) видно, что на значение показателя цветового различия в основном оказывала воздействие технология получения пюре из тыквы (сила влияния 98,6 %, $p < 0,01$), а не сорт сырья

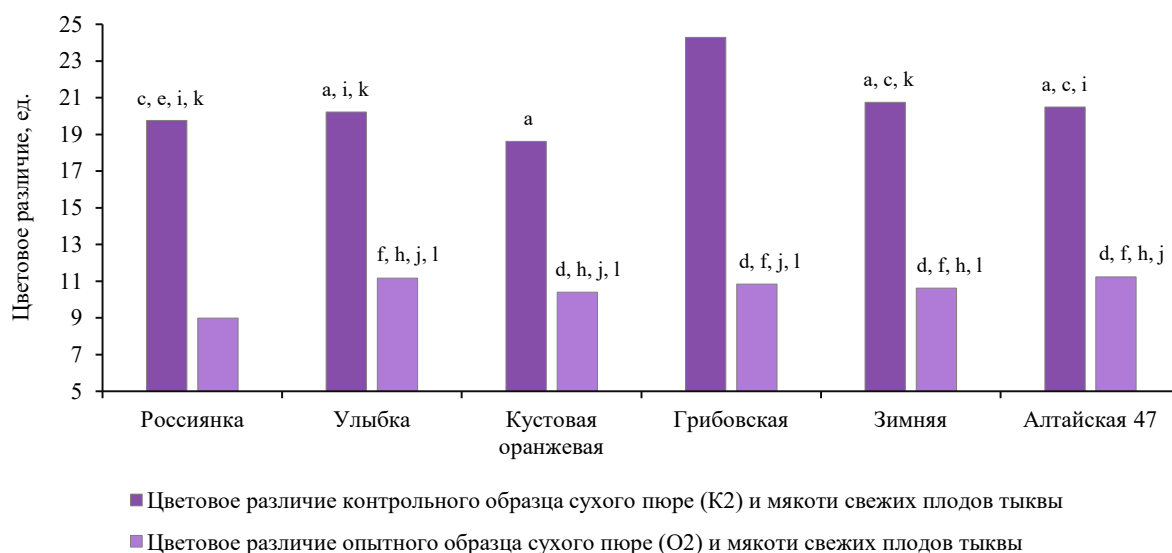
или взаимодействие «сорт × технология» (сила влияния 0,8 и 0,5 % соответственно, $p < 0,01$). Наименьшие потери значений показателя отмечены у образцов из тыквы сорта Кустовая оранжевая (43,9 %), а наибольшие – сорта Грибовская зимняя (55,2 %). Значения показателя у продукции, полученной по технологии с ферментализмом сырья, практически в 2 раза выше, чем без него.

Высокие значения показателя насыщенности цвета (рис. 4) свидетельствуют о том, что доминирующие цвета мякоти тыквы – желтый и красный – являются чистыми и интенсивными.

Статистический анализ данных показал, что технология получения сухого пюре из тыквы оказывала значительное влияние на насыщенность цвета, сорт – гораздо меньше, и минимально влияло взаимодействие «сорт × технология» – сила влияния 72,9; 26,9 и 0,2 % соответственно ($p < 0,01$). Наибольшие потери насыщенности цвета отмечены у образцов из сортов Алтайская 47 (K2 – 21,7 %) и Улыбка (O2 – 13,2 %), а наименьшие – из сорта Россиянка (K1 и O2 – 17,3 и 7,6 % соответственно). Продукция, полученная по технологии с ферментализмом сырья, отличалась меньшими изменениями насыщенности цвета (O2 – сохранность 89,5 %), чем без него (K2 – сохранность 79,5 %).

Из данных таблицы 3 следует, что результаты смещения угла оттенка цвета исследуемых образцов сухой продукции из красно-желтой области в желтую имели в основном значимые различия ($p < 0,05$).

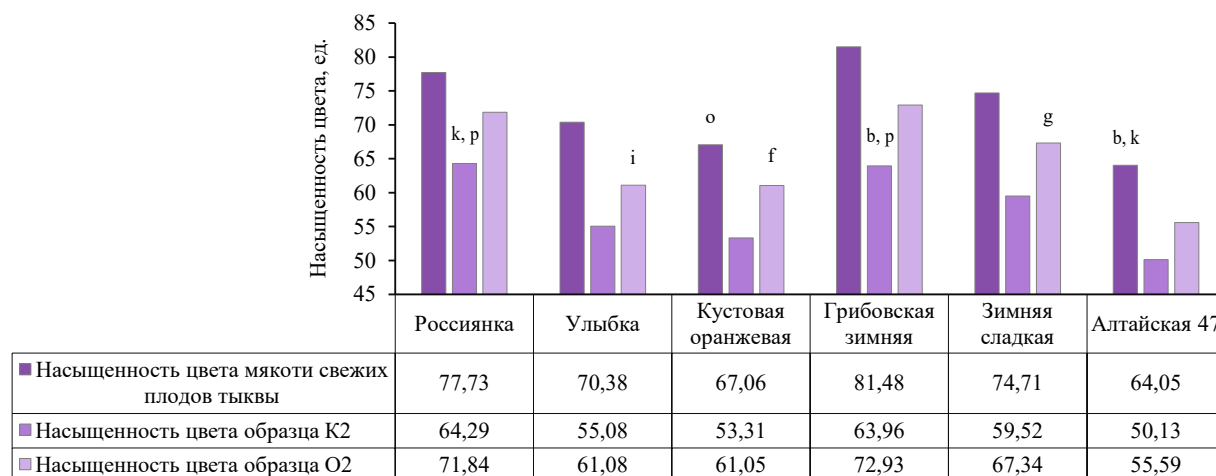
На значение угла оттенка цвета продукции оказывали существенное влияние сорт тыквы, технология получения пюре и взаимодействие «сорт × технология»



Различия средних значений с разными надстрочными индексами не существенны ($p < 0,05$): Россиянка – a,b; Улыбка – c,d; Кустовая оранжевая – e,f; Грибовская зимняя – g,h; Зимняя сладкая – i,j; Алтайская 47 – k,l

Рисунок 3. Цветовые различия сухого пюре и мякоти свежих плодов тыквы

Figure 3. Color differences between dry and fresh pumpkin pulp



Значение насыщенности цвета в столбцах с разными надстрочными индексами не существенны ($p < 0,05$)

Рисунок 4. Насыщенность цвета сухого пюре из тыквы

Figure 4. Color saturation of dry pumpkin pulp

Таблица 3. Значение угла оттенка цвета сухого пюре из тыквы ($n = 5$)

Table 3. Hue angle of dry pumpkin pulp ($n = 5$)

Сорт тыквы	Угол оттенка тона, °		
	K2	O2	Мякоть свежих плодов
Россиянка (^{a-c})	75,72	69,40 ^{dhn}	66,93 ^{lo}
Улыбка (^{d-f})	68,97 ^{bhi}	60,97	59,46
Кустовая оранжевая (^{g-i})	74,46 ^{jm}	69,51 ^{bdn}	68,47 ^{dk}
Грибовская зимняя (^{j-l})	73,98 ^g	68,17 ⁱ	66,41 ^{co}
Зимняя сладкая (^{m-o})	74,77 ^g	69,69 ^{bh}	67,06 ^{cl}
Алтайская 47 (^{p-r})	72,89	64,98	63,17

Примечание: Различия средних значений с разными надстрочными индексами не существенны ($p < 0,05$).

Note: The differences in mean values with different superscripts are not significant ($p < 0.05$).

Таблица 4. Индекс потемнения сухого пюре из тыквы ($n = 5$)

Table 4. Browning index of dry pumpkin pulp ($n = 5$)

Сорт тыквы	Индекс потемнения		
	K2	O2	Нативная мякоть
Россиянка (^{a-c})	205,1	201,3	188,9
Улыбка (^{d-f})	153,5	140,9	131,1
Кустовая оранжевая (^{g-i})	188,1	178,5	162,7
Грибовская зимняя (^{j-l})	235,6	231,2	229,2
Зимняя сладкая (^{m-o})	251,2	243,6	232,6
Алтайская 47 (^{p-r})	205,8	204,6	201,9

Примечание: Различия средних значений с разными надстрочными индексами не существенны ($p < 0,05$).

Note: The differences in mean values with different superscripts are not significant ($p < 0.05$).

(сила влияния 19,9; 79,9 и 0,5 % соответственно, $p < 0,01$). Наибольшие изменения угла оттенка цвета продукции отмечены у образцов из сортов Улыбка (K2 – на 16,0 %) и Зимняя сладкая (O2 – на 3,9 %), наименьшие – у образцов из сорта Кустовая оранжевая (K2 и O2 – на 8,8 и 1,5 % соответственно). Продукция, полученная по технологии с ферментализмом сырья, отличалась меньшим изменением угла оттенка цвета, чем без него – 2,9 и 12,6 % соответственно.

Согласно данным таблицы 4, при переработке тыквы в сухое пюре, независимо от применяемого способа, происходило увеличение значения индекса потемнения продукта – сила влияния сорта тыквы, технологии получения пюре и взаимодействия «сорт × технология» соответственно 91,4; 8,1 и 0,5 % ($p < 0,01$). Наибольшие изменения индекса потемнения отмечены у образцов из сортов Улыбка (K2 – на 17,1 %) и Кустовая оранжевая (O2 – на 9,7 %), наименьшие – у образцов из сортов Алтайская 47 (K2 – на 1,9 %) и Грибовская зимняя (O2 – на 0,9 %). Опытные образцы тыквенного пюре, полученные с использованием ферментализма, имели меньший прирост данного показателя, чем без него – 4,7 и 8,1 % соответственно.

Аналогичные наблюдения различий цвета пюре из тыквы в зависимости от используемых сортов сырья и технологии получения продукции согласуются с результатами исследований других авторов [47–50]. Изменения цвета могли вызываться как особенностями сырья, так и происходящими в процессе изготовления пюре окислительными реакциями, ферментативной активностью и изомеризацией β -каротина.

На следующем этапе проведены исследования индивидуальных каротиноидов, содержащихся в пюре из тыквы (табл. 5, рис. 5).

Таблица 5. Содержание индивидуальных каротиноидов в пюре из тыквы ($M \pm m$, $n = 5$)Table 5. Carotenoid content in dry pumpkin pulp ($M \pm m$, $n = 5$)

Сорт тыквы	Массовая доля индивидуальных каротиноидов, мкг/г сухого вещества				
	Мякоть свежих плодов	Образцы			
		K1	K2	O1	O2
Виолосантин					
Россиянка (¹⁻⁵)	0,888 ± 0,007	0,053 ± 0,004 ¹²	0,032 ± 0,005 ⁸	0,213 ± 0,006 ¹⁴	0,143 ± 0,003 ¹⁷
Улыбка (⁶⁻¹⁰)	0,413 ± 0,003 ³⁰	0,068 ± 0,003 ¹²	0,037 ± 0,007 ³	0,186 ± 0,008 ^{10,15,27,28}	0,173 ± 0,011 ^{9,27}
Кустовая оранжевая (¹¹⁻¹⁵)	0,275 ± 0,006 ^{19,22}	0,057 ± 0,003 ^{2,7}	0,091 ± 0,008	0,215 ± 0,007 ⁴	0,196 ± 0,004 ^{9,28}
Грибовская зимняя (¹⁶⁻²⁰)	0,372 ± 0,006 ²⁵	0,152 ± 0,006 ⁵	0,113 ± 0,002	0,282 ± 0,001 ^{11,22}	0,312 ± 0,005 ²³
Зимняя сладкая (²¹⁻²⁵)	0,642 ± 0,009	0,272 ± 0,004 ^{11,19}	0,313 ± 0,002 ²⁰	0,487 ± 0,001	0,362 ± 0,002 ¹⁶
Алтайская 47 (²⁶⁻³⁰)	0,554 ± 0,009	0,177 ± 0,006 ^{9,10}	0,192 ± 0,003 ^{9,15}	0,383 ± 0,004	0,416 ± 0,002 ⁶
Лютеин					
Россиянка (¹⁻⁵)	0,736 ± 0,003 ^{5,27}	0,614 ± 0,008	0,647 ± 0,009	0,717 ± 0,011 ^{5,28}	0,727 ± 0,008 ^{1,4,27,28}
Улыбка (⁶⁻¹⁰)	1,128 ± 0,009	0,861 ± 0,009 ³⁰	0,892 ± 0,009	1,067 ± 0,012	1,084 ± 0,007
Кустовая оранжевая (¹¹⁻¹⁵)	1,643 ± 0,010 ²²	1,233 ± 0,006	1,196 ± 0,004	1,482 ± 0,008	1,537 ± 0,005 ¹⁷
Грибовская зимняя (¹⁶⁻²⁰)	1,861 ± 0,008	1,543 ± 0,011 ¹⁵	1,624 ± 0,009	1,691 ± 0,008	1,743 ± 0,007
Зимняя сладкая (²¹⁻²⁵)	2,148 ± 0,011	1,646 ± 0,008 ¹¹	1,787 ± 0,004	1,982 ± 0,003	1,911 ± 0,004
Алтайская 47 (²⁶⁻³⁰)	1,115 ± 0,007	0,744 ± 0,016 ^{1,5}	0,711 ± 0,007 ^{4,5}	0,831 ± 0,005	0,869 ± 0,003 ⁷
<i>α</i> -каротин					
Россиянка (¹⁻⁵)	16,248 ± 0,057 ^{3-5,11-15,17-19,22-25,27,28}	15,119 ± 0,034 ^{12,18,22}	15,183 ± 0,027 ^{1,4,5,12-15,17,18,22,23,27,28}	15,803 ± 0,031 ^{1,3,5,11-15,17-19,22-25,27,28}	15,942 ± 0,024 ^{1,3,4,11-15,17-19,22-25,27,28}
Улыбка (⁶⁻¹⁰)	21,461 ± 0,041 ^{9,10,16,26}	18,696 ± 0,029 ^{15,19-21,24,25,28-30}	18,633 ± 0,033 ^{7,11,15,19-21,24,25,28-30}	20,622 ± 0,034 ^{6,7,10,16,20,26,29}	20,982 ± 0,047 ^{6,9,16,26}
Кустовая оранжевая (¹¹⁻¹⁵)	17,688 ± 0,024 ^{1,4,5,7,8,14,15,17,19-21,24,25,27-30}	14,691 ± 0,041 ^{1-5,13,14,17,18,22,23,27}	15,237 ± 0,039 ^{1,3-5,12,14,15,17,18,22,23,27,28}	16,547 ± 0,051 ^{1,3-5,11-13,15,17,19,22-25,27,28,30}	16,943 ± 0,036 ^{1,2-5,7,8,11,13,14,17,19-21,23-25,27-30}
Грибовская зимняя (¹⁶⁻²⁰)	21,457 ± 0,036 ^{6,9,10,27}	16,374 ± 0,027 ^{1,3-5,11-15,19,22-25,27-30}	14,277 ± 0,034 ^{1-5,12,13,22,23}	17,547 ± 0,031 ^{1,4,5,7,8,11,14,15,17,20,21,24,25,27-30}	18,697 ± 0,042 ^{7-9,11,15,19,22,24,25,28-30}
Зимняя сладкая (²¹⁻²⁵)	18,743 ± 0,021 ^{7,8,11,15,19,20,24,25,28-30}	14,627 ± 0,039 ^{1-5,12-14,17,18,23,15}	15,042 ± 0,028 ^{1,3-5,12,15,17,18,22,27,28}	17,312 ± 0,028 ^{1,4,5,7,8,11,14,15,17,19-21,25,27-30}	17,694 ± 0,033 ^{1,4,5,7,8,11,14,15,17,19,21,24,27-30}
Алтайская 47 (²⁶⁻³⁰)	21,626 ± 0,023 ^{6,9,10,16}	16,426 ± 0,057 ^{1,3-5,11-15,17,19,22,25,28,30}	16,893 ± 0,039 ^{1,3-5,7,8,11,13-15,17,19-21,23-26,27,29,30}	18,672 ± 0,033 ^{7-9,11,15,19-21,24,25,28,30}	18,235 ± 0,025 ^{7,8,11,14,15,17,19-21,24,25,27-30}
<i>транс-β</i> -каротин					
Россиянка (¹⁻⁵)	28,32 ± 0,036	22,422 ± 0,029 ²⁶	17,848 ± 0,032	25,938 ± 0,027	25,328 ± 0,046
Улыбка (⁶⁻¹⁰)	26,036 ± 0,054	21,847 ± 0,037	22,597 ± 0,024 ¹⁶	23,877 ± 0,039	24,149 ± 0,032
Кустовая оранжевая (¹¹⁻¹⁵)	19,831 ± 0,031	12,568 ± 0,038 ²²	13,882 ± 0,042	17,661 ± 0,024	17,312 ± 0,041 ²⁷
Грибовская зимняя (¹⁶⁻²⁰)	22,666 ± 0,024	19,051 ± 0,039 ²⁹	18,932 ± 0,027	21,592 ± 0,042	21,442 ± 0,021
Зимняя сладкая (²¹⁻²⁵)	16,679 ± 0,038	12,638 ± 0,041 ¹²	12,371 ± 0,034	15,467 ± 0,034	14,377 ± 0,021
Алтайская 47 (²⁶⁻³⁰)	22,392 ± 0,047 ²	17,231 ± 0,031 ¹⁵	16,777 ± 0,022	19,066 ± 0,042 ¹⁷	20,182 ± 0,031
<i>цис-β</i> -каротин					
Россиянка (¹⁻⁵)	—	0,256 ± 0,007	0,692 ± 0,009 ¹⁸	0,043 ± 0,006 ^{19,24}	0,345 ± 0,003 ²⁵
Улыбка (⁶⁻¹⁰)	—	0,362 ± 0,008	0,982 ± 0,003	0,086 ± 0,002 ¹⁴	0,582 ± 0,006
Кустовая оранжевая (¹¹⁻¹⁵)	—	0,425 ± 0,008 ¹⁵	0,765 ± 0,006	0,083 ± 0,003 ⁹	0,417 ± 0,006 ¹²
Грибовская зимняя (¹⁶⁻²⁰)	—	0,152 ± 0,009 ²⁹	0,682 ± 0,008 ³	0,053 ± 0,006 ^{4,24}	0,477 ± 0,006
Зимняя сладкая (²¹⁻²⁵)	—	0,273 ± 0,009	0,776 ± 0,002	0,052 ± 0,003 ^{4,19}	0,343 ± 0,006 ⁵
Алтайская 47 (²⁶⁻³⁰)	—	0,392 ± 0,008	0,842 ± 0,004	0,152 ± 0,003 ¹⁷	0,554 ± 0,004

Примечание: Различия средних значений с разными надстрочными индексами не существенны ($p < 0,05$).Note: The differences in mean values with different superscripts are not significant ($p < 0.05$).

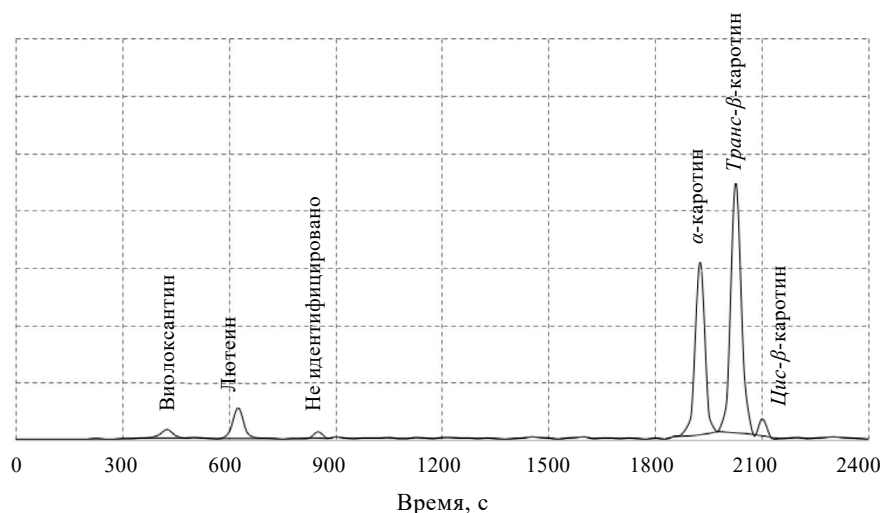


Рисунок 5. Результаты ВЭЖХ-анализа каротиноидсодержащего экстракта мякоти свежих плодов тыквы

Figure 5. HPLC analysis of carotenoid-containing extract of fresh pumpkin pulp

Содержание индивидуальных каротиноидов в пюре из тыквы различалось в зависимости от сорта и технологии получения (табл. 5). Сила влияния сорта тыквы, технологии получения, взаимодействия «сорт × технология» соответственно ($p < 0,01$): виолксантин – 21,9; 72,4 и 5,7 %; лютеин – 93,1; 3,8 и 3,1 %; α -каротин – 47,2; 50,1 и 2,3 %; *транс*- β -каротин – 69,6; 29,2 и 1,2 %; *цис*- β -каротин – 2,8; 96,5 и 0,7 %.

Наибольшее количество виолксантина содержалось в образцах пюре из тыквы сортов Зимняя сладкая (К1 и К2 – сохранность от первоначального количества 42,2 и 48,6 % соответственно) и Грибовская зимняя (О1 и О2 – 78,0 и 86,4 % соответственно); α -каротина – из сортов Улыбка (К1 – сохранность 93,4 %) и Россиянка (К2, О1 и О2 – сохранность 93,4; 97,2 и 98,1 % соответственно); *транс*- β -каротина – из сортов Грибовская зимняя (К1, О1 и О2 – сохранность 84,0; 95,3 и 94,6 % соответственно) и Улыбка (К2 – сохранность 86,8 %). Наименьшее количество виолксантина было отмечено в пюре из тыквы сорта Россиянка (К1, К2, О1 и О2 – сохранность 5,9, 3,6, 24,0 и 16,2 % соответственно); α -каротина – сортов Алтайская 47 (К1 и О2 – сохранность 76,0 и 84,7 % соответственно) и Грибовская зимняя (К2 и О1 – сохранность 66,5 и 81,8 % соответственно); *транс*- β -каротина – сортов Кустовая оранжевая (К1 – сохранность 63,4 %), Россиянка (К2 – сохранность 63,0 %), Алтайская 47 (О1 – сохранность 85,1 %) и Зимняя сладкая (О2 – сохранность 86,1 %). Следует отметить, что содержание лютеина при переработке тыквы сорта Улыбка увеличилось в 6,6; 6,9; 8,2 и 8,4 раз от первоначального количества у образцов К1, К2, О1 и О2 соответственно, при этом у других сортов снизилось. Наибольшие потери отмечены в пюре из тыквы сорта Алтайская 47 (К1, К2, О1 и О2). В свежем пюре из тыквы отсутствовал *цис*- β -каротин, но в процессе технологиче-

ской переработки он образовывался – наибольшее количество отмечено у образцов из сортов Кустовая оранжевая (К1), Улыбка (К2 и О2), Алтайская 47 (О1), а наименьшее – из сортов Грибовская зимняя (К1 и К2), Россиянка (О1) и Зимняя сладкая (О2).

Больше виолксантина, α -каротина и *транс*- β -каротина содержалось в пюре из тыквы, полученного по технологии с ферментализмом сырья, чем без него – в среднем в 2,2; 1,1 и 1,2 раза соответственно. При изготовлении продукции по технологии без ферментализма сырья отмечены потери лютеина (в среднем 75,1 %), с ферментализмом сырья – увеличение *цис*- β -каротина (в среднем на 2,5 %). При этом продукция, полученная по технологии без ферментализма тыквы, содержала в среднем в 2,1 раза больше *цис*- β -каротина, чем с ним.

Экспериментальные данные о снижении / увеличении / образовании индивидуальных каротиноидов в пюре из тыквы, обусловленные сортовыми особенностями сырья (местом локализации, количеством окислительных ферментов и др.), технологией его переработки (количество и продолжительность технологических операций, температура и др.), окислительной деградацией, изомеризацией каротиноидов и др., согласуются с данными других авторов [51–54].

Установлены значимые положительные тесные корреляционные зависимости между содержанием *транс*- β -каротина в пюре из тыквы и изменениями светлоты / цветовых координат a^* ($r = 0,72$ и $r = 0,71$ соответственно, $p < 0,05$), виолксантина и изменениями цветовых координат a^* и b^* ($r = 0,56$ и $r = 0,38$ соответственно, $p < 0,05$), α -каротина и изменениями цветовых координат a^* ($r = 0,76$, $p < 0,05$). Отрицательные тесные корреляционные зависимости выявлены между содержанием *цис*- β -каротина и изменениями светлоты / цветовых координат a^* и b^* ($r = -0,44$, $r = -0,72$ и $r = 0,60$ соответственно, $p < 0,05$).

Значимые связи отсутствовали между содержанием виолоксантина и изменениями светлоты, α -каротина и изменениями светлоты / цветовых координат b^* , $\text{транс-}\beta$ -каротина и изменениями цветовых координат b^* . Следует отметить отсутствие существенных корреляционных зависимостей между содержанием лютеина и исследуемых показателей цвета.

Анализ литературы показал, что стабильность каротиноидов различается в разных продуктах питания, несмотря на одинаковые условия обработки и хранения [55, 56]. Основными причинами потери каротиноидов во время переработки сырья и хранения продуктов питания являются процессы ферментативного и неферментативного окисления.

Наличие в составе растительного сырья окислительных ферментов может привести к существенной потере каротиноидов, однако использование в большинстве технологий высокотемпературной стабилизации (пастеризация, стерилизация) влечет за собой их инактивацию. Окисление каротиноидов, катализируемое ферментами, происходит до тепловой обработки, во время очистки, нарезки и варки. Оно также может происходить в минимально обработанных и небланшированных замороженных продуктах во время размораживания [57, 58].

Рассматривая механизмы неферментативного окисления каротиноидов необходимо отметить, что *цис-транс*-изомеризация, стимулируется не только температурой и светом, но и наличием в среде кислот, содержание которых возрастает при механической травматизации клеток сырья. В данном эксперименте показано, что высокая температура бланширования при получении тыквенного пюре приводит к интенсивной изомеризации β -каротина (табл. 5). В работе A. Schieber и R. Carle представлены последствия появления *цис*-изомеров каротиноидов в пище: технологические – необходимость в разработке новых технологий, препятствующих изомеризации каротиноидов; аналитические – развитие методов контроля содержания *цис*-изомеров и степени изомеризации каротиноидов; пищевые – вопросы безопасности, биодоступности, антиоксидантных свойств [59]. *Цис-транс*-изомери-

зация каротиноидов обуславливает потерю цвета пищевых систем и способности гасить синглетный кислород [60], а также является причиной изменений биодоступности и метаболизма каротиноидов. Не зависимо от протекающей *цис-транс*-изомеризации (рис. 1) каротиноиды (например, лютеин, $\text{транс-}\beta$ -каротин, α -каротин) в пищевых матрицах / системах подвергаются реакциям автоокисления, которые первоначально включают в себя образование эпоксидов, расщепляющихся до апокаротиналей с последующим гидроксильрованием [57]. Дальнейшая фрагментация гидроксикаротиноидов приводит к образованию ряда низкомолекулярных летучих соединений (в основном альдегидов, кетонов, спиртов, различных углеводородов, производных фурана и пирана) [61–63]. Стоит отметить, что новообразованные летучие соединения напрямую участвуют в образовании вкусоароматического профиля пищевого продукта, поскольку зачастую обладают низкими порогами сенсорной чувствительности. В общем виде пути деградации каротиноидов в составе пищевых систем можно представить в виде схемы (рис. 6).

Представленный механизм отражает взаимосвязь между химическими и физическими процессами, протекающими на разных технологических этапах переработки каротиноидсодержащего сырья и влияющими на трансформацию каротиноидов в пищевых системах.

Выводы

Сорт тыквы, используемый при изготовлении пюре, оказывал основное влияние на показатели цвета (светлоту, цветовую координату b^* , индекс потемнения), содержание лютеина и $\text{транс-}\beta$ -каротина (сила влияния от 69,1 до 93,1 %, $p < 0,01$), технология – на показатели цветовой координаты a^* , цветовое различие, насыщенность и угол оттенка тона, содержание виолоксантина, α -каротина и *цис-}\beta*-каротина (сила влияния от 72,4 до 98,6 %, $p < 0,01$).

Выявлены значимые прямые тесные корреляционные зависимости между содержанием $\text{транс-}\beta$ -каротина в пюре из тыквы и изменениями светлоты / цветовых координат a^* , виолоксантина и изменениями

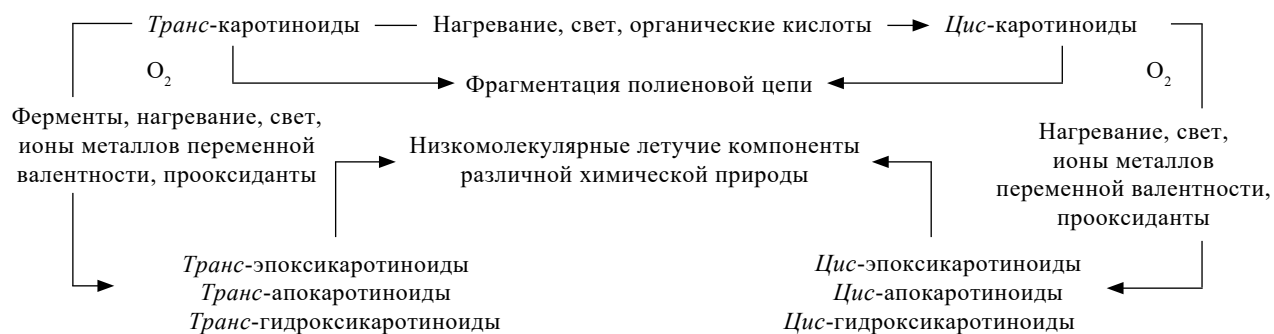


Рисунок 6. Общий механизм неферментативного и ферментативного окисления каротиноидов в составе пищевых систем

Figure 6. General mechanism of non-enzymatic and enzymatic oxidation of carotenoids in food systems

цветовых координат a^* и b^* , α -каротина и изменениями цветовых координат a^* , а также обратные тесные корреляционные зависимости между содержанием *цис*- β -каротина и изменениями светлоты / цветовых координат a^* / b^* .

Образцы сухого пюре, полученные путем ферментализации (препаратами Амилоризин и Протозим), по сравнению с традиционным способом, характеризовались лучшими значениями показателей светлоты (в 1,05 раза), меньшими изменениями цветовых координат a^* и b^* (в 1,41 и 1,02 раза соответственно), насыщенности цвета (в 1,13 раза), большим содержанием виолоксантина (в 2,16 раза), лютеина (в 1,16 раза), α -каротина (в 1,14 раза) и *транс*- β -каротина (в 1,18 раз), но меньшим – *цис*- β -каротина (в 2,07 раза). Наилучшими сортами тыквы для изготовления пюре по оптическим характеристикам являлись Россиянка, Улыбка и Кустовая оранжевая, а по содержанию индивидуальных каротиноидов – Улыбка, Грибовская зимняя, Россиянка, Зимняя сладкая и Алтайская 47.

Сухое ферментализованное пюре из тыквы, изготавливаемое по предложенной технологии, можно рассматривать как источник каротиноидов при составлении рецептур пищевых продуктов, в том числе

функционального и специализированного назначения. Представленные в работе результаты будут полезны предприятиям, занимающимся переработкой тыквы, поскольку позволят организовать производство тыквенного пюре высокого качества со стабильными оптическими характеристиками.

Критерии авторства

Авторы внесли равный вклад в проведение исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declared no potential conflict of interest regarding the research, authorship, and / or publication of this article.

Список литературы / References

1. Санникова Т. А., Мачулкина В. А., Гулин А. В., Антипенко Н. И. Безопасный продукт из тыквы – важный залог здорового питания. Хранение и переработка сельхозсырья. 2020. № 3. С. 162–170. [Sannikova TA, Machulкина VA, Gulín AV, Antipenko NI. Safe pumpkin product is an important healthy plant. Storage and Processing of Farm Products. 2020; (3):162–170. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.312>
2. Dhiman AK, Vidiya N, Surekha A, Preethi R. Studies on development and storage stability of dehydrated pumpkin based instant soup mix. Journal of Applied and Natural Science. 2017;9(3):1815–1820. <https://doi.org/10.31018/jans.v9i3.1444>
3. Типсина Н. Н., Селезнева Г. К. Использование пюре из тыквы в пищевой промышленности. Вестник КрасГАУ. 2013. № 12. С. 242–247. [Tipsina NN, Selezneva GK. The use of pumpkin puree in food industry. Bulletin of KSAU. 2013; 12:242–247. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/RRUZZP>
4. Sathiya Mala K, Aathira P, Anjali EK, Srinivasulu K, Sulochanamma G. Effect of pumpkin powder incorporation on the physico-chemical, sensory and nutritional characteristics of wheat flour muffins. International Food Research Journal. 2018;25(3):1081–1087. <https://elibrary.ru/YHVVJJ>
5. Табаторович А. Н., Степанова Е. Н. Разработка и оценка качества тыквенного мармелада, обогащенного аскорбиновой кислотой. Техника и технология пищевых производств. 2012. № 4. С. 57А–64. [Tabatorovich AN, Stepanova EN. Development and quality evaluation of pumpkin marmalade enriched with ascorbic acid. Food Processing: Techniques and Technology. 2012;(4):57A–64. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PILQFT>
6. Rico X, Gullón B, Alonso JL, Yáñez R. Recovery of high value-added compounds from pineapple, melon, watermelon and pumpkin processing by-products: An overview. Food Research International. 2020;132:109086. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109086>
7. Rolnik A, Olas B. Vegetables from the *Cucurbitaceae* family and their products: Positive effect on human health. Nutrition. 2020;78:110788. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2020.110788>
8. Bulut S, Popović S, Hromiš N, Šuput D, Lazić V, et al. Antibacterial activity of biopolymer composite materials obtained from pumpkin oil cake and winter savory or basil essential oil against various pathogenic bacteria. Journal of Food and Nutrition Research. 2020;59(3):250–258.
9. Pereira AM, Krumreich FD, Ramos AH, Krolow ACR, Santos RB, et al. Physicochemical characterization, carotenoid content and protein digestibility of pumpkin access flours for food application. Food Science and Technology. 2020;40 (Suppl. 2):691–698. <https://doi.org/10.1590/fst.38819>
10. Karrar E, Sheth S, Navicha WB, Wei W, Hassanin H, et al. A potential new source: Nutritional and antioxidant properties of edible oils from cucurbit seeds and their impact on human health. Journal of Food Biochemistry. 2018;43(2):e12733. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12733>

11. Hussain A, Kausar T, Din A, Murtaza MA, Jamil MA, et al. Determination of total phenolic, flavonoid, carotenoid, and mineral contents in peel, flesh, and seeds of pumpkin (*Cucurbita maxima*). Journal of Food Processing and Preservation. 2021;45(6):e15542. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15542>
12. Нилова Л. П., Потороко И. Ю. Каротиноиды в растительных пищевых системах. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2021. Т. 9. № 4. С. 54–69. [Nilova LP, Potoroko IYu. Carotenoids in plant food systems. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology. 2021;9(4):54–69. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WGNNUH>
13. Фокина А. Д., Веснина А. Д., Фролова А. С., Чекушкина Д. Ю., Проскурякова Л. А. и др. Биоактивные вещества геропротекторной направленности. Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 2. С. 423–435. [Fokina AD, Vesnina AD, Frolova AS, Chekushkina DYU, Proskuryakova LA, et al. Bioactive antiaging substances: Geroprotectors. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;54(2):423–435. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2517>
14. Дадали В. А., Тутельян В. А., Дадали Ю. В., Кравченко Л. В. Каротиноиды. Биологическая активность. Вопросы питания. 2011. Т. 80. № 4. С. 4–18. [Dadali VA, Tutelyan VA, Dadali YuV, Kravchenko LV. Carotenoids. Biological activities. Problems of Nutrition. 2011;80(4):4–18. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/OJANDF>
15. Meléndez-Martínez AJ, Mandić AI, Bantis F, Böhm V, Borge GIA, et al. A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: *Status quo*, applications, patents, and research needs. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021;62(8):1999–2049. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>
16. Ninčević Grassino A, Rimac Brnčić S, Badanjak Sabolović M, Šic Žlabur J, Marović R, et al. Carotenoid content and profiles of pumpkin products and by-products. Molecules. 2023;28(2):858. <https://doi.org/10.3390/molecules28020858>
17. Öztürk T, Turhan S. Physicochemical properties of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seed kernel flour and its utilization in beef meatballs as a fat replacer and functional ingredient. Journal of Food Processing and Preservation. 2020;44(9):e14695. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14695>
18. Ferrer-González BM, García-Martínez I, Totosaus A. Textural properties, sensory acceptance and fatty acid profile of cooked meat batters employing pumpkin seed paste or soybean oil oleogel as fat replacers. Grasas y Aceites. 2019;70(3):e320. <https://doi.org/10.3989/gya.1055182>
19. Aziz A, Noreen S, Khalid W, Ejaz A, Faiz ul Rasool I, et al. Pumpkin and pumpkin byproducts: Phytochemical constitutes, food application and health benefits. ACS omega. 2023;8(26):23346–23357. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02176>
20. Aljahani A, Cheikhousman R. Nutritional and sensory evaluation of pumpkin-based (*Cucurbita maxima*) functional juice. Nutrition & Food Science. 2017;47(3):346–356. <https://doi.org/10.1108/NFS-07-2016-0109>
21. Adubofuor J, Amoah I, Agyekum PB. Physicochemical properties of pumpkin fruit pulp and sensory evaluation of pumpkin-pineapple juice blends. American Journal of Food Science and Technology. 2016;4(4):89–96.
22. Buzigi E, Pillay K, Siwela M. Potential of pumpkin to combat vitamin A deficiency during complementary feeding in low and middle income countries: Variety, provitamin A carotenoid content and retention, and dietary reference intakes. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2022;62(22):6103–6112. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1896472>
23. Hosen M, Rafii MY, Mazlan N, Jusoh M, Oladosu Y, et al. Pumpkin (*Cucurbita* spp.): A crop to mitigate food and nutritional challenges. Horticulturae. 2021;7(10):352. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100352>
24. Srivastava N, Sahu P, Banerjee M. Nutraceutical potential of pumpkin (*Cucurbita* sp.) powder, seed, extracts, and oil on diabetes; Mini Review. Journal of Endocrinology and Disorders. 2021;5(1):1–3. <https://doi.org/10.31579/2640-1045/063>
25. Milovanovic B, Djekic I, Miocinovic J, Djordjevic V, Lorenzo JM, et al. What is the color of milk and dairy products and how is it measured? Foods. 2020;9(11):1629. <https://doi.org/10.3390/foods9111629>
26. Grujić S, Grujić M. Factors affecting consumer preference for healthy diet and functional foods. Foods and Raw Materials. 2023;11(2):259–271. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-576>
27. Gryniewicz G. Phytochemicals between nutrition and medicine. Acta Scientific Nutritional Health. 2020;4(1):24–29.
28. Shahidi F. Nutraceuticals and functional foods: Whole versus processed foods. Trends in Food Science and Technology. 2009;20(9):376–387. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.08.004>
29. Kolašinac SM, Dajić Stevanović ZP, Kilibarda SN, Kostić AŽ. Carotenoids: New Applications of “Old” Pigments. Phyton-International Journal of Experimental Botany. 2021;90(4):1041–1062. <https://doi.org/10.32604/phyton.2021.015996>
30. Maia LF, de Oliveira VE, Edwards HGM, de Oliveira LFC. The diversity of linear conjugated polyenes and colours innature: Raman spectroscopy as a diagnostic tool. ChemPhysChem. 2021;22(3):231–249. <https://doi.org/10.1002/cphc.202000818>
31. Gao Y, Focsan AL, Kispert LD. Antioxidant activity in supramolecular carotenoid complexes favored by nonpolar environment and disfavored by hydrogen bonding. Antioxidants. 2020;9(7):625. <https://doi.org/10.3390/antiox9070625>
32. Ouyang M, Huang Y, Wang Y, Luo F, Liao L. Stability of carotenoids and carotenoid esters in pumpkin (*Cucurbita maxima*) slices during hot air drying. Food Chemistry. 2022;367:130710. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130710>
33. Lessin WJ, Catigani GL, Schwartz SJ. Quantification of *cis-trans* isomers of provitamin A carotenoids in fresh and processed fruits and vegetables. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 1997;45(10):3728–3732. <https://doi.org/10.1021/jf960803z>

34. Zepka LQ, Mercadante AZ. Degradation compounds of carotenoids formed during heating of a simulated cashew apple juice. *Food Chemistry*. 2009;117(1):28–34. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.071>
35. Rickman JC, Bruhn CM, Barrett DM. Nutritional comparison of fresh, frozen, and canned fruits and vegetables II. Vitamin A and carotenoids, vitamin E, minerals and fiber. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2007;87(7):1185–1196. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2824>
36. Mordi RC, Ademosun OT, Ajanaku CO, Olanrewaju IO, Walton JC. Free radical mediated oxidative degradation of carotenes and xanthophylls. *Molecules*. 2020;25(5):1038. <https://doi.org/10.3390/molecules25051038>
37. Kultys E, Kurek MA. Green extraction of carotenoids from fruit and vegetable byproducts: A review. *Molecules*. 2022;27(2):518. <https://doi.org/10.3390/molecules27020518>
38. Al-Yafeai A, Malarski A, Böhm V. Characterization of carotenoids and vitamin E in *R. rugosa* and *R. canina*: Comparative analysis. *Food chemistry*. 2018;242:435–442. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.070>
39. Britton G. Chapter one – Getting to know carotenoids. *Methods in Enzymology*. 2022;670:1–56. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2022.04.005>
40. Chutia H, Mahanta CL. Green ultrasound and microwave extraction of carotenoids from passion fruit peel using vegetable oils as a solvent: Optimization, comparison, kinetics, and thermodynamic studies. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2021;67:102547. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102547>
41. Pataro G, Carullo D, Falcone M, Ferrari G. Recovery of lycopene from industrially derived tomato processing by-products by pulsed electric fields-assisted extraction. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020;63:102369. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102369>
42. Rocha HR, Coelho MC, Gomes AM, Pintado ME. Carotenoids diet: Digestion, gut microbiota modulation, and inflammatory diseases. *Nutrients*. 2023;15(10):2265. <https://doi.org/10.3390/nu15102265>
43. Que F, Mao L, Fang X, Wu T. Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch.) flours. *International Journal of Food Science and Technology*. 2008;43(7):1195–1201. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01590.x>
44. Onwude DI, Hashim N, Janius R, Nawi NM, Ebdan K. Color change kinetics and total carotenoid content of pumpkin as affected by drying temperature. *Italian Journal of Food Science*. 2016;29(1). <https://doi.org/10.14674/1120-1770/ijfs.v398>
45. Pathare PB, Opara UL, Al-Said FAJ. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*. 2013;6:36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
46. Nourzad S, Naghdi Badi H, Kalateh Jari S, Mehrafarin A, Saeidi-Sar S. Investigation of the qualitative and appearance characteristics of *Eryngium caeruleum* L. based on colorimetric and browning indices in storage conditions. *Food Science & Nutrition*. 2024;12(9):6690–6698. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4243>
47. Karadeniz F, Işık B, Kaya S, Aslanali O, Midilli F. Kinetics of nonenzymatic browning reactions in pumpkin puree during storage. *Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation*. 2024;11(1):101–111. <https://doi.org/10.54287/guja.1400745>
48. Chikpah SK, Korese JK, Sturm B, Hensel O. Colour change kinetics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) slices during convective air drying and bioactive compounds of the dried products. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2022;10:100409. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100409>
49. Kormin F, Sakinah RA, Iwansyah AC, Hesani A. The effect of enzyme concentration on physical characteristics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) puree and its dried extract. *IOP Conf. Series: Earth and Environ. Sci*. 2021;736:012031. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/736/1/012031>
50. Piepiórka-Stepuk J, Wojtasik-Kalinowska I, Sterczyńska M, Mierzejewska S, Stachnik M, *et al.* The effect of heat treatment on bioactive compounds and color of selected pumpkin cultivars. *LWT*. 2023;175:114469. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114469>
51. Yahia EM, de Jesús Ornelas-Paz J, Emanuelli T, Jacob-Lopes E, Zepka LQ, *et al.* Chemistry, stability, and biological actions of carotenoids. In: Yahia EM, editor. *Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health*, 2nd Edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2017. pp. 285–346. <https://doi.org/10.1002/9781119158042.ch15>
52. Darijani M, Shahraki M, Habibi-Khorassani SM. Theoretical study on the mechanism and kinetics of the formation β -carotene epoxides from the oxidative degradation of β -carotene. *Food Chemistry*. 2022;389:133082. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133082>
53. Szabo K, Teleky BE, Ranga F, Roman I, Khaoula H, *et al.* Carotenoid recovery from tomato processing by-products through green chemistry. *Molecules*. 2022;27(12):3771. <https://doi.org/10.3390/molecules27123771>
54. Sun T, Tadmor Y, Li L. Pathways for carotenoid biosynthesis, degradation, and storage. *Plant and food carotenoids: methods and protocols*. 2020;2083:3–23. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9952-1_1
55. Zhang R, Chen G, Yang B, Wu Y, Du M, *et al.* Insights into the stability of carotenoids and capsaicinoids in water-based or oil-based chili systems at different processing treatments. *Food Chemistry*. 2021;342:128308. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128308>

56. Meléndez-Martínez AJ, Mandić AI, Bantis F, Böhm V, Borge GIA, et al. A comprehensive review on carotenoids in foods and feeds: *Status quo*, applications, patents, and research needs. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2021;62(8):1999–2049. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867959>
57. Meléndez-Martínez AJ, Esquivel P, Rodríguez-Amaya DB. Comprehensive review on carotenoid composition: Transformations during processing and storage of foods. Food Research International. 2023;169:112773. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112773>
58. Jurić S, Jurić M, Król-Kilińska Ż, Vlahoviček-Kahlina K, Vinceković M, et al. Sources, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods. Food Reviews International. 2020;38(8):1735–1790. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1837862>
59. Schieber A, Carle R. Occurrence of carotenoid cis-isomers in food: Technological, analytical, and nutritional implications. Trends in Food Science & Technology. 2005;16(9):416–422. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.018>
60. Fusi F, Romano G, Speranza G, Agati G. Photon- and singlet-oxygen-induced *cis*–*trans* isomerization of the water-soluble carotenoid crocin. International Journal of Molecular Sciences. 2023;24(13):10783. <https://doi.org/10.3390/ijms241310783>
61. da Silva Souza MA, Peres LEP, Freschi JR, Purgatto E, Lajolo FM, et al. Changes in flavonoid and carotenoid profiles alter volatile organic compounds in purple and orange cherry tomatoes obtained by allele introgression. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2020;100(4):1662–1670. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10180>
62. Shi J, Wu W, Zhang Y, Baldermann S, Peng Q, et al. Comprehensive analysis of carotenoids constituents in purple-coloured leaves and carotenoid-derived aroma differences after processing into green, black, and white tea. LWT. 2023;173:114286. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114286>
63. Dhenge R, Rinaldi M, Ganino T, Santi S, Ferrarese I, et al. Variations of polyphenols, sugars, carotenoids, and volatile constituents in pumpkin (*Cucurbita moschata*) during high pressure processing: A kinetic study. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2022;78:103005. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103005>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2576>
<https://elibrary.ru/YYWDWB>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Полиморфизм 8 и 13 экзонов меланофилина кролика у родительских пород и межпородного кросса Родник



Г. Ю. Косовский^{ID}, А. Р. Шумилина^{ID}, О. И. Абрамов,
Д. В. Попов^{ID}, Т. Т. Глазко^{ID}, О. И. Скобель^{*ID}, А. В. Леонов^{ID}

Научно-исследовательский институт пушного звероводства и кролиководства имени В. А. Афанасьева^{ROR},
пос. Родники, Россия

Поступила в редакцию: 19.03.2025

Принята после рецензирования: 21.04.2025

Принята к публикации: 06.05.2025

*О. И. Скобель: skobelolga@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-0599-9787>

Г. Ю. Косовский: <https://orcid.org/0000-0003-3808-3086>

А. Р. Шумилина: <https://orcid.org/0000-0003-1961-8428>

Д. В. Попов: <https://orcid.org/0000-0001-7422-5470>

Т. Т. Глазко: <https://orcid.org/0000-0002-3879-6935>

А. В. Леонов: <https://orcid.org/0000-0001-5486-3264>

© Г. Ю. Косовский, А. Р. Шумилина, О. И. Абрамов, Д. В. Попов,
Т. Т. Глазко, О. И. Скобель, А. В. Леонов, 2025



Аннотация.

Создание новых форм животных сельскохозяйственных видов на основе многопородных скрещиваний требует развития методов популяционно-генетического контроля селекционного процесса. На основании многостадийных поколений скрещиваний кроликов пород белый великан, советская шиншилла, калифорнийская с последующим разведением «в себе» в Научно-исследовательском институте пушного звероводства и кролиководства имени В. А. Афанасьева создан скороспелый и высокопродуктивный кросс кроликов Родник. Проведенные ранее исследования показали, что по ряду полилокусных генотипов высоко полиморфных элементов кролики кросса Родник ближе к породе белый великан, чем к двум другим родительским породам. Цель исследования – выяснить изменения популяционно-генетической структуры трехпородного кросса через сравнительный анализ нуклеотидных последовательностей 8 и 13 экзонов гена меланофилина (*mlph*), одного из ключевых генов окраса у млекопитающих, у кросса Родник и родительских пород.

Объекты исследования – породы кроликов белый великан, советская шиншилла, калифорнийская и кросс Родник. Анализ структуры гена *mlph* у *Oryctolagus cuniculus* выполнен биоинформатическими методами с использованием нуклеотидной последовательности референсного генома UM_NZW_1.0 (GCF_009806435.1) из базы данных GenBank. Экзон-интронную структуру определяли в программе Splign, а условия и стадии ПЦР, включая дизайн праймеров для экзонных областей, разрабатывались с помощью онлайн версии программы BLAST3. Для выявления отличий между кроликами окраса шиншилла и другими породами выбраны экзоны 8 и 13.

По некоторым характеристикам окраса кросс Родник из трех родительских пород оказался ближе к калифорнийской. Исследование выявило мононуклеотидный полиморфизм (SNP) в экзоне 8 в двух нуклеотидах и в экзоне 13 в одном нуклеотиде. Гаплотипы двух SNP в экзоне 8 и одного в экзоне 13 гена *mlph* кросса совпадали с породой белый великан и присутствовали в гомозиготном варианте. Породы советская шиншилла и калифорнийская несли гетерозиготный гаплотип по двум SNP в экзоне 8 и в гомозиготе другого нуклеотида (С–Т) в экзоне 13 в тех же позициях. Выявленные SNP не коррелировали с окрасом, но по генотипам, как и по полиморфизмам ряда высоко полиморфных геномных элементов, кросс Родник оказался ближе к породе белый великан, чем к другим родительским породам.

Обсуждается возможное вовлечение гена *mlph* в селекционный процесс в связи с его принадлежностью к суперсемейству онкогена Ras, к крупнейшему экзофилиновому подсемейству Rab-эффекторных белков, координирующих везикулярный транспорт, а также некоторые этапы адипогенеза.

Ключевые слова. Кролик, селекция, популяционно-генетическая структура, меланофинин (*mlph*), SNP, окрас, внутриклеточные органеллы, кросс

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме НИР «Разработка научных основ сокращения времени и увеличения надежности селекционной работы по получению новых форм животных с применением генных и геномных технологий» (FGGR-2024-0001).

Для цитирования: Косовский Г. Ю., Шумилина А. Р., Абрамов О. И., Попов Д. В., Глазко Т. Т. и др. Полиморфизм 8 и 13 экзонов меланофилина кролика у родительских пород и межпородного кросса Родник. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 331–340. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2576>

Melanophilin Polymorphism of Exons 8 and 13 in Rabbits: Parent Breeds and Interbreed Cross Rodnik



Gleb Yu. Kosovsky^{ORCID}, Anna R. Shumilina^{ORCID},
Oleg I. Abramov, Dmitry V. Popov^{ORCID}, Tatiana T. Glazko^{ORCID},
Olga I. Skobel^{ORCID}*, Artem V. Leonov^{ORCID}

Research Institute for Fur Farming and Rabbit Breeding^{ORCID}, Rodniki, Russia

Received: 19.03.2025
Revised: 21.04.2025
Accepted: 06.05.2025

*Olga I. Skobel: skobelolga@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0599-9787>
Gleb Yu. Kosovsky: <https://orcid.org/0000-0003-3808-3086>
Anna R. Shumilina: <https://orcid.org/0000-0003-1961-8428>
Dmitry V. Popov: <https://orcid.org/0000-0001-7422-5470>
Tatiana T. Glazko: <https://orcid.org/0000-0002-3879-6935>
Artem V. Leonov: <https://orcid.org/0000-0001-5486-3264>

© G.Yu. Kosovsky, A.R. Shumilina, O.I. Abramov, D.V. Popov,
T.T. Glazko, O.I. Skobel, A.V. Leonov, 2025



Abstract.

New breeds of fur-bearing animals are multi-breed crosses. Selection requires new methods for genetic control. This article describes a new early-maturing and highly-productive crossbreed of rabbits called Rodnik obtained at the Afanasyev Research Institute for Fur Farming and Rabbit Breeding, Russia. It was a result of multi-stage generations of crossings between such breeds as White Giant, Soviet Chinchilla, and Californian. However, in terms of polylocus genotypes of highly polymorphic elements, the Rodnik rabbits are closer to the White Giant breed. The article describes the changes in the genetic pool of this three-breed cross through a comparative analysis of the nucleotide sequences of exons 8 and 13 of the melanophilin (*mlph*) color gene.

The research featured the rabbit breeds of White Giant, Soviet Chinchilla, and Californian, as well as their Rodnik cross. The analysis of the *mlph* gene in *Oryctolagus cuniculus* involved bioinformatics methods based on the nucleotide sequence of the reference genome UM_NZW_1.0 (GCF_009806435.1) from the GenBank database. The exon-intron structure was determined using the Splign software; the conditions and stages of PCR, including the design of primers for exonic regions, were developed using the online version of BLAST3. Exons 8 and 13 made it possible to identify the differences between chinchilla-colored rabbits and other breeds.

In some color properties, the Rodnik cross was closer to the Californian parent breed. A single nucleotide polymorphism (SNP) was detected in two nucleotides in exon 8 and in one nucleotide in exon 13. The haplotypes of two SNPs in exon 8 and one SNP in exon 13 of the *mlph* gene were homozygous and coincided with the White Giant breed. The Soviet Chinchilla and Californian breeds carried a heterozygous haplotype for two SNPs in exon 8, as well as in the homozygote of another nucleotide (C–T) in exon 13 in the same positions. The identified SNPs did not correlate with color. However, the Rodnik cross was closer to the White Giant in terms of genotypes and polymorphisms of some highly polymorphic genomic elements.

The *mlph* gene might become part of selection as it belongs to the Ras oncogene superfamily and the largest exophilin subfamily of Rab effector proteins that coordinate vesicular transport and some adipogenesis stages.

Keywords. Rabbits, breeding, population-genetic structure, melanophilin (*mlph*), SNP, fur color, intracellular organelles, crossbreed

Funding. The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, State Assignment FGGR-2024-000: Scientific foundations for optimizing time and reliability of animal breeding using genetic and genomic technologies.

For citation: Kosovsky GYu, Shumilina AR, Abramov OI, Popov DV, Glazko TT, et al. Melanophilin Polymorphism of Exons 8 and 13 in Rabbits: Parent Breeds and Interbreed Cross Rodnik. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):331–340. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2576>

Введение

Европейский кролик (*Oryctolagus cuniculus*) – единственный представитель своего рода, обитающий на территории современной Европы и Северной Африки. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций описывает более 300 пород

кроликов, отличающихся по размеру, окрасу шерсти, длине ушей и типу меха. Домашний кролик считается одним из самых недавних одомашненных видов млекопитающих. Их domestикация началась примерно 1400–1500 лет назад в монастырях Франции после указа папы Григория I, в котором говорилось, что нерожденные

или новорожденные кролики не считаются мясом и, следовательно, их можно употреблять в пищу во время поста [1–3]. Домашнего кролика разводят в разных целях: он служит источником мяса, шерсти и меха. Кроме того, кролики являются адекватной и жизнеспособной моделью для экспериментальных исследований в различных отраслях биологии и биомедицины.

Окрас шерсти является основной характеристикой, используемой для определения породы кролика. Он также является важным показателем состояния кожи и меха, по которому оценивают экономическую ценность последнего. Описано более ста генов, влияющих на окраску меха, изученных на модельных объектах, – линейных лабораторных мышах. Исследуются пути формирования меланоцитов, меланосом, передача меланосом в кератиноциты (рис. 1) [4]. В базе данных генов окраски (*Color Genes database*) насчитывается 378 мышиных локусов с их влияющими на фенотипы пигментации гомологами у человека и рыб данио [5]. Выявлены ключевые гены окраса у млекопитающих, в том числе у домашнего кролика [6].

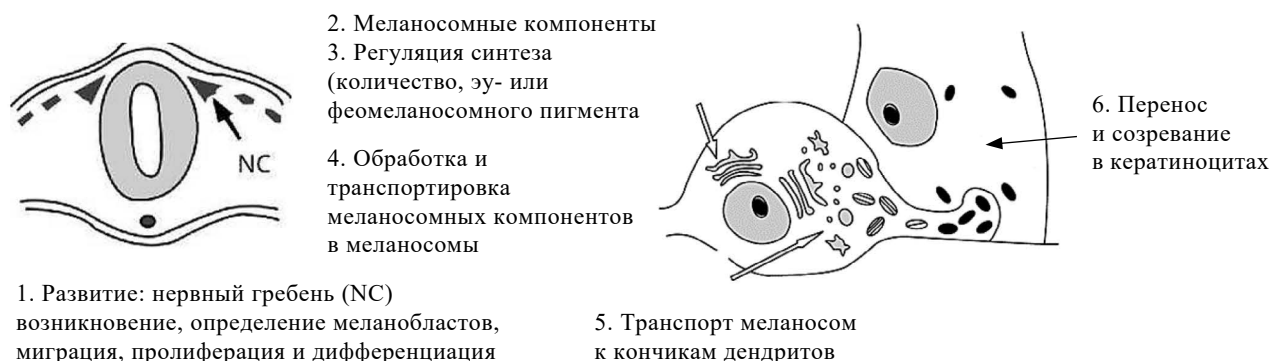
Меланоциты – специализированные клетки, которые содержат органеллы, связанные с лизосомами (меланосомы). Эти органеллы отвечают за синтез двух типов меланинов: эумеланинов (черные и коричневые пигменты) и феомеланинов (желтые и красные пигменты). Выявлены гены, участвующие в развитии, распределении, морфологии и структуре меланоцитов, а также гены, которые составляют или регулируют их ферментативный аппарат [8]. Одним из таких генов является меланофилин (*mlph*). Он принадлежит суперсемейству онкогена Ras, которое включает более 150 членов, и относится к крупнейшему подсемейству экзофилинов – Rab-эффекторных белков, координирующих везикулярный транспорт [9].

Меланофилин (*mlph*) включает три связывающих домена для других белков. На N-конце расположен связывающий домен для Rab27 (R27BD), который относится к надсемейству малых GTPase семейства

Rab. Rab27 связан с мембраной и может участвовать в транспорте белков и передаче сигналов, опосредованных малой GTPase. На C-конце расположены связывающие домены для миозина-Va (MyoVa) (MBD) и актина (ABD) [10, 11]. Белок, кодируемый *mlph*, участвует в переносе меланосом к концам дендритных ответвлений, из которых они путем эндоцитоза подхватываются кератиноцитами (рис. 1).

Нарушения работы *mlph* не позволяют эффективно транспортировать меланосомы к области плазматической мембраны дендритных выступов клеток меланоцитов, что приводит к накоплению меланосом в перинуклеарном пространстве [12]. Мутации *mlph* описаны у широкого спектра видов животных, а также у человека. Однако у разных видов и индивидуумов мишени мутантных нарушений, приводящих к ослаблению окраса, могут отличаться [13, 14]. У мышей выявлены фенотипы разбавления окраса, ассоциированные с мутациями в генах миозина, как, например, в MYO5A (миозин V). Данный белок относится к классу моторных белков на основе актина, участвующих в транспорте и закреплении цитоплазматических пузырьков, а также выравнивании полюсов веретена и транслокации мРНК. Мутации в этом гене приводят к фенотипу, для которого характерен «разбавленный» окрас. Другой белок – Rab27a (GTPase Rab27a), регулирующий ряд экзоцитарных процессов, связан с «пепельным» окрасом. Другие фенотипы относятся к изменениям в генах меланофилина, которые кодируют белки, составляющие транспортный комплекс меланосом [15]. MLPH – член подсемейства экзофилинов, или синаптотагмин-подобный белок SLAC2, один из эффекторных белков Rab. «Свинцовый» окрас относят к изменениям в этом белке [16–18].

S. Lechner *et al.* [19] установили, что у кролика разбавление окраса было связано с нарушением сплайсинга гена *mlph*, что сопровождалось выпадением из мРНК экзона 3 и 4, формированием укороченного белка и, соответственно, уменьшением скопления



Примечание: проиллюстрирован также перенос меланосом в кератиноциты и их процессинг в кератиноцитах, которые тоже находятся под генетическим контролем [7]

Рисунок 1. Основные процессы, на которые влияют гены, связанные с окрасом животных [4, 7]

Figure 1. Processes affected by fur color genes [4, 7]

меланосом. Секвенирование геномной ДНК выявило мутацию акцептора сплайсинга с.111-5C>A в полипиримидиновом тракте интрона 2 в *mlph*, что, предположительно, и вызывало пропуск экзонов 3 и 4.

В работе [20] определили, что мононуклеотидная делеция в экзоне 5 гена *mlph*, которая привела к сдвигу рамки считывания, может вызывать также разбавление окраса шерсти кроликов. Выполнено секвенирование в общей сложности 6357 пар нуклеотидов (п.н.), охватывающих некодирующие регионы (5'-фланкирующий регион, включая предполагаемый 5'-UTR, предполагаемый 3'-UTR и интронные последовательности, прилегающие к кодирующим экзонам), и все 15 экзонов, представленных в Ensembl (рис. 2), за исключением двух предполагаемых близких экзонов, экзонов 6 и 7 этой последовательности (учитывая порядок кодирующих регионов; позиции от 550665 до 550880 скаффолда GL018840), которые авторы не смогли амплифицировать.

Суммарно в секвенированных последовательностях выявлено 165 полиморфизмов: 137 – в некодирующих регионах, 28 – в кодирующих экзонах. Обнаружен трех аллельный комплекс индел (присутствие / отсутствие дупликации в 29 нуклеотидах с несколькими другими нуклеотидными различиями в первом интроне), не связанный с изменчивостью окраса кролика (рис. 2). Из 28 мононуклеотидных полиморфизмов (Single Nucleotide Polymorphisms – SNP) в экзонах, 15 были синонимичными заменами, а 12 SNP потенциально приводили к заменам аминокислот, кодируемых триплетами в экзоне 1 (p.Val18Ile), экзоне 2 (p.Gln71Arg или p.Gln71Trp и p.Thr87Ala), экзоне 3 (p.Gln146His), экзоне 5 (p.Trp204Arg), экзоне 8 (p.Gly307Ala и p.Val311Ala), экзоне 9 (p.Lys349Arg), экзоне 10 (p.Ser393Gly) и экзоне 12 (p.Asp481Ser). Единственным SNP, ассоциированным с ослаблением окраса у всех исследованных кроликов (198 кроли-

ков 23 разных пород), оказалась делеция в экзоне 5 (g.549853delG), которая вызывала сдвиг рамки считывания и приводила к появлению нового белка, кодируемого триплетами от начала экзона 5 до второй половины экзона 8, в которой появляется стоп-кодон и, как следствие, утрачивается домен С-конца белка MLPH [20]. Результаты исследования J. Demars *et al.* также подтвердили связь делеции g.549853delG с изменениями в окрасе домашнего кролика [21].

Выполнено сравнение SNP гена *mlph* у черного и окраса шиншилла у кроликов породы рекс [22], хорошо известной своей короткой, густой и гладкой шерстью. Этот фенотип породы рекс генетически произошел от носителей традиционной по структуре шерсти (три типа волос – остевые, направляющие и пуховые) [23]. В потомстве от скрещиваний кроликов этой породы наблюдается появление альбиносов [22]. Сравнение секвенированных последовательностей этой породы окрасов черный и шиншилла позволило выявить семь миссенс-мутаций SNP с формированием трех гаплотипов, по которым две группы с разными окрасами отличались друг от друга, в основном в экзоне 8 [22].

В Научно-исследовательском институте пушного звероводства и кролиководства имени В. А. Афанасьева путем сложного переменного скрещивания кроликов пород белый великан, советская шиншилла и калифорнийская был создан скороспелый и высокопродуктивный кросс кроликов Родник, обеспечивающий выход мяса до 1,5 кг при убое уже в 77-дневном возрасте. Полученный кросс имеет однородную окраску волосяного покрова: туловище и голова – белые; уши, нос, верх хвоста, лапы – серые; пух – чисто белый [24]. При этом окрас исходных пород значительно отличается. Советская шиншилла имеет общую серебристо-серо-голубую окраску и зональность остевых и пуховых волос, белый великан – чисто белый

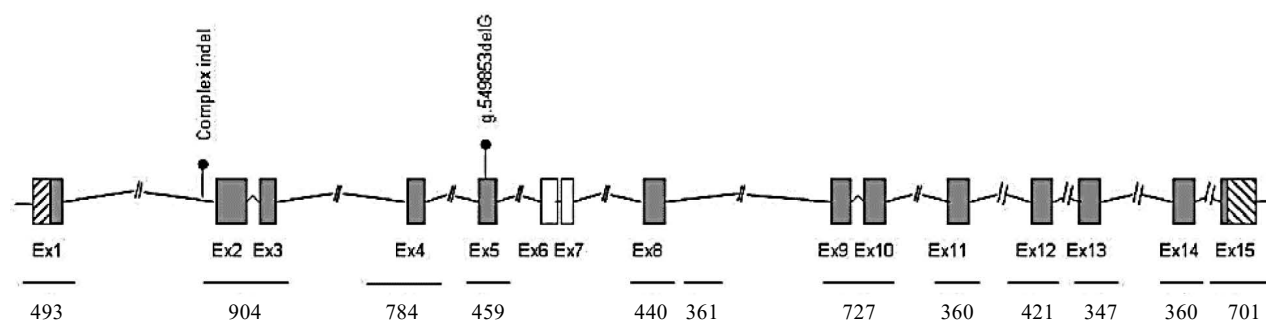


Рисунок 2. Схематическое изображение гена *mlph* кролика (как указано в последовательности гена *oryCun2.0* ENSOCUG00000016496) с секвенированными участками (обозначенными линиями под структурой гена) и положением генотипированных полиморфизмов. Белые квадратики указывают на два предполагаемых экзона, описанных в референсной последовательности ENSOCUG00000016496, которые не были подтверждены с помощью амплификации геномной ДНК и анализа BLASTN [20]

Figure 2. Rabbit *mlph* gene (*oryCun2.0* gene sequence ENSOCUG00000016496) with sequenced regions (underlined) and genotyped polymorphisms. Note: White squares indicate two putative exons described in the reference sequence ENSOCUG00000016496 that were not confirmed by genomic DNA amplification and BLASTN analysis [20]

цвет волосяного покрова, калифорнийская – белая окраска туловища и головы; черная – ушей, носа, лап и хвоста [25].

Ранее авторами отмечено, что при сравнении генетической структуры родительских пород и кросса Родник по полилокусным спектрам геномных районов локализации участков семи ретротранспозонов и одного ДНК транспозона (хелитрона) наибольшее сходство по ряду маркеров наблюдалось между белым великаном и синтетическим трехпородным кроссом Родник [26]. Цель исследования – выяснить направления изменений генетической структуры в процессе селекции трехпородного кросса Родник путем проведения сравнительного анализа кросса и родительских пород по генотипам экзона 8 гена меланофилина (*mlph*), который участвует в дифференциации по окрасу советской шиншиллы и других пород кролика [22], и экзона 13.

Объекты и методы исследования

Эксперименты проведены в лаборатории геномики отдела биотехнологии Научно-исследовательского института пушного звероводства и кролиководства имени В. А. Афанасьева (НИИПЗК) на кроликах коллекции этого же института пород советская шиншилла ($n = 3$), калифорнийская ($n = 3$), белый великан ($n = 3$), кросс Родник ($n = 3$).

Забор крови в количестве 3–5 мл выполняли из ушной краевой вены. Из всех собранных образцов цельной крови с использованием набора реагентов для выделения ДНК «М-Сорб» (Синтол, Россия) экстрагировали геномную ДНК в соответствии с инструкциями производителя.

Исследования с участием животных выполнены в соответствии с Правилами надлежащей лабораторной практики и одобрены на заседании методической комиссии НИИПЗК.

Анализ структуры гена *mlph* у *Oryctolagus cuniculus* выполнен биоинформатическими методами с использованием нуклеотидной последовательности референсного генома UM_NZW_1.0 (GCF_009806435.1), представленного в базе данных GenBank (National Center for Biotechnology Information, США). Определение экзон-интронной структуры производилось в программе Splign. Условия и стадии проведения ПЦР,

а также дизайн праймеров к соответствующим участкам, охватывающим экзонные области гена, осуществлены с помощью онлайн версии программы BLAST3.

При постановке ПЦР использовали буфер с магнием $10\times$, 2,5 мкл, *Taq* полимеразы 0,2 мкл (1 е.а.), нуклеотиды по 0,2 мкмоль, праймеры 10 пмоль каждого добавляли в реакционную смесь. ПЦР выполнялась в реакционной смеси объемом 25 мкл в основном в следующих условиях: $94\text{ }^{\circ}\text{C}/2\text{ мин}$, 38 циклов $94\text{ }^{\circ}\text{C}/30\text{ с}$, $55\text{--}58\text{ }^{\circ}\text{C}/30\text{ с}$, $72\text{ }^{\circ}\text{C}/30\text{ с}$; $72\text{ }^{\circ}\text{C}/2\text{ мин}$.

Электрофоретическое разделение осуществлено на горизонтальном электрофореze и зафиксировано с использованием системы фотогельдокументации Quantum-ST4 (Vilber Lourmat, Франция).

Целевые фрагменты направлены в ООО «Синтол» для секвенирования.

Результаты и их обсуждение

У кролика ген меланофилина расположен на участке NW_026259270.1 (от 707632 до 743904, complement) референсного генома UM_NZW_1.0, состоит из 15 экзонов. К экзону 8 подобраны следующие праймеры: лидирующий – MLPH(Rabbit)EX8F-CTAAGA CAGAGCCCGGGTTC и обратный – MLPH(Rabbit)EX8R-TCCCACTTCCTGTGGGGTA. В результате получены фрагменты продуктов амплификации ожидаемой длины в 574 п.н. К охватываемому экзону 13 подобраны лидирующий праймер – MLPH(Rabbit)EX13F-GAGTCAGTCCCAAGCCCATG, обратный – MLPH(Rabbit)EX13R-GAGAGGTCTCATTTGGCCAG – 674 п.н.

На основании секвенированных фрагментов экзонов 8 и 13 гена *mlph*, полученных с подобранными праймерами, выполнен сравнительный анализ результатов секвенирования у исходных пород кросса Родник (советская шиншилла, калифорнийская, белый великан) и самого кросса (разводимого «в себе»). Секвенирование экзона 8 по породам советская шиншилла и калифорнийская позволило выявить присутствие двух различных аллельных вариантов (гетерозиготы). При выравнивании последовательностей у исследованных пород отмечены две мононуклеотидные замены (рис. 3). У породы советская шиншилла в позиции 21 экзона 8 присутствовал гуанин (G), в позиции 32 – цитозин (C), что совпало с данными по породе ново-



Гуанин – G, цитозин – C, аденин – A, тимин – T

Рисунок 3. Выравнивание последовательности экзона 8 гена меланофилина у исследованных групп кроликов

Figure 3. Sequence alignment of *mlph* exon 8 in various rabbit breeds

зеландская белая, представленными в GenBank. У других исследованных пород в указанных позициях выявились нуклеотиды аденин (А) в позиции 21 и тимин (Т) в позиции 32. Таким образом, у животных кросса Родник, созданного в Научно-исследовательском институте пушного звероводства и кролиководства имени В. А. Афанасьева (НИИПЗК), и породы белого великана нуклеотиды в указанных позициях экзона 8 отличались от соответствующих нуклеотидов у пород советская шиншилла, калифорнийская и новозеландская белая (включая референсный геном последней и последовательности кДНК, полученной на матрице зрелой мРНК). На рисунках 4–7 стрелками указаны точки полиморфизмов.

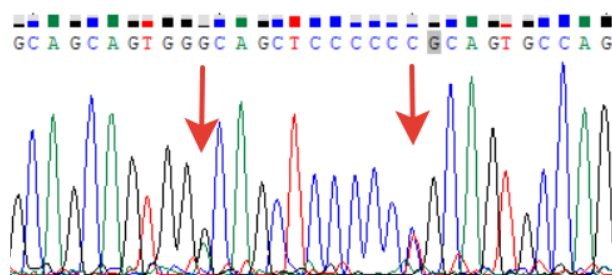
Из приведенных хроматограмм (рис. 4–7) видно, что породы советская шиншилла и калифорнийская в экзоне 8 имели гетерозиготную композицию гаплотипов, что указывает на наличие циркуляции в популяции как минимум двух вариантов аллельных форм среди исследованных групп кроликов. При этом кролик кросса Родник, получаемый в результате сложной схемы скрещивания с участием нескольких роди-

тельских форм, имел гомозиготную форму данного экзона (рис. 6), как и кролики породы белый великан (рис. 7).

Таким образом, при анализе экзона 8 гена меланофилина установлено, что в образцах породы советская шиншилла и калифорнийская в нем присутствовали гетерозиготы. В образцах белого великана и кросса Родник гетерозиготы не выявлены.

При анализе результатов секвенирования экзона 13 у исследованных групп кроликов была обнаружена одна точка полиморфизма. У породы белый великан и кросса Родник в позиции 35 присутствовал нуклеотид G (рис. 8, 9), а у пород советская шиншилла, калифорнийская (рис. 10, 11), как и в последовательности новозеландского белого кролика (GenBank), – нуклеотид Т.

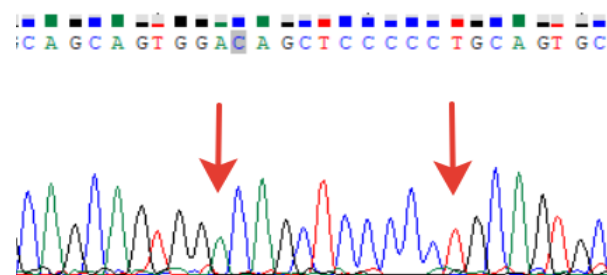
Однако, в отличие от экзона 8, в позиции 35 экзона 13 у пород советская шиншилла и калифорнийская этот аллельный вариант присутствовал в гомозиготе (рис. 10, 11). Следовательно, на основе этих экзонов можно выделить три варианта гаплотипов (табл. 1) по гену меланофилина:



Гуанин – G, цитозин – C, аденин – A, тимин – T.
Стрелками указаны гетерозиготы

Рисунок 4. Точки полиморфизмов внутри экзона 8 у породы советская шиншилла

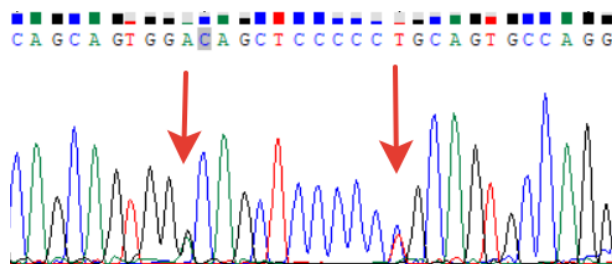
Figure 4. Polymorphism points within exon 8 in Soviet Chinchilla rabbits



Гуанин – G, цитозин – C, аденин – A, тимин – T.
Стрелками указаны гетерозиготы

Рисунок 6. Точки полиморфизмов внутри экзона 8 у кросса Родник (НИИПЗК)

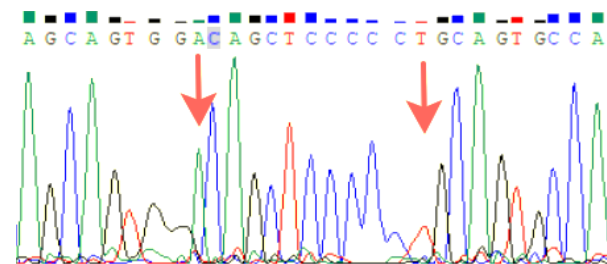
Figure 6. Polymorphism points within exon 8 in Rodnik rabbits



Гуанин – G, цитозин – C, аденин – A, тимин – T.
Стрелками указаны гетерозиготы

Рисунок 5. Точки полиморфизмов внутри экзона 8 у породы калифорнийская

Figure 5. Polymorphism points within exon 8 in Californian rabbits



Гуанин – G, цитозин – C, аденин – A, тимин – T.
Стрелками указаны гетерозиготы

Рисунок 7. Точки полиморфизмов внутри экзона 8 у породы белый великан

Figure 7. Polymorphism points within exon 8 in White Giant rabbits

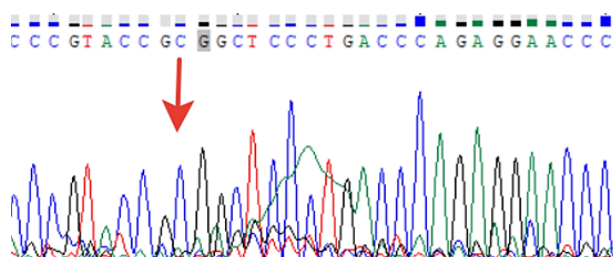


Рисунок 8. Точка полиморфизма внутри экзона 13 у кросса Родник (НИИПЗК)

Figure 8. Polymorphism point within exon 13 in Rodnik rabbits

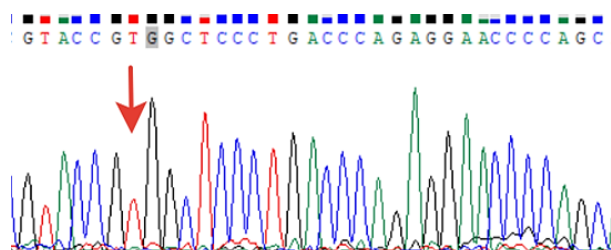


Рисунок 10. Точка полиморфизма внутри экзона 13 у породы советская шиншилла

Figure 10. Polymorphism point within exon 13 in Soviet Chinchilla rabbits

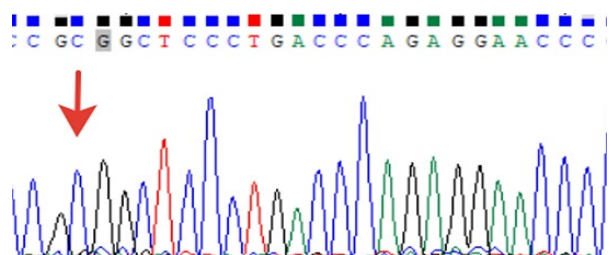


Рисунок 9. Точка полиморфизма внутри экзона 13 у породы белый великан

Figure 9. Polymorphism point within exon 13 in White Giant rabbits

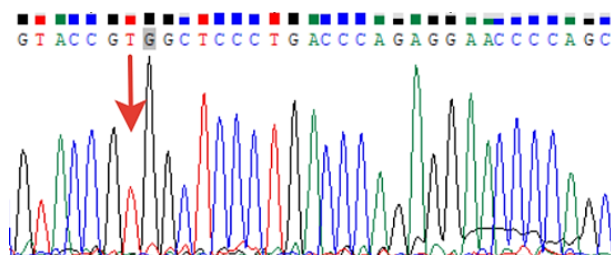


Рисунок 11. Точка полиморфизма внутри экзона 13 у породы калифорнийская

Figure 11. Polymorphism point within exon 13 in Californian rabbits

Таблица 1. Гаплотипы сочетаний нуклеотидов в экзонах 8 и 13 гена меланофилина у исследованных групп кроликов на примере калифорнийской породы

Table 1. Haplotypes of nucleotide combinations in *mlph* exons 8 and 13 in Californian rabbits

Аллель	Экзон 8	Экзон 13	Породы
А	21(A), 35(T)	35(T)	калифорнийская, советская шиншилла
Б	21(G), 35(C)	35(T)	калифорнийская, советская шиншилла
В	21(A), 35(T)	35(C)	кросс Родник, белый великан

- (А) в экзоне 8 – позиции 21(A) и 35(T), в экзоне 13 – позиция 35(T);
- (Б) в экзоне 8 – позиции 21(G) и 35(C), в экзоне 13 – позиция 35(T);
- (В) в экзоне 8 – позиции 21(A) и 35(T), в экзоне 13 – позиция 35(C).

Можно выдвинуть следующую гипотезу эволюционного молекулярно-генетического характера появления указанных гаплотипов в экзоне 8 и аллельного варианта в экзоне 13. Появление и фиксация в процессе отбора новых полиморфизмов представляет собой материальную основу процесса эволюции, описанного Ч. Дарвином как накопление множества мельчайших изменений живой материи, в современном

понимании – ДНК. Вероятно, в данном случае у экзонов 8 и 13 гена меланофилина в геноме исследуемых групп кроликов наблюдаются различия по эволюционному возрасту аллельных вариантов этого гена. Можно предположить, что самым старым гаплотипом в экзоне 8 является вариант А. Кролики исследуемых образцов породы белый великан и кросса Родник оказались гомозиготными носителями гаплотипа В. В то же время исследуемые породы советская шиншилла и калифорнийская продемонстрировали наличие двух гаплотипов: более новой эволюционной формы – гаплотипа Б и более старой – гаплотипа А (табл. 1). Вариант мононуклеотидной замены в экзоне 13 – 35(C), вероятно, более старый, чем 35(T), поскольку встречается у кроликов породы белый великан и кросса Родник, в отличие от пород советская шиншилла и калифорнийская, а также и от референсного генома новозеландского белого кролика.

Анализ генетических расстояний, рассчитанных на основе полиморфизма высоко полиморфных геномных последовательностей групп кроликов, включая родительские породы кросса Родник и сам кросс, показал, что наиболее близкими оказались кролики породы белый великан и кросс Родник [26]. Это совпало с результатами, полученными для экзонов 8 и 13 гена меланофилина в настоящем исследовании.

Совпадение направления изменений генетической структуры трехпородного кросса Родник в сторону

родительской породы белый великан как по отдельным высокополиморфным фрагментам транспозонов, так и по SNP гена меланофилина, предположительно, не связано с изменчивостью окраса животных, а, скорее, обусловлено спецификой отбора, направленного на увеличение живой массы и репродуктивной функции животных [24]. Об этом свидетельствуют накапливаемые данные о полифункциональности мутаций гена меланофилина. Изменчивость их проявления может быть связана с полиморфизмом генов, вовлеченных в организацию таких внутриклеточных органелл, как лизосомы, меланосомы, а также с их внутриклеточным транспортом [8, 27] и взаимодействиями с циклин-зависимой киназой 1 (CDK1), которая влияет на пролиферацию меланоцитов и ингибировала апоптоз [28].

Экспрессия меланофилина в ряде опухолей участвует в регуляции эпителиально-мезенхимных переходов и метастазировании [29]. Существенное влияние на пигментацию, формирование и функцию меланосом оказывают потребление кальция митохондриями [30] и изменения кальция в клетке, влияющие на pH лизосом [31]. Предполагается, что именно взаимодействие меланофилина с такими элементами цитоскелета, как Rab27a (мембранный транспорт), актин, миозин, объясняет ассоциации изменений экспрессии меланофилина с адипогенезом и накоплением липидов у птиц [11]. MLRN играет важную роль в предотвращении избыточного накопления активных форм кислорода и перекисного окисления липидов как во время адипогенеза, так и в зрелых адипоцитах человека, что позволяет рассматривать меланофилин в качестве адипогенного фактора [32].

Изменения в уровне меланофилина могут влиять на динамику внутриклеточных процессов, поскольку он участвует в контроле клеточных сетей переключателей, управляющих подвижностью клеток, их ростом, полярностью, транспортировкой белков и экспрессией генов [9]. Например, установлено, что экспрессия меланофилина играет важную роль в панкреатических бета-клетках, формируя и транспортируя экзосомы, содержащие гранулы инсулина [33]. Описана высокая эволюционная консервативность доменов контакта с плазматической мембраной семейства синапто-тагмин-подобных белков, к которым принадлежит меланофилин [34]. Обнаружена высокая экспрессия меланофилина в тучных клетках [35], клетках миелоидного ряда, вовлеченных в различные иммунологические процессы и патологии [36], предположительно эволюционно наиболее древних клеточных популяций царства животных, выполняющих функции нейроиммунных центров [37].

Выводы

Впервые подобраны надежные праймеры и разработаны условия проведения ПЦР для воспроизводимого накопления ампликонов двух экзонов (из 15) гена меланофилина домашнего кролика. В ходе исследования в экзоне 8 выявлены два гаплотипа, в экзоне 13 – одна мононуклеотидная замена. Их сочетание делает трехпородный кросс Родник схожим с одной из родительских пород – белым великаном. Можно ожидать, что мутации в разных участках гена меланофилина, принимая во внимание полифункциональность кодируемого им белка и его связь с биогенезом меланосом, их внутриклеточным транспортом, а также с функцией лизосом, могут быть связаны не только с пигментацией, но и со способностью отражать состояние молекулярно-генетических систем. Эти системы принимают участие в формировании внутриклеточных органелл, их компартиментализации, транспорте, экзосомальных процессах. По-видимому, это свойство может лежать в основе связей между мутациями в гене меланофилина, изменениями его экспрессии, пигментации и ряда заболеваний, в том числе дефектов иммунной системы (например, при синдроме Грисцелли [38]), формирования липидных капель и отложения жира у птиц [39], а также между подавлением свободнорадикальных процессов в адипоцитах человека [32]. Таким образом, фиксация отдельных мутаций в гене меланофилина помогает отслеживать изменения в функциях других компонентов общего внутриклеточного метаболизма. Подобные изменения, которые отражаются мутациями, способствуют осуществлению отбора мутаций, не имеющих отношения к пигментации животных, в частности, у кроликов.

Критерии авторства

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку данной статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

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

Conflict of interest

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

Список литературы / References

1. Carneiro M, Afonso S, Geraldies A, Garreau H, Bolet G, et al. The genetic structure of domestic rabbits. *Molecular Biology and Evolution*. 2011;28(6):1801–1816. <https://doi.org/10.1093/molbev/msr003>

2. Щукина Е. С., Косовский Г. Ю., Глазко В. И., Кашапова И. С., Глазко Т. Т. Домашний кролик *Oryctolagus cuniculus* var. *domestica* L. как модель в изучении доместикации и биомедицинских исследованиях (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55. № 4. С. 643–658. [Shchukina ES, Kosovsky GYu, Glazko VI, Kashapova IS, Glazko TT. Domestic rabbit *Oryctolagus cuniculus* var. *domestica* L. as a model in the study of domestication and biomedical researches (Review). The Agricultural Biology. 2020;55(4):643–658. (In Russ.)] <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.4.643rus>
3. Dorożyńska K, Maj D. Rabbits – their domestication and molecular genetics of hair coat development and quality. *Animal Genetics*. 2021;52(1):10–20. <https://doi.org/10.1111/age.13024>
4. Bennett DC, Lamoreux ML. The color loci of mice – A genetic century. *Pigment Cell Research*. 2003;16(4):333–344. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0749.2003.00067.x>
5. Alshanbari F, Castaneda C, Juras R, Hillhouse A, Mendoza MN, *et al.* Comparative FISH-mapping of *MC1R*, *ASIP*, and *TYRP1* in New and Old World camelids and association analysis with coat color phenotypes in the dromedary (*Camelus dromedarius*). *Frontiers in Genetics*. 2019;10:340. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00340>
6. Jia X, Ding P, Chen S, Zhao S, Wang J, *et al.* Analysis of *MC1R*, *MITF*, *TYR*, *TYRP1*, and *MLPH* genes polymorphism in four rabbit breeds with different coat colors. *Animals*. 2021;11(1):81. <https://doi.org/10.3390/ani11010081>
7. Neto MV, Hall MJ, Charneca J, Escrevente C, Seabra MC, *et al.* Photoprotective melanin is maintained within keratinocytes in storage lysosomes. *Journal of Investigative Dermatology*. 2025;145(5):1155–1165.e3. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2024.08.023>
8. Schiaffino MV. Signaling pathways in melanosome biogenesis and pathology. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 2010;42(7):1094–1104. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2010.03.023>
9. Morstein J, Bowcut V, Fernando M, Yang Y, Zhu L, *et al.* Targeting Ras-, Rho-, and Rab-family GTPases via a conserved cryptic pocket. *Cell*. 2024;187(22):6379–6392.e17. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2024.08.017>
10. Fukuda M, Kuroda TS, Mikoshiba K. Slac2-a/Melanophilin, the missing link between Rab27 and myosin Va: Implications of a tripartite protein complex for melanosome transport. *Journal of Biological Chemistry*. 2002;277(14):12432–12436. <https://doi.org/10.1074/jbc.C200005200>
11. Kim D-H, Lee J, Ko J-K, Lee K. *Melanophilin* regulates dendritogenesis in melanocytes for feather pigmentation. *Communications Biology*. 2024;7:592. <https://doi.org/10.1038/s42003-024-06284-5>
12. Martel JA, Michael D, Fejes-Tóth G, Náray-Fejes-Tóth A. Melanophilin, a novel aldosterone-induced gene in mouse cortical collecting duct cells. *American Journal of Physiology-Renal Physiology*. 2007;293(3):F904–F913. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00365.2006>
13. Posbergh CJ, Staiger EA, Huson HJ. A stop-gain mutation within *MLPH* is responsible for the lilac dilution observed in jacob sheep. *Genes*. 2020;11(6):618. <https://doi.org/10.3390/genes11060618>
14. Kosovsky GYu, Glazko VI, Abramov OI, Glazko TT. Melanophilin polymorphism in ferrets of different color. *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2023;513(Suppl 1):S12–S17. <https://doi.org/10.1134/S1607672923700655>
15. Barral DC, Seabra MC. The melanosome as a model to study organelle motility in mammals. *Pigment Cell Research*. 2004;17(2):111–118. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0749.2004.00138.x>
16. Mercer JA, Seperack PK, Strobel MC, Copeland NG, Jenkins NA. Novel myosin heavy chain encoded by murine *dilute* coat colour locus. *Nature*. 1991;349:709–713. <https://doi.org/10.1038/349709a0>
17. Wilson SM, Yip R, Swing DA, O'Sullivan TN, Zhang Y, *et al.* A mutation in *Rab27a* causes the vesicle transport defects observed in *ashen* mice. *PNAS*. 2000;97(14):7933–7938. <https://doi.org/10.1073/pnas.140212797>
18. Matesic LE, Yip R, Reuss AE, Swing DA, O'Sullivan TN, *et al.* Mutations in *Mlph*, encoding a member of the Rab effector family, cause the melanosome transport defects observed in *leaden* mice. *PNAS*. 2001;98(18):10238–10243. <https://doi.org/10.1073/pnas.181336698>
19. Lehner S, Gähle M, Dierks C, Stelter R, Gerber J, *et al.* Two-exon skipping within *MLPH* is associated with coat color dilution in rabbits. *PLOS One*. 2013;8(12):e84525. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084525>
20. Fontanesi L, Scotti E, Allain D, Dall'olio S. A frameshift mutation in the *Melanophilin* gene causes the dilute coat colour in rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) breeds. *Animal Genetics*. 2014;45(2):248–255. <https://doi.org/10.1111/age.12104>
21. Demars J, Iannuccelli N, Utzeri VJ, Auvinet G, Riquet J, *et al.* New insights into the Melanophilin (*MLPH*) gene affecting coat color dilution in rabbits. *Genes*. 2018;9(9):430. <https://doi.org/10.3390/genes9090430>
22. Li J, Chen Y, Liu M, Chen Q, Zhou J, *et al.* Association of Melanophilin (*MLPH*) gene polymorphism with coat colour in Rex rabbits. *World Rabbit Science*. 2020;28(1):29–38. <https://doi.org/10.4995/wrs.2020.12082>
23. Diribarne M, Mata X, Chantry-Darmon C, Vaiman A, Auvinet G, *et al.* A deletion in exon 9 of the *LIPH* gene is responsible for the Rex hair coat phenotype in rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *PLOS One*. 2011;6(4):e19281. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019281>
24. Шумилина А. Р. Динамика продуктивных показателей кроликов при создании финального трехпородного кросса. Кролиководство и звероводство. 2019. № 6. С. 9–15. [Shumilina AR. Dynamics of productive indicators of rabbits when creating the final three-breed cross. *Krolikovodstvo i zverovodstvo*. 2019;(6):9–15. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/KODPJY>

25. Косовский Г. Ю., Тинаев Н. И., Балакирев Н. А., Глазко В. И. Кролиководство. М.: Московский Двор; 2023. 352 с. [Kosovsky GYu, Tinaev NI, Balakirev NA, Glazko VI. Rabbit breeding. Moscow: Moskovskij Dvor; 2023. 352 p. (In Russ.)]
26. Колесник Е. С., Глазко В. И., Глазко Т. Т., Косовский Г. Ю. Внутривидовая дифференциация домашнего кролика (*Oryctolagus cuniculus*) с использованием IRAP-PCR. Кролиководство и звероводство. 2022. № 5. С. 33–42. [Kolesnik ES, Glazko VI, Glazko TT, Kosovsky GYu. Intraspecific differentiation of the domestic rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) using IRAP-PCR. Krolikovodstvo i zverovodstvo. 2022;(5):33–42. (In Russ.)] https://doi.org/10.52178/00234885_2022_5_33
27. Bueschbell B, Manga P, Schiedel AC. The many faces of G protein-coupled receptor 143, an atypical intracellular receptor. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 2022;9:873777. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2022.873777>
28. Dai Y, Hu S, Bai S, Li J, Yang N, et al. *CDK1* promotes the proliferation of melanocytes in Rex rabbits. *Genes & Genomics*. 2022;44:1191–1199. <https://doi.org/10.1007/s13258-022-01283-4>
29. Wei M, Yang X, Yang X, Huang Y, Yuan Z, et al. MLPH regulates EMT in pancreatic adenocarcinoma through the PI3K-AKT signaling pathway. *Journal of Cancer*. 2024;15(17):5828–5838. <https://doi.org/10.7150/jca.94573>
30. Tanwar J, Ahuja K, Sharma A, Sehgal P, Ranjan G, et al. Mitochondrial calcium uptake orchestrates vertebrate pigmentation via transcriptional regulation of keratin filaments. *PLOS Biol*. 2024;22(11):e3002895. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3002895>
31. Sharma N, Sharma A, Motiani RK. A novel gain of function mutation in TPC2 reiterates pH-pigmentation interplay: Emerging role of ionic homeostasis as a master pigmentation regulator. *Cell Calcium*. 2023;111:102705. <https://doi.org/10.1016/j.ceca.2023.102705>
32. Kim M-Y, Kim Y-H, Park E-R, Shin Y, Kim GH, et al. MLPH is a novel adipogenic factor controlling redox homeostasis to inhibit lipid peroxidation in adipocytes. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 2024;734:150459. <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2024.150459>
33. Wang H, Mizuno K, Takahashi N, Kobayashi E, Shirakawa J, et al. Melanophilin accelerates insulin granule fusion without predocking to the plasma membrane. *Diabetes*. 2020;69(12):2655–2666. <https://doi.org/10.2337/db20-0069>
34. Chon NL, Tran S, Miller CS, Lin H, Knight JD. A conserved electrostatic membrane-binding surface in synaptotagmin-like proteins revealed using molecular phylogenetic analysis and homology modeling. *Protein Science*. 2024;33(1):e4850. <https://doi.org/10.1002/pro.4850>
35. Babina M, Franke K, Bal G. How “neuronal” are human skin mast cells? *International Journal of Molecular Sciences*. 2022;23(18):10871. <https://doi.org/10.3390/ijms231810871>
36. Мачарадзе Д. Ш. Тучные клетки и триптаза. Современные представления. Медицинская иммунология. 2021. Т. 23. № 6. С. 1271–1284. [Macharadze DSh. Mast cells and tryptase. Modern aspects. *Medical Immunology (Russia)*. 2021; 23(6):1271–1284. (In Russ.)] <https://doi.org/10.15789/1563-0625-MCA-2193>
37. Григорьев И. П., Коржевский Д. Э. Тучные клетки в головном мозге позвоночных – локализация и функции. Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2021. Т. 57. № 1. С. 17–32. [Grigorev IP, Korzhevskii DE. Mast cells in the vertebrate brain: localization and functions. *Zhurnal evolyutsionnoi biokhimii i fiziologii*. 2021;57(1):17–32. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31857/S0044452921010046>
38. Castaño-Jaramillo LM, Lugo-Reyes SO, Cruz Muñoz ME, Scheffler-Mendoza SC, Duran McKinster C, et al. Diagnostic and therapeutic caveats in Griscelli syndrome. *Scandinavian Journal of Immunology*. 2021;93(6):e13034. <https://doi.org/10.1111/sji.13034>
39. Kim DH, Lee J, Suh Y, Chen PR, Lee K. Up-regulation of *Melanophilin (MLPH)* gene during avian adipogenesis and decreased fat pad weights with adipocyte hypotrophy in *MLPH* knockout quail. *Poultry Science*. 2024;104(2):104720. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104720>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2577>
<https://elibrary.ru/ZYEMGJ>

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

Obtaining Ingredients Based on Egg and Plant Protein Mixtures with High Functional and Technological Properties



Denis V. Prikhodko^{ID}, Polina A. Karpukhina^{ID},
Alla A. Krasnoshtanova*^{ID}

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 13.05.2024

Revised: 02.07.2024

Accepted: 01.04.2025

*Alla. A. Krasnoshtanova: aak28@yandex.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-1095-2641>

Denis. V. Prikhodko: <https://orcid.org/0009-0003-5390-4361>

Polina. A. Karpukhina: <https://orcid.org/0009-0000-2606-4481>

© D.V. Prikhodko, P.A. Karpukhina, A.A. Krasnoshtanova, 2025



Abstract.

Most people source protein from animal products such as eggs, meat, and dairy products. However, they are more expensive than plant sources of protein and their consumption can provoke severe allergic reactions. Enzymatic hydrolysis can reduce the allergenicity of egg white, which has the most balanced amino acid composition. The functional properties of egg white can be improved by mixing it with plant protein hydrolysates. This study aimed to select optimal conditions for obtaining mixtures of egg albumin and globulin hydrolysates with plant protein hydrolysates that would have a balanced amino acid composition, low allergenicity, and high functional and technological properties.

The study objects included chicken eggs (74% moisture, 11% crude protein), flax flour (7% moisture, 36% crude protein), corn flour (12% moisture, 8% crude protein), and oat flour (11% moisture, 11% crude protein). The Lowry method, Anson method, ion exchange chromatography, and the ELISA method were used to determine the amino acid composition, allergenicity, as well as functional and technological properties.

Chymopsin was selected as the most effective enzyme for the proteolysis of egg protein isolates – at 50 U/g for globulin and 25 U/g for albumin. The globulin hydrolysates had lower water-holding, emulsifying, and foaming capacities compared to the non-hydrolyzed globulin isolate. The 60-min globulin hydrolysate had the highest fat-holding capacity. The albumin hydrolysates showed lower water-holding, fat-holding, emulsifying, and foaming capacities compared to the non-hydrolyzed albumin isolate. The 90-min albumin hydrolysate was found to be not allergenic. Its mixtures with oat, corn, and flax flour protein hydrolysates were analyzed to determine the ratio that would improve the mixture's functional and technological properties. A 1:5 ratio of albumin hydrolysate and oat flour hydrolysate had higher fat-holding capacity; a 1:5 ratio of albumin hydrolysate and corn flour hydrolysate had higher water- and fat-holding capacities; and a 1:3 ratio of albumin hydrolysate and flax flour hydrolysate had higher emulsifying and fat-holding capacities.

The study proved that mixtures of egg albumin hydrolysates with plant protein hydrolysates have better functional properties, a balanced amino acid composition, and hypoallergenicity.

Keywords. Egg globulin, egg albumin, allergenicity, plant protein hydrolysates, functional and technological properties, enzymatic hydrolysis, amino acid score

For citation: Prikhodko DV, Karpukhina PA, Krasnoshtanova AA. Obtaining Ingredients Based on Egg and Plant Protein Mixtures with High Functional and Technological Properties. *Techniques and Technology*. 2025;55(2):341–351. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2577>

Получение ингредиентов на основе смеси яичного и растительных белков с высокими функциональными и технологическими свойствами



Д. В. Приходько^{ID}, П. А. Карпухина^{ID}, А. А. Красноштанова*^{ID}

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева^{ROR}, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 13.05.2024
Принята после рецензирования: 02.07.2024
Принята к публикации: 01.04.2025

* А. А. Красноштанова: aak28@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-1095-2641>
Д. В. Приходько: <https://orcid.org/0009-0003-5390-4361>
П. А. Карпухина: <https://orcid.org/0009-0000-2606-4481>

© Д. В. Приходько, П. А. Карпухина, А. А. Красноштанова, 2025



Аннотация.

Продукты животного происхождения, такие как яйца, мясо и молочные продукты являются основными источниками белка для большинства людей. Однако они характеризуются более высокой стоимостью, по сравнению с растительными источниками белка, и их потребление может провоцировать тяжелые аллергические реакции. Снижение аллергенности наиболее сбалансированного по аминокислотному составу яичного белка может быть достигнуто путем его ферментативного гидролиза, а для повышения его функциональных свойств может применяться смешение с гидролизатами растительных белков. Цель работы – подобрать оптимальные условия получения смесей гидролизатов яичного альбумина и глобулина с гидролизатами растительных белков, обладающих сбалансированным аминокислотным составом, низкой аллергенностью и высокими функционально-технологическими свойствами.

Объектами исследования послужили куриные яйца, льняная, кукурузная и овсяная мука. Для определения аминокислотного состава, аллергенности и функционально-технологических свойств в работе применяли методы: Лоури, Ансона, ионообменной хроматографии, ИФА.

В ходе исследования подобраны ферментные препараты для протеолиза яичных белков: для глобулина – химопсин (50 ед/г), для альбумина – химопсин (25 ед/г). Гидролизаты глобулина обладали более низкими значениями водоудерживающей, эмульгирующей и пенообразующей способностей в отличие от негидролизированных белков. Самое высокое значение жиरोудерживающей способности наблюдалось у 60-минутного гидролизата глобулина. У гидролизатов альбумина значения водо- и жиरोудерживающей, эмульгирующей и пенообразующей способностей оказались ниже, чем у негидролизованного изолята альбумина. У 90-минутного гидролизата яичного альбумина отмечено отсутствие аллергенности. Подобраны соотношения яичного альбумина и растительного белка в виде смеси: для увеличения жиरोудерживающей способности – альбуминовый гидролизат + гидролизат овсяной муки в соотношении 1:5, для увеличения водо- и жиरो-удерживающей способностей – альбуминовый гидролизат + гидролизат кукурузной муки в соотношении 1:5, для увеличения эмульгирующей и жиरोудерживающей способностей – альбуминовый гидролизат + гидролизат льняной муки в соотношении 1:3.

Доказана целесообразность получения смесей на основе гидролизатов яичного альбумина с гидролизатами растительного белка, отличающихся улучшенными функционально-технологическими свойствами, сбалансированным аминокислотным составом и гипоаллергенностью.

Ключевые слова. Яичный глобулин, яичный альбумин, аллергенность, гидролизат растительного белка, функционально-технологические свойства, ферментативный гидролиз, аминокислотный скор

Для цитирования: Приходько Д. В., Карпухина П. А., Красноштанова А. А. Получение ингредиентов на основе смеси яичного и растительных белков с высокими функциональными и технологическими свойствами. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 341–351. (На англ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2577>

Introduction

Currently, most people source protein from products of animal origin, particularly eggs, meat, and dairy products. However, these products are more expensive than plant sources of protein. Although plant proteins can be

used as an alternative source of protein, most of them have an unbalanced amino acid composition, which limits their use. Mixing plant proteins with animal proteins can reduce the cost of a product, make its protein composition more balanced, and improve its functional properties.

Russia is one of the largest producers of eggs in the world, but not dried or liquid egg products. In 2022, the Russian poultry sector processed only about 30% of egg production. Therefore, there is a need to develop the technology for deep processing of egg components to obtain bioactive substances with valuable functional properties [1].

Chicken egg white consists of 86–87% water, in which nutrients and B vitamins are dissolved. Its main component makes up 9.7–11.5% [2].

Egg white consists mainly of 69.7% ovalbumin, 9.5% conalbumin, 6.7% ovoglobulin, 12.7% ovomucoid, 1.9% ovomucin, 3% lysozyme, and 0.05% avidin [3]. Of these proteins, ovalbumin and conalbumin (which is a flavo-protein) have the greatest biological value. Ovoglobulin is responsible for the foaminess of egg white, while ovomucin stabilizes its foam [4].

Due to its balanced amino acid composition, egg white protein can be used as a functional ingredient in a wide range of specialized foods with high biological and nutritional value [5]. However, the consumption of egg white can cause severe allergic reactions [6]. People who are allergic to chicken egg are often sensitive to several proteins [7, 8], most commonly to ovomucoid and ovomucoprotein.

To prevent or alleviate allergy symptoms, people have to either give up foods containing chicken egg components or consume hypoallergenic products. The second way seems more promising since hypoallergenic products, which contain modified proteins [9], taste like natural products.

To reduce the allergenicity of egg whites, they are exposed to thermal treatment, enzymatic hydrolysis, radiation, ultrasound, and other treatments [10, 11].

Modern food industry seeks to obtain functional food ingredients, including enzymatic hydrolysates of protein isolates [12]. Their advantages over egg white protein are higher solubility in water and better digestibility and absorption in the gastrointestinal tract. In addition, proteolysis leads to the formation of a wide range of bioactive peptides [13].

The most important functional and technological properties of food ingredients are their water- and fat-holding capacities, as well as emulsifying and foaming capacities [14]. Although egg white hydrolysates do not have high functional properties, their advantages over non-hydrolyzed egg white include lower allergenicity and a balanced amino acid composition. Their functional properties can be improved by using plant protein isolates and hydrolysates, for example, obtained from oat, corn or flax flours.

Oat flour has a balanced amino acid composition, which is similar to that of muscle protein. On average, oat flour consists of 12% protein containing albumins, globulins, prolamins, and glutelins. Their content (≈ 40 –45%) can vary depending on the method of extraction [15]. Oat flour protein has a high water-holding capacity.

Corn flour protein is low in tryptophan, methionine, and lysine, but it is fairly rich in leucine [16]. This plant protein contains 40.3% glutelins, 29.9% prolamins, 15.5% scleroproteins, 9.6% albumins, and 4.7 % globulins [17]. Due to its good water-holding properties [18], corn flour protein, when mixed with egg white, can increase the water-holding capacity of chicken egg protein isolate.

Flax flour contains 21–26% of protein substances, namely globulins (up to 95%), glutelins (3%), albumins (1%), and prolamins (1%) [19]. Flax flour proteins have a high emulsifying capacity [20], which can improve this indicator in mixtures with egg white hydrolysates.

However, plant proteins can cause allergies. Therefore, they are exposed to enzymatic hydrolysis in order to produce allergen-free hydrolysates [21].

In this study, we aimed to select optimal conditions for obtaining mixtures of egg albumin and globulin hydrolysates with plant protein hydrolysates that have a balanced amino acid composition, low allergenicity, and high functional and technological properties.

Study objects and methods

We used the following study objects: chicken eggs according to State Standard 31654-2012 (74% moisture, 11% crude protein); flax flour (7% moisture, 36% crude protein) (Kompas Zdorovya, Russia); corn flour (12% moisture, 8% crude protein) (Garnets, Russia); oat flour (11% moisture, 11% crude protein) (Garnets, Russia); hydrolysates of egg globulin, egg albumin, oat protein, corn protein, and flax protein; and mixtures of hydrolysates: egg albumin + oat protein (5:1, 3:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:3, and 1:5), egg albumin + corn protein (5:1, 3:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:3, and 1:5), and egg albumin + flax protein (5:1, 3:1, 2:1, 1:1, 1:2, 1:3, and 1:5).

The enzymatic protein hydrolysates were obtained from enzyme preparations with specific proteolytic activity measured by the Anson method (State Standard 20264.2-88), namely chymopsin (2000 U/g protein; Samson-Med, Russia), pancreatin (177 U/g protein; Biosintez, Russia), and beef pepsin (7500 U/g protein; Moscow Rennet Plant, Russia).

Enzymatic hydrolysis of proteins. Proteins (40 g/L) were enzymatically hydrolyzed for 2 h, with enzyme activity of 50 U/g substrate, under optimal temperature and pH conditions. The enzymatic reaction was stopped and non-hydrolyzed protein was separated by precipitation with 50% trichloroacetic acid and subsequent centrifugation at 6000 rpm for 15 min. Then, the concentration of hydrolysis products in the supernatant was measured using the modified Lowry method. The degree of protein hydrolysis was determined as a ratio between the concentration of the protein's low-molecular fraction in the hydrolysate and the initial protein concentration [22].

Selection of enzyme preparation. Three enzyme preparations were studied, namely pepsin, pancreatin, and chymopsin. Hydrolysis was carried out for 2 h at a

substrate concentration of 40 g/L, proteolytic activity of 25–75 U/g substrate, 40°C, and pH 7.6–8.2. The hydrolysates were analyzed for the content of low-molecular fraction of protein by the modified Lowry method. The degree of protein hydrolysis was determined as described above.

Egg globulin preparation. After separating the yolk, a 4-fold volume of distilled water was added to the egg white. The mixture was kept for 30 min at room temperature. The sediment was separated by centrifugation at 6000 rpm, 20°C for 15 min and dried in air. The resulting fraction of egg globulin contained 83% of the main component.

Egg albumin preparation. The supernatant obtained after isolating the egg globulin was used to isolate the albumin fraction. For this, a 3-fold volume of 96% ethyl alcohol was added to the supernatant, and the albumin fraction was precipitated at room temperature for 1 h. The sediment was separated by centrifugation at 6500 rpm, 20°C for 10 min and dried in air. The resulting fraction of egg albumin contained 88% of the main component.

Oat flour protein hydrolysis. Prior to protein isolation, oat flour was separated from starch by washing three times with water (3:20) for 20 min at room temperature and centrifuging at 5200 rpm for 15 min. Then, the flour was diluted 10 times with distilled water at pH adjusted to 7.0 and thermostatted for 1.5 h at 50°C. The solid phase was separated by centrifugation at 5500 rpm for 15 min. Protein was precipitated from the extract at the isoelectric point at pH 3. The protein precipitate, which was mainly a globulin fraction containing 82% of the main component, was separated by filtration and dried in air at room temperature. To obtain a protein hydrolysate, a 1% suspension of the protein was hydrolyzed with pancreatin (5 U/mL) for 60 min at 40°C with constant stirring. The hydrolysate was dried in air at room temperature.

Corn flour protein hydrolysis. Prior to protein extraction, starch was removed from corn flour as described above for oat flour. Protein was extracted with a 0.1 N sodium hydroxide solution from a 10% suspension with constant stirring at room temperature for 30 min. The supernatant was separated by centrifugation at 6000 rpm for 15 min. Protein was precipitated from the supernatant at pH 6.0, after which the precipitate was separated by centrifugation at 6000 rpm for 15 min and dried in air at room temperature. A 2% solution was prepared from the protein precipitate, which was mainly a globulin fraction containing 85% of the main component. The pH was adjusted to 8.2, and the enzyme preparation trypsin was added until an activity of 0.35 U/mL was achieved. Hydrolysis was carried out at 40 °C for 60 min with constant stirring. The hydrolysate was dried in air at room temperature.

Flax flour protein hydrolysis. Protein extract was obtained from flax flour with a 0.5 M sodium bicarbonate

solution (flour to solution ratio of 1:8) at 25°C for 30 min with constant stirring. The resulting suspension was separated by centrifugation at 6500 rpm for 15 min. Then, 2 volumes of ethyl alcohol were added to precipitate protein from the flax extract at a pH of 4.5–5.0 at a reduced temperature (2–8°C) for 4 h. The precipitate was separated by centrifugation at 2000 rpm for 15 min and dried at room temperature. To obtain a hydrolysate, a 4% suspension of the flax protein globulin fraction containing 84% of the main component was hydrolyzed with pancreatin (5 U/mL) at pH 7.6, 40°C for 30 min with constant stirring. The resulting hydrolysate was dried in air at room temperature.

The effect of enzymatic hydrolysis time on the functional properties of hydrolysates. Hydrolysates based on egg globulin and albumin, as well as oat, corn, and flax globulins, were prepared at different enzymolysis times. For this, 1 g of a hydrolysate was mixed with water (1:25) and an enzyme preparation was added until its proteolytic activity in the solution reached 40 U/g protein. Hydrolysis was carried out at the optimum temperature and pH for 15, 30, 60, 90, and 120 min. Heating protein hydrolysates may produce an unpleasant odor due to side chemical reactions such as the Maillard and Strecker reactions [23]. Therefore, the enzymes were inactivated by cooling to –10°C. The hydrolysates were dried at 50°C prior to the analysis of their functional properties.

Protein content. The content of protein in the hydrolysates was quantified by a modified Lowry method (high-molecular and low-molecular fractions determined separately), with a preliminary precipitation of the high-molecular fraction with 50% trichloroacetic acid.

Total proteolytic activity. The total proteolytic activity was measured by a modified Anson method. A unit of proteolytic activity was defined as an enzyme's ability to convert sodium caseinate into a form unprecipitable with trichloroacetic acid in an amount corresponding to 1 μmol of tyrosine in one min at 30°C.

Allergenicity of egg albumin and globulin hydrolysates. The allergenicity of egg albumin and globulin hydrolysates was determined by an enzyme immunoassay according to the ALINORM 08/31/26 Standard for food products (Methodological Guidelines 4.1.2880-11 4.1). The assay took into account the specific interaction between the allergenic protein in the sample and the antibodies to it contained in the test solution (Siemens, Germany). For the assay, we placed 100 μL of a 1% solution of the test sample into a well of the plate and added 100 μL of the test conjugate solution containing antibodies to immunoglobulin E. This caused an “antibody-antigen” complex to form and precipitate. The resulting analytical signal, which depended on the interaction between the antibody-antigen complex and the conjugate on the surface of the plate wells, was measured in terms of optical density at 450 nm. Then, this value was recalculated for egg white (an optical density value of one corresponding to 50 μg/L (1 kU/L) of immunoglobulin E

in the sample. Allergenicity was considered low if the immunoglobulin E content was at least 35 µg/L and moderate if it was under 150 µg/L.

Amino acid composition. The amino acid composition of the hydrolysate samples and their mixtures was determined by ion exchange chromatography on an ARACUS amino acid analyzer (membraPure GmbH, Bodenheim, Germany) equipped with a C18 column and a refractive index detector. High-performance liquid chromatography was supplemented with mass spectrometry, with electrospray ionization for amino acid separation followed by a ninhydrin reaction and photometric detection [24].

Fat-holding capacity. Glass centrifuge tubes were filled with 0.5 g of the test sample and then 0.125 to 0.625 mL of vegetable oil was added at 0.125 mL intervals. The contents of the tubes were mixed for 10 min, after which the samples were stirred for 15 min, cooled to room temperature, and centrifuged at 1500 rpm for 15 min. The fat-holding capacity was determined as the maximum amount of added oil which did not cause the oil phase to separate during the test (expressed in terms of 1 g of preparation) [25].

Water-holding capacity. Glass centrifuge tubes were filled with 0.5 g of the test sample and 1.5 to 2.5 mL of water was added at 0.25 mL intervals. The test continued as described above for the fat-holding capacity. The water-holding capacity was determined as the maximum amount of added water which did not cause the aqueous phase to separate during the test (expressed in terms of 1 g of preparation) [24].

Emulsifying capacity. Glass centrifuge tubes were filled with 1 g of the test sample and then mixed with 5 mL of water and 5 mL of oil. The contents of the tubes were stirred for 10 min, followed by the procedure described above. The emulsifying capacity was determined as a percentage ratio between the aqueous and oil phases separated from the emulsion [26].

Foaming capacity. Conical flasks (50 mL) were filled with 0.25 g of the test sample and 25 mL of water was added. The resulting solution was shaken with a shaker for 30 s. It was then poured into a measuring cylinder to measure the height of the foam column [27].

Results and discussion

Allergenicity is a significant disadvantage of egg protein isolates, which limits their use in the food industry. This problem can be solved by modifying the protein by hydrolysis. The resulting hydrolysates not only have lower allergenicity, but also better functional and technological properties.

Enzymatic hydrolysis is the best method of protein hydrolysis since it occurs under milder conditions compared to acid or alkaline hydrolysis. However, its use is constrained by the high cost of enzyme preparations.

The type of enzyme and hydrolysis time affect the functional and technological properties of protein hydro-

lysates, as well as their allergenicity. First, to determine the most effective enzyme, we hydrolyzed isolates of egg white globulin and albumin fractions with pancreatin (177 u/g), pepsin (1070 u/g), and chymopsin (2000 u/g) (Table 1).

As can be seen, chymopsin with an activity of 2.0 U/mL for globulin and 1.0 U/mL for albumin ensured the highest degree of hydrolysis and enzyme efficiency. A further increase in its activity did not lead to a higher degree of hydrolysis.

Next, we determined the hydrolysis time that would decrease the allergenicity of protein isolates and improve their functional properties. For this, egg albumin and globulin isolates were hydrolyzed with chymopsin at a selected dosage for 10, 20, 30, 60, 90, and 120 min. The resulting hydrolysates were dried in air at room temperature, after which we determined their water-holding, fat-holding, emulsifying, and foaming capacities (Fig. 1).

We found that the hydrolysates obtained at different enzymolysis times had significantly different functional and technological properties compared to the original proteins.

The water-holding capacity of all egg globulin hydrolysates was significantly lower than that of the original isolate (max. 4.24 g protein/g water). The fat-holding capacity of egg globulin was high before hydrolysis and increased slightly from 0.52 to 0.60 g protein/g oil after 60 min of hydrolysis. The emulsifying and foaming capacity values were the highest in the original globulin isolate.

As for egg albumin, the highest water-holding and fat-holding values were observed in the non-hydrolyzed isolate (4.55 g protein/g water and 0.88 g protein/g oil, respectively). The emulsifying and foaming values were also higher in the non-hydrolyzed isolate.

The hydrolysates with lower functional and technological properties compared to non-hydrolyzed proteins should not be used to prepare functional food products.

Table 1. Determination of enzyme type and dosage for effective hydrolysis of egg albumin and globulin

Таблица 1. Определение типа ферментного препарата и его дозировки для эффективного гидролиза яичного альбумина и яичного глобулина

Enzyme	Enzyme activity, U/mL	Hydrolysis degree, %	
		Globulin	Albumin
Pancreatin	1.0	31 ± 2	31 ± 2
	2.0	35 ± 2	29 ± 2
	3.0	36 ± 2	30 ± 2
Pepsin	1.0	30 ± 2	27 ± 2
	2.0	49 ± 3	57 ± 3
	3.0	50 ± 3	58 ± 3
Chymopsin	1.0	68 ± 3	74 ± 4
	2.0	71 ± 4	70 ± 4
	3.0	70 ± 4	71 ± 4

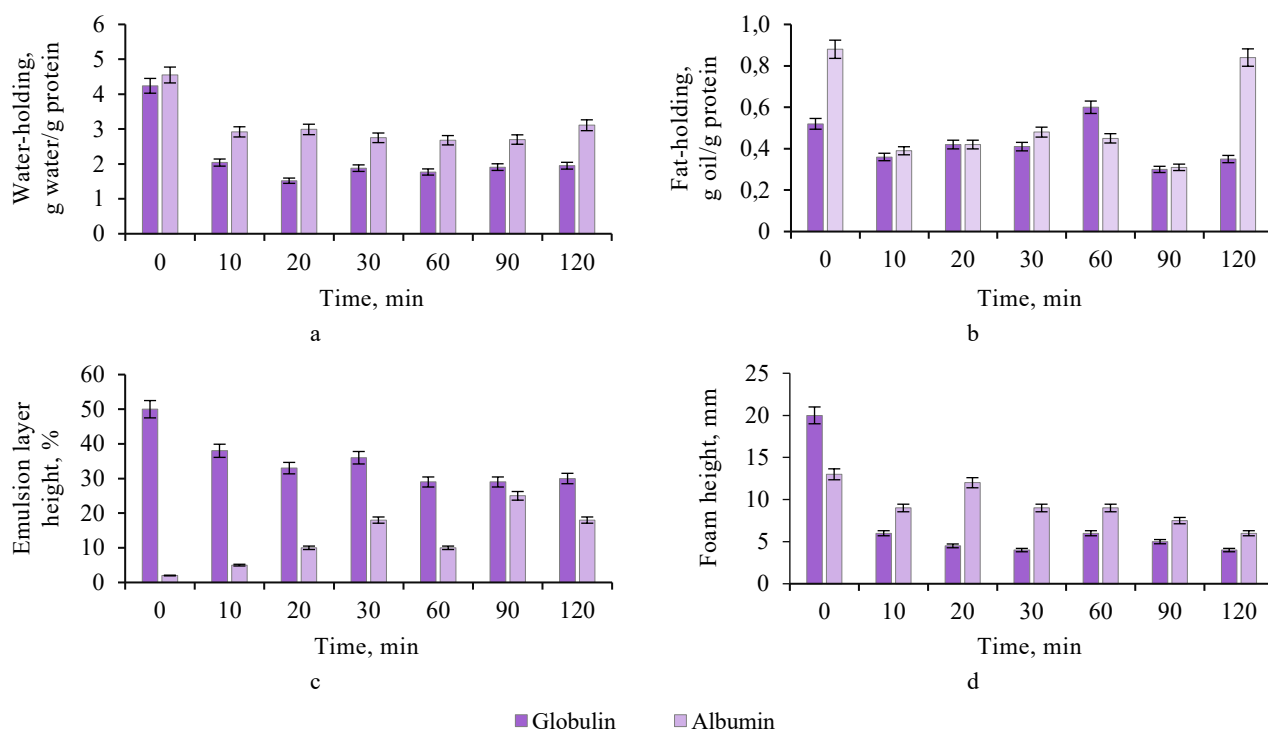


Figure 1. Effect of enzymatic hydrolysis time on the functional properties of egg albumin and globulin hydrolysates: a – water-holding capacity, b – fat-holding capacity, c – emulsifying capacity, and d – foaming capacity

Рисунок 1. Влияние времени ферментативного гидролиза яичного альбумина и яичного глобулина на функциональные свойства гидролизатов: а – водоудерживающая способность, б – жирудерживающая способность, с – эмульгирующая способность, д – пенообразующая способность

Table 2. Allergenicity of egg globulin and albumin and their hydrolysates

Таблица 2. Исследование аллергенности яичного глобулина и яичного альбумина и их гидролизатов

Study object	Allergenicity, kU/L	Allergen-specific IgE antibody level
Egg globulin	0.55 ± 0.03	Low
Egg albumin	15.30 ± 0.80	High
Egg albumin hydrolysate, 10 min	4.50 ± 0.20	High
Egg albumin hydrolysate, 20 min	2.40 ± 0.10	Medium
Egg albumin hydrolysate, 30 min	2.80 ± 0.10	Medium
Egg albumin hydrolysate, 60 min	2.40 ± 0.10	Medium
Egg albumin hydrolysate, 90 min	0.35 ± 0.02	Not detected
Egg albumin hydrolysate, 120 min	0.32 ± 0.02	Not detected

According to literature, egg white is highly allergenic. Therefore, we tested egg albumin and globulin isolates and their hydrolysates for allergenicity using the enzyme immunoassay method described above (Table 2).

As can be seen in Table 2, allergenicity was low in the globulin isolate and high in the albumin isolate. However, the longer egg albumin was hydrolyzed, the lower was its allergenicity. Since no allergenicity was detected after a 90 min enzymatic hydrolysis, this egg albumin hydrolysate can be used to produce hypoallergenic food products. In contrast, egg globulin hydrolysates cannot be recommended for functional nutrition as their functional properties are much lower compared to those

of egg globulin isolates. Therefore, only egg albumin hydrolysates were exposed to further analyses.

Although the 90-min egg albumin hydrolysate was not allergenic, its functional properties needed improving. For this, we mixed it with oat, corn, and flax flour globulins and their hydrolysates in different ratios.

Previous studies [28, 29] selected optimal conditions for obtaining hydrolysates of oat, corn, and flax flour globulins with high water-holding and emulsifying capacities.

Figure 2 shows the values of water-holding, fat-holding, emulsifying, and foaming capacities for mixtures of the 90-min enzymatic lysate of egg albumin with oat,

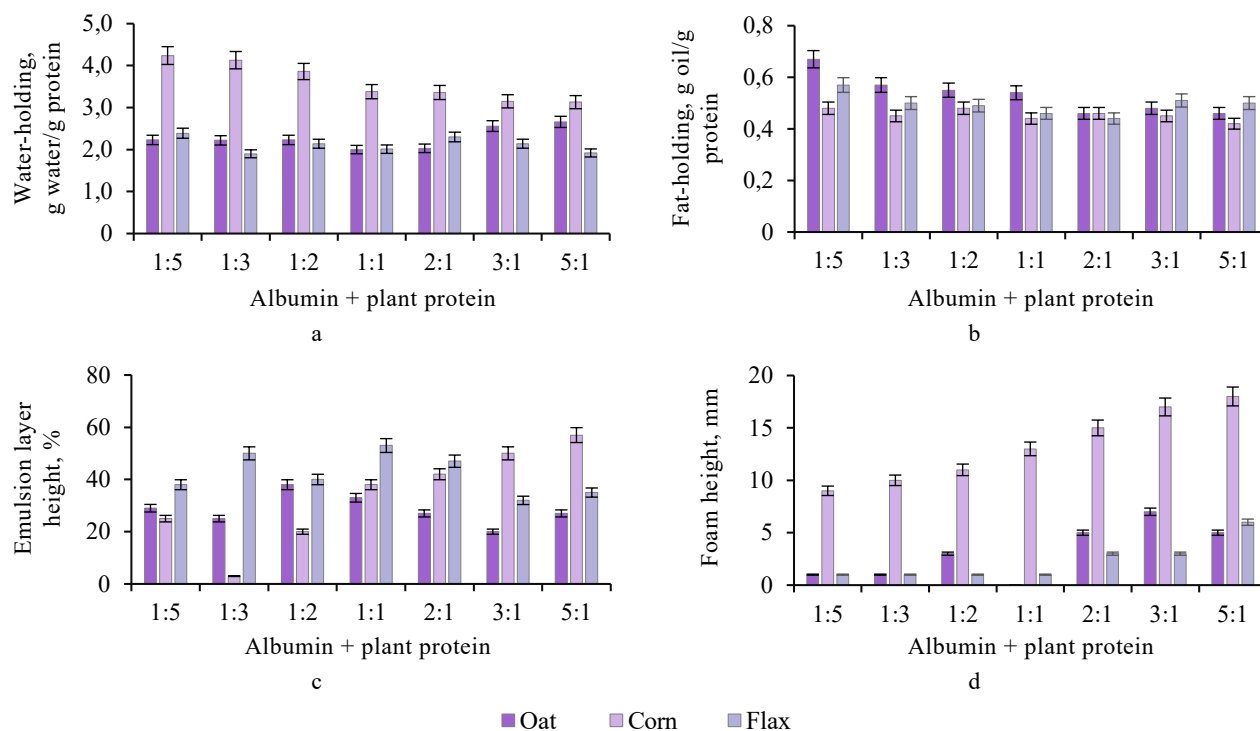


Figure 2. Effect of egg albumin hydrolysate + plant protein hydrolysate ratios on the functional and technological properties of mixed hydrolysates: a – water-holding capacity, b – fat-holding capacity, c – emulsifying capacity, and d – foaming capacity

Рисунок 2. Влияние массового соотношения гидролизат яичного альбумина: гидролизат растительного белка на функционально-технологические свойства смешанных гидролизатов: а – водоудерживающая способность, б – жиродерживающая способность, с – эмульгирующая способность, d – пенообразующая способность

corn, and flax flour hydrolysates with the best functional and technological properties.

The highest water-holding capacity was found in the mixtures of albumin and corn flour globulin hydrolysates, especially in a 1:5 ratio (4.24 g water/g protein). The mixtures of albumin hydrolysates with oat and flax flour globulin hydrolysates had significantly lower water-holding capacity (2.66 g water/g protein in a 5:1 ratio and 2.39 g water/g protein in a 1:5 ratio, respectively). Therefore, a 1:5 ratio of egg albumin hydrolysate and corn protein hydrolysate can be recommended for use to increase the water-holding capacity of food products.

The fat-holding capacity values were found to be in the same range for all the mixtures. The highest values were observed in the mixtures of albumin + oat protein (1:5; 0.67 g oil/g protein), albumin + corn protein (1:2 and 1:5; 0.48 g oil/g protein), and albumin + flax protein (1:5; 0.57 g oil/g protein). Thus, a 1:5 ratio of egg albumin hydrolysate and oat flour protein hydrolysate can be recommended to increase the fat-holding capacity of food products.

The highest emulsifying capacity values were found in a 1:2 ratio of egg albumin and oat globulin (38%), a 5:1 ratio of egg albumin and corn globulin (57%), and a 1:1 ratio of albumin and flax protein (53%). There-

fore, the last two mixtures can be used to increase the emulsifying capacity of food products.

The foaming capacity values were lower in all the mixtures of albumin with plant proteins. The greatest foam height was observed in a 3:1 ratio of egg albumin and oat globulin, a 5:1 ratio of egg albumin and corn globulin, and a 5:1 ratio of egg albumin and flax globulin. Since the maximum foaming capacity was demonstrated by the mixture with flax protein, it can be used to increase the foaming capacity of food products.

Thus, our results showed that the water- and fat-holding capacities can be significantly increased by adding corn globulin to the egg albumin hydrolysate in a ratio of 1:5. However, the emulsifying capacity of this mixture was similar to that of the egg albumin hydrolysate, while its foaming capacity decreased about 3 times. Adding oat globulin to the egg albumin hydrolysate in a ratio of 1:5 more than doubled the fat-holding capacity, with the water-holding and emulsifying capacities remaining unchanged and the foaming capacity decreasing to its minimum. The emulsifying capacity can be improved by adding flax globulin to the egg albumin hydrolysate in a ratio of 1:3. The mixture's fat-holding capacity was also higher, while the water-holding and foaming capacities were lower compared to those of the egg white hydrolysate.

One of the significant disadvantages of plant proteins is their low content of some amino acids. In particular, oat protein is low in glycine, cysteine, tryptophan, and arginine. Corn protein is low in glycine, arginine, tryptophan, methionine, cysteine, and histidine. Flax protein has a reduced content of cysteine, methionine, proline, and histidine. At the same time, egg proteins have a balanced amino acid composition. Therefore, we determined the amino acid composition of the obtained mixtures of egg albumin with plant globulins in order to select a sample with a balanced amino acid composition in addition to high functional properties (Table 3).

Table 4 shows amino acid scores for the selected mixtures. As can be seen, the mixtures of egg albumin

hydrolysate and plant globulin hydrolysates had higher scores for almost all essential amino acids.

The mixture of egg albumin hydrolysate with oat globulin hydrolysate had scores below 100 for lysine (87), threonine (93), valine (94), as well as methionine and cysteine (71). The mixture of egg albumin hydrolysate with corn globulin hydrolysate had the following limiting amino acids: lysine (62), isoleucine (80), threonine (90), methionine and cysteine (71), and valine (79). In the mixture of egg albumin hydrolysate with flax globulin hydrolysate, the limiting amino acids were valine (86) and methionine + cysteine (51).

Of the three mixtures under study, a 1:3 ratio of egg albumin hydrolysate and flax globulin hydrolysate

Table 3. Amino acid composition of hydrolysates of egg albumin; oat, corn, and flax flour globulins; and their mixtures

Таблица 3. Аминокислотный состав гидролизатов яичного альбумина, овсяного, кукурузного, льняного глобулинов муки и их смесей

Amino acid, %	Hydrolysate of						
	egg albumin, 90 min	oat globulin, 60 min	corn globulin, 30 min	flax globulin, 30 min	egg albumin, 90 min +		
					egg albumin + oat globulin, 1:5	corn globulin, 1:5	flax globulin, 1:3
Gly	3.20 ± 0.20	0.63 ± 0.03	0.41 ± 0.02	14.00 ± 0.70	1.00 ± 0.10	0.93 ± 0.05	11.00 ± 1.00
Ala	7.20 ± 0.40	6.80 ± 0.30	6.40 ± 0.30	6.30 ± 0.30	6.90 ± 0.30	6.50 ± 0.30	6.50 ± 0.30
Val	1.70 ± 0.10	5.30 ± 0.30	4.40 ± 0.20	5.20 ± 0.30	4.70 ± 0.20	4.00 ± 0.20	4.30 ± 0.20
Ile	5.50 ± 0.30	3.90 ± 0.20	2.70 ± 0.10	4.70 ± 0.20	4.20 ± 0.20	3.20 ± 0.20	4.90 ± 0.20
Leu	9.90 ± 0.50	7.40 ± 0.40	12.00 ± 1.00	7.00 ± 0.40	12.00 ± 1.00	12.00 ± 1.00	7.70 ± 0.40
Pro	4.50 ± 0.20	4.30 ± 0.20	5.90 ± 0.30	1.90 ± 0.10	4.30 ± 0.20	5.70 ± 0.30	2.60 ± 0.10
Ser	7.40 ± 0.40	6.00 ± 0.30	4.40 ± 0.20	7.50 ± 0.40	6.20 ± 0.30	7.50 ± 0.40	7.50 ± 0.40
Thr	5.80 ± 0.30	3.30 ± 0.20	3.20 ± 0.20	3.60 ± 0.20	3.70 ± 0.20	3.60 ± 0.20	4.20 ± 0.20
Cys	1.00 ± 0.10	1.10 ± 0.10	1.80 ± 0.10	0.90 ± 0.10	1.10 ± 0.10	1.70 ± 0.10	0.92 ± 0.10
Met	3.50 ± 0.20	2.60 ± 0.10	1.90 ± 0.10	1.40 ± 0.10	2.80 ± 0.10	2.20 ± 0.10	1.90 ± 0.10
Asp	6.30 ± 0.30	9.10 ± 0.50	9.20 ± 0.50	3.80 ± 0.20	8.60 ± 0.40	8.70 ± 0.40	4.40 ± 0.20
Glu	17.00 ± 0.90	17.00 ± 0.90	18.00 ± 1.00	9.50 ± 0.50	17.00 ± 1.00	18.00 ± 1.00	11.00 ± 1.00
Lys	7.90 ± 0.40	4.20 ± 0.20	2.50 ± 0.10	5.80 ± 0.30	4.80 ± 0.20	3.40 ± 0.20	6.30 ± 0.30
Arg	5.70 ± 0.30	0.64 ± 0.03	0.44 ± 0.02	4.20 ± 0.20	1.50 ± 0.10	1.30 ± 0.10	4.60 ± 0.20
His	2.40 ± 0.10	0.32 ± 0.02	0.36 ± 0.02	1.00 ± 0.10	0.73 ± 0.04	1.20 ± 0.10	1.40 ± 0.10
Phe	6.30 ± 0.30	2.80 ± 0.10	4.90 ± 0.20	5.10 ± 0.30	3.40 ± 0.20	5.10 ± 0.30	5.40 ± 0.30
Trp	5.70 ± 0.30	1.30 ± 0.07	0.61 ± 0.03	3.50 ± 0.20	2.00 ± 0.10	3.90 ± 0.20	4.10 ± 0.20
Tyr	2.80 ± 0.10	6.40 ± 0.30	3.80 ± 0.20	3.50 ± 0.20	5.80 ± 0.30	3.40 ± 0.20	3.30 ± 0.20

Table 4. Amino acid scores, %, for mixtures of egg albumin hydrolysates with plant globulin hydrolysates

Таблица 4. Аминокислотный скор, %, смесей гидролизатов яичного альбумина с гидролизатами растительных глобулинов

Amino acid	Hydrolysate of						
	egg albumin, 90 min	oat globulin, 60 min	corn globulin, 30 min	flax globulin, 30 min	albumin, 90 min +		
					oat globulin, 1:5	corn globulin, 1:5	flax globulin, 1:3
Lys	144 ± 7	76 ± 4	45 ± 2	105 ± 5	87 ± 4	62 ± 3	115 ± 6
Met+Cys	129 ± 6	67 ± 3	67 ± 3	42 ± 2	71 ± 4	71 ± 4	51 ± 3
Ile	138 ± 7	99 ± 5	68 ± 3	118 ± 6	105 ± 5	80 ± 4	123 ± 6
Leu	141 ± 7	106 ± 5	170 ± 9	100 ± 5	174 ± 9	166 ± 8	110 ± 6
Thr	145 ± 7	83 ± 4	80 ± 4	90 ± 5	93 ± 5	90 ± 5	105 ± 5
Phe+Tyr	152 ± 8	153 ± 8	145 ± 7	156 ± 8	153 ± 8	142 ± 7	145 ± 7
Trp	570 ± 29	130 ± 7	60 ± 3	350 ± 18	200 ± 10	390 ± 20	410 ± 21
Val	34 ± 2	106 ± 5	88 ± 4	104 ± 5	94 ± 5	79 ± 4	86 ± 4

had the best amino acid composition, with the highest scores and fewer limiting amino acids.

Conclusion

Chymopsin was selected as the most effective enzyme for the proteolysis of egg protein isolates – at 50 U/g for globulin and 25 U/g for albumin.

Egg globulin and albumin isolates were hydrolyzed at different times with the selected enzymes to study the hydrolysates' functional and technological properties. All globulin hydrolysates had lower water-holding, emulsifying, and foaming capacities compared to the non-hydrolyzed globulin isolate. The 60-min globulin hydrolysate had the highest fat-holding capacity. All albumin hydrolysates showed lower water-holding, fat-holding, emulsifying, and foaming capacities compared to the non-hydrolyzed albumin isolate. The hydrolysis reduced the allergenicity of egg albumin and its 90-min hydrolysate was found to be not allergenic.

The non-allergenic 90-min egg albumin hydrolysate was mixed with oat, corn, and flax flour protein hydrolysates to determine the ratio that would improve the mixture's functional and technological properties. According to the results, a 1:5 ratio of albumin hydrolysate and oat flour hydrolysate had higher fat-holding capacity; a 1:5 ratio of albumin hydrolysate and corn flour hydrolysate had higher water- and fat-holding capacities; and a 1:3

ratio of albumin hydrolysate and flax flour hydrolysate had higher emulsifying and fat-holding capacities.

The scores for most essential amino acids in the selected mixtures exceeded 100%.

Contribution

D.V. Prikhodko conducted the experiments, processed the data, and wrote the manuscript. P.A. Karpushina conducted the experiments, processed the data, and formulated intermediate conclusions. A.A. Krasnoshtanova edited and corrected the final version of the manuscript and formulated the conclusions.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Критерии авторства

Приходько Д. В. – проведение экспериментов, обработка данных, написание рукописи. Карпухина П. А. – проведение экспериментов, обработка данных, формулировка и составление промежуточных выводов. Красноштанова А. А. – редактирование и корректировка рукописи, формулировка выводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

References / Список литературы

1. Krasnoshtanova AA, Yudina AN. Egg components like a basis for development of scientific foundation of technology for products of lipid and protein origin with high level value. *Butlerov Communication*. 2022;70(6):109–123. (In Russ.) [Красноштанова А. А., Юдина А. Н. Роль яичных компонентов в разработке научных основ технологии получения продуктов липидной и белковой природы с высокой добавленной стоимостью. *Бутлеровские сообщения*. 2022. Т. 70. № 6. С. 109–123.] <https://elibrary.ru/QHQIPB>
2. Bizanov G. IgY extraction and purification from chicken egg yolk. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. 2018;68(3):265–272. <https://doi.org/10.12681/jhvms.15466>
3. Li Z, Huang X, Tang Q, Ma M, Jin Y, *et al.* Functional properties and extraction techniques of chicken egg white proteins. *Foods*. 2022;11(16):2434. <https://doi.org/10.3390/foods11162434>
4. Abeyathne E, Huang X, Ahn DU. Antioxidant, angiotensin-converting enzyme inhibitory activity and other functional properties of egg white proteins and their derived peptides – A review. *Poultry Science*. 2018;97(4):1462–1468. <https://doi.org/10.3382/ps/pex399>
5. Sidorova YuS, Mazo VK, Zorin SN, Stefanova IL. The evaluation of biological value and immunochemical characteristics of the coagulated chicken egg white. *Problems of Nutrition*. 2018;87(1):44–50. (In Russ.) [Сидорова Ю. С., Мазо В. К., Зорин С. Н., Стефанова И. Л. Оценка биологической ценности и антигенности коагулированного белка куриного яйца. *Вопросы питания*. 2018. Т. 87. № 1. С. 44–50.] <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10005>
6. de Pilli T. Development of a vegetable oil and egg proteins edible film to replace preservatives and primary packaging of sweet baked goods. *Food Control*. 2020;114:107273. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107273>
7. Shukla P, Chopada K, Sakure A, Hati S. Current trends and applications of food-derived antihypertensive peptides for the management of cardiovascular disease. *Protein & Peptide Letters*. 2022;29(5):408–428. <https://dx.doi.org/10.2174/0929866529666220106100225>
8. Réhault-Godbert S, Guyot N, Nys Y. The golden egg: Nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health. *Nutrients*. 2019;11(3):684. <https://doi.org/10.3390/nu11030684>
9. Gromov DA, Borisova AV, Bakharev VV. Food allergens and methods for producing hypoallergenic foods. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2021;51(2):232–247. (In Russ.) [Громов Д. А., Борисова А. В., Бахарев В. В. Пищевые аллергены и способы получения гипоаллергенных пищевых продуктов. *Техника и технология пищевых производств*. 2021. Т. 51. № 2. С. 232–247.] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-232-247>

10. Lesmes U. Quantifying digestion products: Physicochemical aspects. In: Gouseti O, Bornhorst G, Bakalis S, Mackie A, editors. *Interdisciplinary Approaches to Food Digestion*. Cham: Springer; 2019. pp. 231–253 https://doi.org/10.1007/978-3-030-03901-1_11
11. Mahler V, Goodman RE. Definition and design of hypoallergenic foods. In: Kleine-Tebbe J, Jakob T, editors. *Molecular allergy diagnostics: Innovation for a better patient management*. Cham: Springer; 2017. pp. 487–511. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42499-6_27
12. Monaci L, Pilolli R, de Angelis E, Crespo JF, Novak N, *et al.* Chapter three – Food allergens: Classification, molecular properties, characterization, and detection in food sources. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2020;93:113–146. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2020.03.001>
13. Milentyeva IS, Davydenko NI, Rasshchepkin AN. Casein proteolysis in bioactive peptide production: Optimal operating parameters. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(4):726–735. (In Russ.) [Милентьева И. С., Давыденко Н. И., Расщепкин А. Н. Подбор рабочих параметров для проведения направленного протеолиза казеина с целью получения биопептидов. *Техника и технология пищевых производств*. 2020. Т. 50. № 4. С. 726–735.] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-726-735>
14. Agarkova EYu, Kruchinin AG, Ryazantseva KA, Sherstneva NE. Functional property enhancement of milk-based proteins using enzymatic hydrolysis. *Milk Processing*. 2020;(2):16–19. (In Russ.) [Агаркова Е. Ю., Кручинин А. Г., Рязанцева К. А., Шерстнева Н. Е. Повышение функциональных свойств белков молочной сыворотки путем ферментативного гидролиза. *Переработка молока*. 2020. № 2. С. 16–19.] <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2020-02-16-18>
15. Feofilaktova OV, Ponomarev AS. Technological property research of the alternative flour types while food producing in catering in catering. *Food industry*. 2019;4(2):28–34. (In Russ.) [Феофилактова О. В., Пономарев А. С. Исследование технологических свойств нетрадиционных видов муки при производстве продукции предприятий общественного питания. *Индустрия питания*. 2019. Т. 4. № 2. С. 28–34.] <https://elibrary.ru/VXREVG>
16. Ananskikh VV, Shleina LD. About a possibility of receiving maltodextrins from cornmeal. *Storage and Processing of Farm Products*. 2017;(11):9–13. [Ананских В. В., Шлеина Л. Д. О возможности получения мальтодекстринов из кукурузной муки. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2017. № 11. С. 9–13.] <https://elibrary.ru/YMTKQA>
17. Renzyaeva TV, Tuboltseva AS, Renzyaev AO. Various flours in pastry production technology. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(2):407–416. (In Russ.) [Рензяева Т. В., Тубольцева А. С., Рензяев А. О. Мука различных видов в технологии мучных кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52. № 2. С. 407–416.] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2373>
18. Mazhulina IV, Tertychnaya TN, Andrianov EA. Formulating a functional cake with hawthorn and flax products. *Khleboprodukty*. 2018;(5):45–47. (In Russ.) [Мажулина И. В., Тертычная Т. Н., Андрианов Е. А. Разработка рецептуры кекса функционального назначения с продуктами переработки боярышника и льна. *Хлебопродукты*. 2018. № 5. С. 45–47.] <https://elibrary.ru/LBAWMX>
19. Varivoda AA. Utilization of oil and fat industry by-products as functional ingredients for the bakery industry. *Polzunovskiy vestnik*. 2019;(3):3–7. (In Russ.) [Варивода А. А. Использование побочной продукции масложирового производства в качестве функциональных ингредиентов для хлебопекарной отрасли. *Ползуновский вестник*. 2019. № 3. С. 3–7.] <https://elibrary.ru/PMZGPC>
20. Merenkova SP, Semizdralova VV, Paymulina AV. Analysis of the influence of linseed meal on structural-and-mechanical properties of meat products. *Bulletin of South Ural State University, Series: Food and Biotechnology*. 2018;6(4):42–51. (In Russ.) [Меренкова С. П., Семиздралова В. В., Паймулина А. В. Анализ влияния льняной муки на структурно-механические свойства мясных продуктов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*. 2018. Т. 6. № 4. С. 42–51.] <https://doi.org/10.14529/food180406>
21. Krasnoshtanova AA, Shul'ts LV. Preparation and evaluation of the functional properties of protein isolates and hydrolysates from plant raw materials. *Chemistry of plant raw material*. 2022;(4):299–309. (In Russ.) [Красноштанова А. А., Шульц Л. В. Получение и оценка функциональных свойств белковых изолятов и гидролизатов из растительного сырья. *Химия растительного сырья*. 2022. № 4. С. 299–309.] <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220410952>
22. Prikhodko DV, Krasnoshtanova AA. Study of the functional properties of wheat gluten fractions. *Scientific achievements of the third millennium. SPC LJJournal*. New York, 2021:161–165. (In Russ.) [Приходько Д. В., Красноштанова А. А. Исследование функциональных свойств фракций пшеничного глютена. *Scientific achievements of the third millennium. SPC LJJournal*. New York, 2021. С. 161–165.] <https://doi.org/10.18411/scienceconf-03-2021-30>
23. Linhart B, Freidl R, Elisyutina O, Karaulov A, *et al.* Molecular approaches for diagnosis, therapy and prevention of cow's milk allergy. *Nutrients*. 2019;11(7):1492. <https://doi.org/10.3390/nu11071492>
24. Babich OO, Razumnikova IS, Poletaev AU, Morozova AI. Keratin containing waste processing and manufacture of albuminous hydrolysates for food and fodder purposes. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2011;(2):7–11. (In Russ.) [Бабич О. О., Разумникова И. С., Полетаев А. Ю., Морозова А. И. Переработка вторичного кератинсодержащего сырья и получение белковых гидролизатов на пищевые и кормовые цели. *Техника и технология пищевых производств*. 2011. № 2. С. 7–11.] <https://elibrary.ru/NYGVEB>

25. Kumar D, Chatli MK, Singh R, Mehta N, Kumar P. Antioxidant and antimicrobial activity of camel milk casein hydrolysates and its fractions. *Small Ruminant Research*. 2016;139:20–25. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2016.05.002>
26. Berdutina AV, Gromov AS. Methodology for determining the emulsion properties of protein preparations. *Food Industry*. 2009;(9):35–37. (In Russ.) [Бердutiна А. В., Громов А. С. Методика определения эмульсионных свойств белковых препаратов. *Пищевая промышленность*. 2009. № 9. 35–37.] <https://elibrary.ru/KWXCQV>
27. Popov VN, Plotnikova IV, Magomedov GO, Magomedov MG, Polyakova LE, *et al.* Comprehensive evaluation of foam-forming properties of a serum of serum proteins for producing special purpose products. *Food Industry*. 2020;(8):42–47. (In Russ.) [Попов В. Н., Плотникова И. В., Магомедов Г. О., Магомедов М. Г., Полякова Л. Е. и др. Комплексная оценка пенообразующих свойств концентрата сывороточных белков для получения продукции специального назначения. *Пищевая промышленность*. 2020. № 8. С. 42–47.] <https://elibrary.ru/LBZLPV>
28. Bogdanova LS, Prikhodko DV, Krasnoshtanova AA. Obtaining protein fractions from corn flour and protein-polysaccharide complexes based on them. *Butlerov Communication*. 2023;73(3):95–103. (In Russ.) [Богданова Л. С., Приходько Д. В., Красноштанова А. А. Получение белковых фракций из кукурузной муки и белково-полисахаридных гелей на их основе. *Бутлеровские сообщения*. 2023. Т. 73. № 3. С. 95–103.] <https://elibrary.ru/WEAAJS>
29. Zarubin NYu, Frolova YV, Bredikhina OV. Development of a multifunctional complex based on the raw materials of animal and vegetable origin for use in semifinished fish technology. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2017;7(1):119–126. (In Russ.) [Зарубин Н. Ю., Фролова Ю. В., Бредихина О. В. Разработка многофункционального комплекса на основе сырья животного и растительного происхождения для использования в технологии рыбных полуфабрикатов. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2017. Т. 7. № 1. 119–126.] <https://elibrary.ru/YINZJZ>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2578>
<https://elibrary.ru/FFBGUL>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Получение белкового ингредиента с повышенной водоудерживающей способностью из подсолнечного шрота



И. В. Крылова^{1,2,*}, М. А. Доморощенкова¹,
Т. Ф. Демьяненко¹, А. В. Федоров^{1,2}

¹ ВНИИЖир , Санкт-Петербург, Россия

² Университет ИТМО , Санкт-Петербург, Россия

Поступила в редакцию: 18.06.2024

Принята после рецензирования: 05.08.2024

Принята к публикации: 01.04.2025

*И. В. Крылова: irinakrylova1987@gmail.com,

<https://orcid.org/0000-0002-0132-2189>

М. А. Доморощенкова: <https://orcid.org/0000-0003-4230-8372>

Т. Ф. Демьяненко: <https://orcid.org/0000-0002-4220-7224>

А. В. Федоров: <https://orcid.org/0000-0003-0030-3848>

© И. В. Крылова, М. А. Доморощенкова, Т. Ф. Демьяненко,
А. В. Федоров, 2025



Аннотация.

Подсолнечный шрот, характеризующийся ценным химическим составом, используется в основном в кормовой промышленности. Однако его применение в пищевых целях может быть более эффективным и полезным, но этому главным образом препятствует высокое содержание клетчатки. Одним из способов снижения содержания клетчатки является механическое фракционирование, применение которого также способствует повышению функционально-технологических свойств. Цель данного исследования – получить белковые продукты с повышенными функционально-технологическими свойствами из шрота подсолнечника для включения в рецептуры мучных изделий.

Объектами исследования были выбраны два образца подсолнечного шрота разных российских производителей, а также мука двух видов – пшеничная и амарантовая. Механическое фракционирование образцов проводили тремя различными методами с использованием дезинтегратора, роторно-ножевой и кулачковой мельниц. Для определения химического состава и функционально-технологических свойств образцов применяли стандартные и общепринятые методики. Готовые мучные кондитерские изделия изучали с точки зрения их органолептических характеристик. Для анализа органолептических свойств мучных изделий проводили дегустацию, в ходе которой оценивали внешний вид, вкус, аромат и текстуру по 5-ти балльной шкале.

Результаты исследования свидетельствуют о том, что количество белка в мелкой фракции подсолнечного шрота зависело от его содержания в исходном сырье. Массовая доля фракции и массовый выход сырого протеина зависели от способа измельчения шрота. Это привело к перераспределению белка и клетчатки по фракциям, отличавшимся размерами частиц. В ходе работы выявлены повышенные водо- и жирудерживающие способности полученных фракций. В образцах мучных смесей с заменой части муки на фракцию подсолнечного шрота отмечено увеличение водоудерживающей способности. Для приготовления мучных изделий была выбрана фракция подсолнечного шрота с лучшими характеристиками: повышенное содержание белка (44 %), пониженное содержание клетчатки (13 %), высокая водоудерживающая способность (455 %). Размер частиц данной фракции (менее 250 мкм) соответствовал размеру частиц пшеничной муки. У готовых мучных изделий отмечено увеличение высоты и повышенное содержание белка. Оптимальная дозировка внесения полученной фракции подсолнечного шрота в мучные изделия составила 5 % от массы мучной смеси.

Таким образом, возможно использование механического фракционирования для переработки подсолнечного шрота в белковые ингредиенты пищевого назначения, а также применения этих ингредиентов для обогащения белком мучных изделий.

Ключевые слова. Подсолнечный шрот, механическое фракционирование, сырой протеин, сырая клетчатка, водоудерживающая способность, жирудерживающая способность, мучные изделия, обогащение протеином

Для цитирования: Крылова И. В., Доморощенкова М. Л., Демьяненко Т. Ф., Федоров А. В. Получение белкового ингредиента с повышенной водоудерживающей способностью из подсолнечного шрота. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 352–363. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2578>

Protein with High Water-Binding Capacity from Sunflower Meal



Irina V. Krylova^{1,2,*}, Maria L. Domoroshchenkova¹,
Tatiana F. Demianenko¹, Aleksandr V. Fedorov^{1,2}

¹ VNIIZhiron , St. Petersburg, Russia

² ITMO University , St. Petersburg, Russia

Received: 18.06.2024
Revised: 05.08.2024
Accepted: 01.04.2025

*Irina V. Krylova: irinakrylova1987@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0132-2189>
Maria L. Domoroshchenkova: <https://orcid.org/0000-0003-4230-8372>
Tatiana F. Demianenko: <https://orcid.org/0000-0002-4220-7224>
Aleksandr V. Fedorov: <https://orcid.org/0000-0003-0030-3848>

© I.V. Krylova, M.L. Domoroshchenkova, T.F. Demianenko,
A.V. Fedorov, 2025



Abstract.

Sunflower meal with its valuable chemical composition is a popular animal feed ingredient. However, it is also high on fiber. Mechanical fractionation can reduce the fiber content and improve the functional and technological properties of sunflower meal. This research introduces a new sunflower meal protein with improved functional and technological properties to be used in functional foods.

The study involved two samples of Russian sunflower meal and two types of flour, i.e., wheat and amaranth. The mechanical fractionation was conducted by three different methods: with a disintegrator, a rotor-knife, and a cam mill. A set of standard methods made it possible to determine the chemical, functional, and technological profiles of the samples. The sensory assessment (5-point scale) of the final confectionery products (cupcakes) included the appearance, taste, aroma, and texture.

The amount of protein in the fine fraction of the sunflower meal depended on its content in the original raw material. The mass fraction and the mass yield of crude protein depended on the grinding method. As a result, protein and fiber were distributed across fractions in different particle sizes. The fractions obtained demonstrated high water-binding and fat-retaining properties. The flour mixes with sunflower meal showed a greater water-binding capacity. The optimal fraction of sunflower meal was rich in protein (44%) but had a low fiber content (13%) and an admirable water-binding capacity (455%). The particle size of this fraction ($\leq 250 \mu\text{m}$) was the same as that of wheat flour. The finished flour products had a greater volume and increased protein content. The optimal dose for the cupcake formulation was 5% of the flour mix weight.

The method of mechanical fractionation made it possible to convert sunflower meal into protein to fortify functional flour products.

Keywords. Sunflower meal, mechanical fractionation, crude protein, crude fiber, water-binding capacity, fat-retaining capacity, flour products, fortified food

For citation: Krylova IV, Domoroshchenkova ML, Demyanenko TF, Fedorov AV. Protein with High Water-Binding Capacity from Sunflower Meal. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):352–363. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2578>

Введение

В настоящее время востребованность в растительном белке объясняется экологическими и медицинскими причинами [1]. Выращивание сельскохозяйственных животных, птиц и аквакультур для получения продуктов животного происхождения оказывает воздействие на окружающую среду, что проявляется в загрязнении водоемов, почвы, воздуха и снижении видового разнообразия. К медицинским причинам можно отнести недостаточное потребление качественного сбалансированного белка, что отражается в рекомендациях

медиков и в представлении потребителей о здоровом питании. Также существует проблема антибиотикорезистентности, возникающая при использовании антибиотиков в животноводстве. Перечисленные причины обуславливают изменения в рационе питания с частичным или полным отказом от продуктов данного типа [2, 3].

В качестве альтернативы животным белкам предлагаются растительные. Их включение в рецептуры пищевых продуктов является выгодным направлением для пищевой промышленности в рамках устойчивого

развития. Явное преимущество растительного источника белка – отсутствие холестерина. Кроме того, растительные белковые продукты, подвергшиеся мягкой обработке, отличаются высоким содержанием белка и низким – жира [3]. Поэтому в настоящее время растет интерес к получению белоксодержащих ингредиентов из растительного сырья и продуктов его переработки [1].

Источниками растительного белка являются бобовые, зерновые и масличные культуры, а также продукты их переработки, в том числе шроты. На территории Европы и России наиболее распространены подсолнечный и рапсовый шроты. Масличные семена и продукты на их основе отличаются высокой энергетической ценностью и повышенным содержанием белка и клетчатки [4]. Подсолнечник – масличная культура мирового значения, перерабатываемая в больших объемах. Технологические особенности процесса извлечения масла из семян оказывают влияние на состав получаемых белковых продуктов. При переработке прессовым методом образуется до 75 % жмыха от массы сырья, при использовании экстракции – до 60 % шрота от массы сырья [4]. Несмотря на широкое применение жмыхов и шротов в изготовлении кормов для сельскохозяйственных животных, их потенциал реализуется не в полной мере [5].

Подсолнечный шрот – побочный продукт производства подсолнечного масла методом экстракции растворителями. Он характеризуется высоким содержанием клетчатки, уровень которой зависит от степени удаления семенной оболочки. Подсолнечный шрот также является ценным источником кальция, фосфора и витаминов группы В, по содержанию которых он превосходит соевый. Подсолнечный шрот богат полиненасыщенными жирными кислотами, которые минимизируют риск развития сердечно-сосудистых и других заболеваний [3]. Фенольные соединения подсолнечника обладают высоким антиоксидантным потенциалом [6].

Подсолнечный шрот – ценное сырье с массовой долей белка до 42 %. Белок подсолнечника представлен четырьмя фракциями: глобулинами (до 40 %, преимущественно гелиантинин), альбуминами (10–30 %) и небольшим количеством глютелинов и проламинов [7]. Он обладает высокими функционально-технологическими свойствами (эмульгирующая, водо- и жиродерживающая способности) [4]. Все эти характеристики делают подсолнечный белок перспективным для пищевой отрасли. Однако, высокое содержание сырой клетчатки (до 23 %) ограничивает использование подсолнечного шрота, поскольку оно снижает его питательную ценность [5]. А высокая концентрация фенольных соединений, придающих белку темную окраску, препятствует добавлению шрота в пищевые продукты [3].

Традиционным способом получения растительных белков является экстракция разными растворителями, применение которых, преимущественно щелочных,

может приводить к нарушению структуры белка и образованию соединений с нежелательными свойствами [8]. Экстракция связана не только с воздействием на белок растворителей, но и с нагреванием во время последующей сушки продукта, что влияет на пищевую ценность и функционально-технологические свойства белка. Менее распространенный способ – сухое (механическое) фракционирование растительного сырья [9], включающее его измельчение и классификацию. Это безреагентный метод разделения сухих и сыпучих продуктов различного происхождения, не требующий добавления воды и растворителей. С его помощью можно избежать не только расхода воды, но и затрат на дорогостоящий процесс сушки готового продукта, а также включения агрессивных химикатов и высоких температур. В современных условиях экологически чистые методы производства становятся все более востребованными, поэтому возможность обходиться без воды и растворителей является важным преимуществом данного метода [10]. В настоящее время сухое (механическое) фракционирование находится на стадии исследования и пока в промышленности широко не применяется.

Концентраты и изоляты растительных белков используются в продуктах питания: хлебобулочных и макаронных изделий, аналогов мясных и молочных продуктов, детского и спортивного питания [8]. Белковые компоненты в составе пищевых продуктов не только повышают их пищевую ценность, но и обеспечивают их структурно-механические и потребительские характеристики благодаря функционально-технологическим свойствам (эмульгирующие и пенообразующие свойства, водоудерживающая (ВУС) и жиродерживающая (ЖУС) способности, растворимость, вязкость и др.) [11]. Взаимодействие водных растворов и жировой составляющей с белковыми компонентами пищевых продуктов влияет на их текстуру, вкус, аромат и др. [12]. Способность белка удерживать воду влияет на структуру пищевых продуктов. ЖУС определяет вкусоароматические качества продукта [13]. ВУС и ЖУС белковых продуктов зависят от их аминокислотного состава, конформации белков, баланса гидрофобных и гидрофильных свойств и микроструктуры продукта [14]. ЖУС зависит также от количества неполярных боковых цепей белковой молекулы [13]. Сухое фракционирование обеспечивает возможность получения концентратов и белоксодержащих ингредиентов с повышенными функциональными свойствами. Белковые продукты, полученные воздушной классификацией, зачастую превосходят по своим функциональным и технологическим свойствам продукты, полученные другими методами. На примере бобов показано повышение эмульгирующих свойств белковых фракций, полученных путем пневмокласификации. Белковые фракции также обладали повышенной водопоглощающей, пенообразующей и гелеобразующей способностями [15]. Исследователи отмечают недоста-

точное изучение влияния добавок растительного происхождения на структуру и реологические свойства хлебобулочных изделий [16].

Особенность белковых ингредиентов на основе подсолнечника – высокое содержание фенольных соединений, влияющих на переваримость белка. Некоторые из них, такие как хлорогеновая кислота, образуют соединения с белковыми молекулами, которые могут привести к повышению переваримости белка [17]. Взаимодействие фенольных соединений с крахмалом снижает его переваримость и гликемический индекс, что является преимуществом при добавлении в продукты для диабетиков [18]. Снижение биодоступности белка при образовании комплексов с фенольными соединениями более характерно для кофейной и галловой кислот, чем для хлорогеновой кислоты [19], которая преобладает в подсолнечнике.

Цель данного исследования – получить белковые продукты с повышенными функционально-технологическими свойствами из шрота подсолнечника для включения в рецептуру мучных изделий.

В процессе исследования решались следующие задачи:

- изучить влияние состава подсолнечного шрота и способа его измельчения на состав и свойства получаемых фракций;
- определить зависимость водоудерживающей способности мучных смесей от количества внесенной фракции подсолнечного шрота;
- выбрать дозировку фракции подсолнечного шрота для добавления в рецептуру мучных изделий.

Объекты и методы исследования

В качестве исследуемых объектов были выбраны два образца российского подсолнечного шрота разных производителей, а также мука двух видов – пшеничная и амарантовая (табл. 1).

Механическое фракционирование образцов шрота включало два этапа – измельчение и рассев на ситах. Измельчение проводили одним из трех способов: на электрической лабораторной мельнице ЭМ-3А до прохода через сито 2,0 мм; на кулачковой мельнице до прохода через сито 2,0 мм; на измельчителе ударно-активаторного действия (дезинтегратор).

На втором этапе проведен рассев измельченного материала при помощи лабораторных сит с размерами ячеек 0,25 и 1,00 мм. Материал помещали на верхнее сито и встряхивали круговыми движениями в течение 1 мин. В результате были выделены три фракции с размерами частиц: менее 0,25 мм; от 0,25 до 1,00 мм; от 1,00 до 2,00 мм.

Для того чтобы определить массовый выход, каждую из фракций взвешивали на лабораторных весах (погрешность 20 мг, цена деления 1 г). Массовую долю влаги определяли при помощи высушивания до постоянного веса при 105 °С (ГОСТ 10856-96). Содержание сырой клетчатки определяли методом Геннеберга-Штомана с этапом промежуточной фильтрации (ГОСТ 31675-2012), а содержание сырого протеина устанавливали методом Кьельдаля с применением анализатора KjelFlex-360 Buchi (ГОСТ 13496.4-2019).

Для определения ВУС и ЖУС навеску образца массой 1 г в центрифужной пробирке заливали 10 мл дистиллированной воды или растительного масла, мешали 1 мин со скоростью 1500 об/мин и оставляли на 30 мин, затем центрифугировали при 5000 об/мин в течение 15 мин. Массу удержанной воды или масла определяли, вычитая из массы пробирки после центрифугирования массу пробирки с сухой навеской. ВУС и ЖУС рассчитывали как отношение массы удержанной воды или масла к массе навески. Все определения выполняли в двухкратной повторности, в качестве результата брали среднее значение двух определений при расхождении между ними не более предусмотренного методикой [9].

Полученный белковый препарат (фракция подсолнечного шрота) использовали для приготовления мучных кондитерских изделий. Для замеса теста 50 г яиц взбивали с 75 г сахара. Затем, продолжая перемешивание, добавляли смесь из 110 г пшеничной муки и 5 г разрыхлителя. При выпечке изделий с фракцией подсолнечного шрота ею заменяли часть муки. После этого, продолжая перемешивать, вводили 50 г кефира (с массовой долей жира 2,5 %) и 30 г рафинированного дезодорированного подсолнечного масла. Тесто разливали по формам, получая заготовки массой 75 г. Далее их выпекали при 165 °С в течение 30 мин, затем охлаждали при 20 °С в течение 30 мин.

Таблица 1. Физико-химические показатели и функционально-технологические свойства образцов

Table 1. Physicochemical, functional, and technological profile of flours and sunflower meals

Показатели	Шрот подсолнечный (Образец 1)	Шрот подсолнечный (Образец 2)	Мука пшеничная	Мука амарантовая
Содержание сырого протеина, % абсолютно сухого вещества	39,44 ± 0,50	34,75 ± 0,50	11,50 ± 0,50	20,20 ± 0,50
Содержание сырой клетчатки, % абсолютно сухого вещества	17,12 ± 0,50	27,21 ± 0,50	2,70 ± 0,50	3,20 ± 0,50
Водоудерживающая способность, %	375 ± 5	360 ± 5	110 ± 5	230 ± 5
Жироудерживающая способность, %	87 ± 5	68 ± 5	173 ± 5	197 ± 5

Мучные изделия изучали с точки зрения их высоты и органолептических свойств. Высоту образцов измеряли линейкой с ценой деления 0,5 см. Для оценки органолептических свойств изделий провели дегустацию группой из 5 человек. В ходе дегустации оценивали внешний вид, вкус, аромат и текстуру по 5-ти балльной шкале.

Результаты и их обсуждение

Определение массовых долей фракций подсолнечного шрота. После фракционирования каждого из образцов двумя способами получено 12 фракций, внешний вид которых представлен на рисунке 1.

Для всех образцов внешний вид фракций с одинаковым размером частиц был схожим: менее 0,25 мм – однородный порошок, напоминающий муку, бурого цвета, не комкующийся; 0,25–1,00 мм – однородная крупка темно-бурого цвета, с различимыми фрагментами лузги (черно-белые вкрапления); 1,00–2,00 мм – крупные фрагменты лузги неправильной формы.

На рисунке 2 представлено распределение фракций исследуемых образцов подсолнечного шрота, полученных в результате измельчения одним из трех способов.

При фракционировании образца 1 массовые доли мелкой и средней фракций были схожи и в сумме

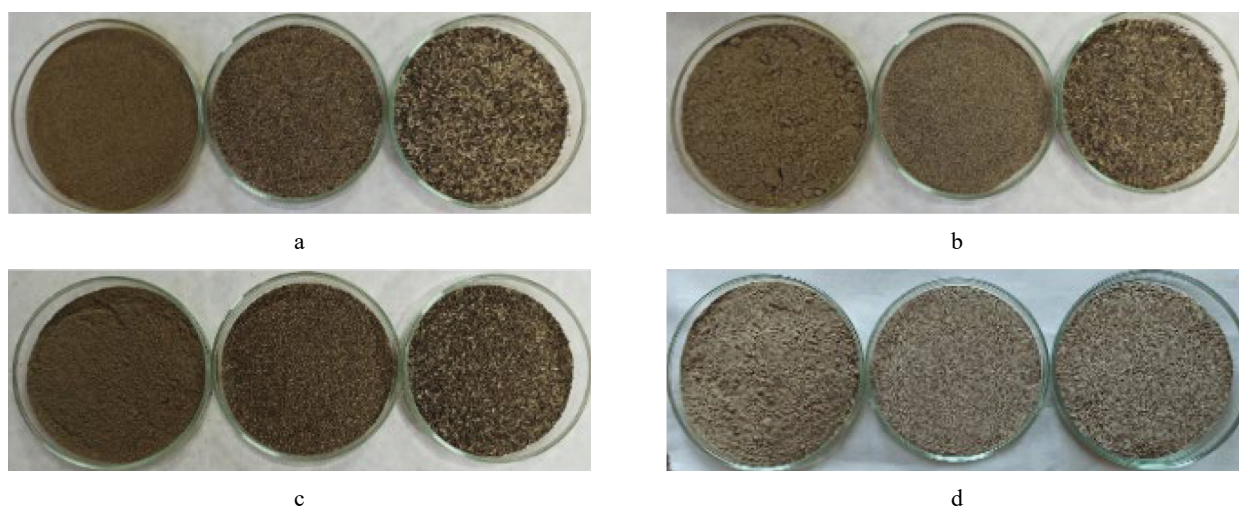


Рисунок 1. Продукты фракционирования (размер частиц слева направо: < 0,25 мм, 0,25–1,00 мм, 1,00–2,00 мм): а – образец 1, измельченный на роторно-ножевой мельнице; б – образец 1, измельченный на кулачковой мельнице; с – образец 2, измельченный на роторно-ножевой мельнице; д – образец 2, измельченный на дезинтеграторе

Figure 1. Fractionated products (particle size left to right: < 0.25 mm, 0.25–1.00 mm, 1.00–2.00 mm): а – Sample 1 (rotor-knife); б – Sample 1 (cam mill); с – Sample 2 (rotor-knife mill); д – Sample 2 (disintegrator)

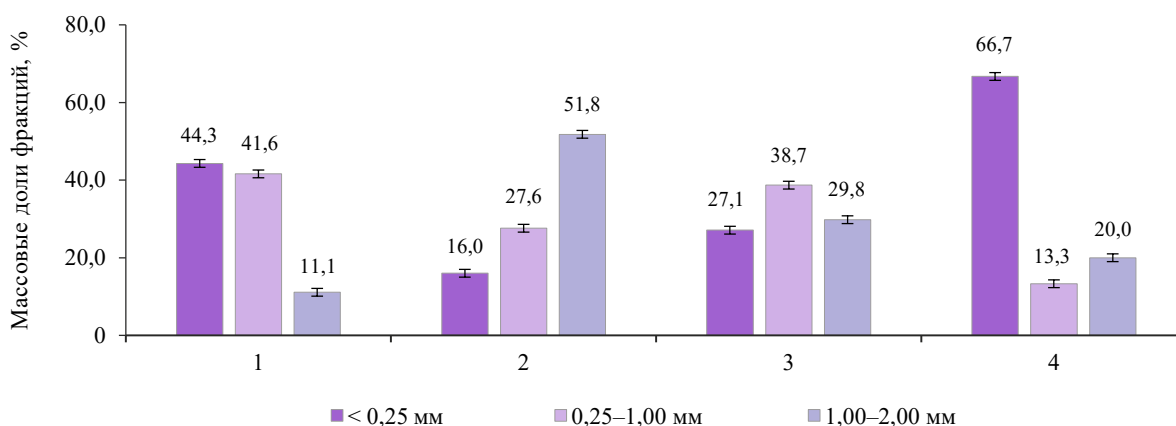


Рисунок 2. Массовые доли фракций: 1 – образец 1, измельченный на роторно-ножевой мельнице; 2 – образец 1, измельченный на кулачковой мельнице; 3 – образец 2, измельченный на роторно-ножевой мельнице; 4 – образец 2, измельченный на дезинтеграторе

Figure 2. Mass shares of fractions: 1 – Sample 1 (rotor-knife); 2 – Sample 1 (cam mill); 3 – Sample 2 (rotor-knife mill); 4 – Sample 2 (disintegrator)

составляли более 80 % конечных продуктов (рис. 2, первая группа столбцов). При этом распределение фракций образца 2 (рис. 2, третья группа столбцов) отличалось, максимальной была массовая доля средней фракции. Мелкая фракция, как правило, отличается повышенным уровнем белка, поэтому при фракционировании стремятся получить ее максимальное количество. В данном случае большее количество мелкой фракции получено из образца 1, содержавшего на 5 % больше белка, чем образец 2 (табл. 1). Таким образом, повышенное содержание белка в исходном сырье способствовало повышению массовой доли высокобелковой фракции.

В ходе исследования образец 1 был измельчен двумя разными способами. При измельчении на роторно-ножевой мельнице количество мелкой и средней фракции было на 30 % больше, чем крупной (рис. 2, первая группа столбцов). Напротив, при измельчении на кулачковой мельнице количество мелкой фракции было минимальным, а крупной – более 50 % (рис. 2, вторая группа столбцов). Таким образом, измельчение на роторно-ножевой мельнице позволило получить почти в 3 раза больше мелкой фракции, чем измельчение на кулачковой мельнице.

Влияние способа измельчения на выход фракций можно сравнить и на примере образца 2 (рис. 2, третья и четвертая группы столбцов). При измельчении на роторно-ножевой мельнице максимальной была массовая доля средней фракции, а при измельчении на дезинтеграторной установке – мелкой, количество которой в 2,5 раза больше, чем на роторно-ножевой мельнице. Следовательно, дезинтеграторная установка более эффективна для измельчения.

Количество мелкой (высокобелковой) фракции подсолнечного шрота при фракционировании зависит как от состава исходного шрота, так и от способа его измельчения. Массовая доля мелкой фракции увеличивалась при использовании сырья с высоким содержанием белка. Кроме того, измельчение одного и того же образца на дезинтеграторной установке позволяет получить больше мелкой фракции, чем на роторно-ножевой и кулачковой мельницах. Максимальный выход мелкой фракции составил 66,7 %.

Для сравнения, массовая доля мелкой фракции составляла от 14 до 27 % при воздушной классификации рисовых отрубей [1]. Эта величина зависела от схемы отсева (одна или две стадии). При воздушной классификации подсолнечного шрота с содержанием белка 34 % выход мелкой фракции составил от 28 до 88 % [20]. Эти различия обусловлены тем, что процесс воздушной классификации лучше поддается регулированию, чем рассев на ситах.

Полученные результаты можно сравнить с данными помола фасоли (45 до 300 мкм) [21] и с размерами частиц в пшеничной муке от 80 до 300 мкм [22]. Таким образом, размеры частиц подсолнечного шрота 12–110 мкм сопоставимы с размерами частиц пшеничной

муки, что может обеспечить получение однородной смеси с мукой. В одном из исследований S. Lin приводит данные о влиянии размера частиц на качество мучных изделий. Качество спагетти повышалось при использовании муки помола 250 мкм и более, а качество хлеба – при не более 75 мкм [21]. M. Marchini *et al.* для приготовления хлеба предложили включить в рецептуру хлебобулочных изделий бобовую муку с размером частиц около 200 мкм [23]. N. M. Dube *et al.* определили оптимальный размер частиц муки для лапши в диапазоне от 85 до 110 мкм [24]. Следовательно, данные фракции шрота подсолнечника подходят для добавления в мучные изделия в смеси с мукой.

Характеристика фракций. Состав фракций, полученных при фракционировании двух образцов исследуемого подсолнечного шрота, измельченных одним из трех способов, показан на рисунке 3.

В образцах 1 и 2, измельченных на роторно-ножевой мельнице, несмотря на различия в их составе, максимальный уровень белка составлял 42–43 % (рис. 3, первая и третья группы столбцов). Однако, в средней и крупной фракциях он был распределен по-разному – средняя фракция образца 1 содержала почти такое же количество белка, что и мелкая.

При измельчении образца 1 двумя способами распределение белка по фракциям было схожим (рис. 3, первая и вторая группы столбцов). Максимальный уровень белка (43–44 %) наблюдался в мелкой фракции, в средней фракции он был незначительно ниже, а в крупной не превышал 30 %. Несмотря на повышение доли белка в мелкой фракции, по сравнению с исходным шротом, следует отметить, что высокий уровень белка в средней фракции означает его потери.

При измельчении образца 2 на роторно-ножевой мельнице и на дезинтеграторной установке максимальный уровень белка, полученный в мелкой фракции, отличался незначительно и составлял 42–43 % (рис. 3, третья и четвертая группы столбцов). При этом во фракциях, полученных на дезинтеграторной установке, содержание белка уменьшалось с повышением размера частиц фракции. При измельчении на роторно-ножевой мельнице уровень белка в крупной фракции оказался выше, чем в средней, что не характерно для процесса фракционирования.

Распределение клетчатки по фракциям было схожим во всех представленных вариантах фракционирования, кроме образца 2, измельченного на роторно-ножевой мельнице. В этом случае средняя фракция содержала больше клетчатки, чем крупная. Во всех остальных случаях ее количество во фракциях повышалось по мере увеличения размера частиц. Максимальный уровень клетчатки получен в крупной фракции образца 2, измельченного на дезинтеграторе (42 %). Однако более важным являлось достижение минимального уровня клетчатки в мелкой фракции, который был отмечен как в образце 1, измельченном на роторно-ножевой мельнице, так и в образце 2, измельченном на дезинте-

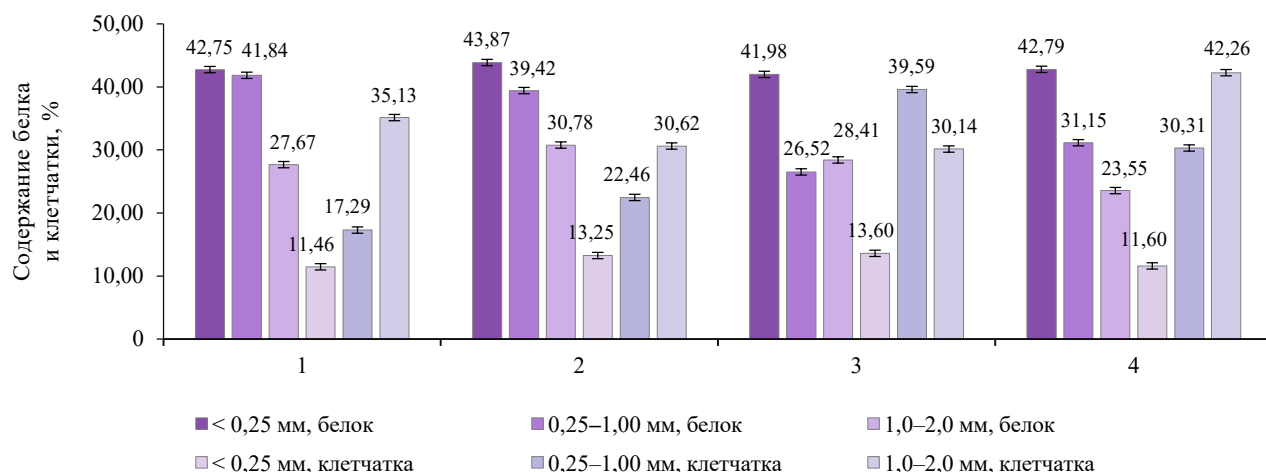


Рисунок 3. Содержание белка и клетчатки во фракциях: 1 – образец 1, измельченный на роторно-ножевой мельнице; 2 – образец 1, измельченный на кулачковой мельнице; 3 – образец 2, измельченный на роторно-ножевой мельнице; 4 – образец 2, измельченный на дезинтеграторе

Figure 3. Protein and fiber content per fraction: 1 – Sample 1 (rotor-knife); 2 – Sample 1 (cam mill); 3 – Sample 2 (rotor-knife mill); 4 – Sample 2 (disintegrator)

раторе (11–12 %). Во всех образцах содержание клетчатки в мелкой фракции не превышало 14 %.

Состав мелких фракций у всех исследованных образцов был схожим – 42–43 % белка и 11–14 % клетчатки – независимо от исходного сырья. Способ измельчения не оказал существенного влияния на распределения белка и клетчатки по фракциям, однако состав исходного сырья имел большее значение. В образце 1 с более высокой исходной долей белка произошли его значительные потери со средней фракцией, что снизило эффективность фракционирования. В образце 2 при различных способах измельчения отмечено более эффективное разделение белка и клетчатки по фракциям (белок был сосредоточен в мелкой фракции, а клетчатка в крупной).

Целью механического фракционирования является перераспределение белка и клетчатки по фракциям таким образом, чтобы белок был сконцентрирован в мелкой, а клетчатка в крупной. Примером такого процесса послужило фракционирование сои, где концентрация белка в мелкой фракции была на 5 % выше, а клетчатки на 6 % ниже, чем в исходном шроте. В мелкой фракции достигнуто снижение клетчатки на 5,7–15,6 % [25]. В исследовании воздушной классификации подсолнечного шрота содержание сырого протеина в мелкой фракции (40 %) было на 6 % выше, чем в исходном шроте [20]. Эти результаты сопоставимы с результатами настоящей работы, так как максимальное количество сырого протеина во фракциях (43,87 %) на 4,4 % превышало его содержание в исходном шроте.

Долю белка в мелкой фракции, являющейся целевым продуктом фракционирования, можно сравнить с данными других исследователей. В работе, посвя-

щенной воздушной классификации бобовых культур из сырья, – 24 % белка (горох) и 39 % белка (люпин) – были получены мелкие фракции с содержанием белка 55 и 59 % соответственно [26]. Такие значения могли быть связаны с составом сырья, а также различиями в строении семян бобовых и масличных культур.

Исследователи, изучающие фракционирование растительного сырья, чаще всего сравнивают полученные продукты по количеству белка. Однако, содержание клетчатки также важно, поскольку именно этот показатель ограничивает пищевое использование растительного сырья (в частности, подсолнечного шрота). В исследовании Q. Xing *et al.* [27] мелкие фракции, полученные при фракционировании гороха, обогащались как белком, так и клетчаткой, параллельно снижалось количество крахмала. В работе P. Silventoinen *et al.* [28] содержание клетчатки в пшеничных отрубях снижалось с 51 до 23 % (в 2,2 раза), в рисовых – с 33 до 15 % (также в 2,2 раза) в мелких фракциях. Сопоставимыми с этими результатами являются результаты фракционирования образца 1 при измельчении в роторно-ножевой мельнице.

Функционально технологические свойства фракций подсолнечного шрота. На рисунке 4 представлены результаты определения водо- и жирудерживающей способностей фракций, полученных при измельчении двух образцов шрота различными способами.

Водоудерживающая способность (ВУС) мелкой и средней фракций во всех случаях была выше, чем крупной (рис. 4). Это может быть связано с перераспределением белка и клетчатки при фракционировании. Кроме того, в большей части образцов ВУС средней фракции оказалась выше, чем мелкой. Из мелких (высокобелковых) фракций максимальная ВУС (455 %)

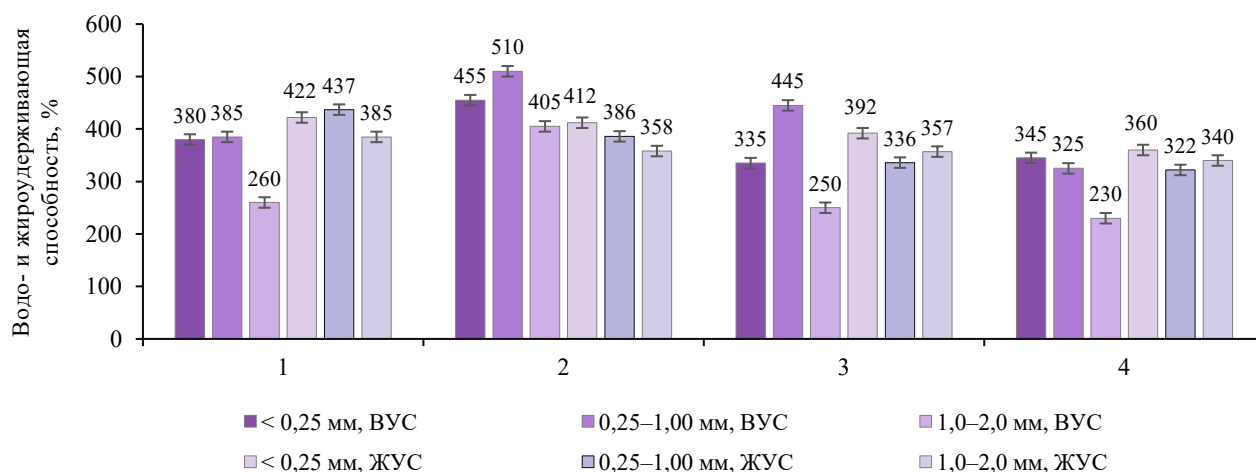


Рисунок 4. Водо- и жиродерживающая способность фракций: 1 – образец 1, измельченный на роторно-ножевой мельнице; 2 – образец 1, измельченный на кулачковой мельнице; 3 – образец 2, измельченный на роторно-ножевой мельнице; 4 – образец 2, измельченный на дезинтеграторе

Figure 4. Water-binding and fat-retaining capacities per fraction: 1 – Sample 1 (rotor-knife); 2 – Sample 1 (cam mill); 3 – Sample 2 (rotor-knife mill); 4 – Sample 2 (disintegrator)

была у образца 1, измельченного на кулачковой мельнице. У данного образца была также отмечена максимальная ВУС (510 %) в средней фракции, для которой характерно недостаточное содержание белка.

Жиродерживающая способность (ЖУС) мало отличалась по фракциям для каждого из образцов (рис. 4). При этом у большей части образцов ЖУС мелкой фракции была выше, чем у средней и крупной. Максимальное значение ЖУС наблюдалось у средней фракции образца 1, измельченного на роторно-ножевой мельнице. Максимальная ЖУС среди мелких фракций зафиксирована в этом же образце (422 %).

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что фракционирование позволяет получить белок-содержащие продукты с повышенными ВУС и ЖУС. При этом данные показатели возрастают по мере уменьшения размера частиц во фракции. Разность значений ВУС по фракциями больше, чем для ЖУС. Эта тенденция наблюдалась для образцов различного состава и способа измельчения.

В работе X. Huang *et al.* [14] при получении подсолнечного белка методом щелочной экстракции были достигнуты следующие значения: водоудерживающей (320–350 %) и жиродерживающей (380–680 %) способностей. По сравнению с настоящим исследованием, ВУС была несколько ниже, а ЖУС значительно выше. Это может быть связано с различиями в способах получения и составе подсолнечного белка, содержавшего 63–73 % сырого протеина.

ВУС белковых компонентов является более приоритетной при приготовлении мучных изделий, чем ЖУС. Именно от водоудерживающих свойств зависит сохранение структуры и показателей качества мучных и кондитерских изделий [13].

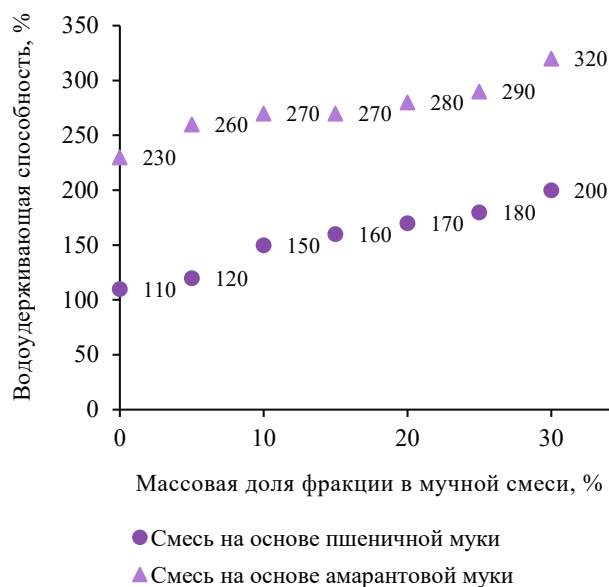


Рисунок 5. Водоудерживающая способность мучных смесей

Figure 5. Water-binding capacity per flour mix

Водоудерживающая способность мучных смесей.

В качестве основного компонента первой мучной смеси была выбрана пшеничная мука высшего сорта, а основным компонентом второй была амарантовая мука, которая является безглютеновой. К каждой из мучных смесей добавляли выбранную фракцию подсолнечного шрота, заменяя ею часть муки. Фракцию вносили в количестве от 5 до 30 % с шагом 5 % и тщательно перемешивали с мукой (рис. 5).

Водоудерживающая способность смесей на основе амарантовой муки была на 110–140 % выше, чем смесей на основе пшеничной при различных массовых долях фракций подсолнечного шрота. При этом ВУС обоих образцов повышалась по мере увеличения количества фракции подсолнечного шрота. Полученные данные свидетельствуют, что замена части (до 30 %) пшеничной или амарантовой муки выбранной фракцией подсолнечного шрота повысила ВУС смесей (рис. 5).

Способность пшеничной муки удерживать воду зависит от крупности помола, содержания белка и пищевых волокон [16]. Все эти показатели изменяются при внесении новых ингредиентов, в том числе и белка подсолнечника. ВУС определяется взаимодействием воды с гидрофильными группами белков и углеводов в составе муки [29], а наличие этих групп у подсолнечного белка может отличаться. Получение белковых продуктов с повышенными функционально-технологическими свойствами является одним из преимуществ сухого фракционирования. Например, в работе P. Silventoinen *et al.* [28] были повышены растворимость протеина и гелеобразующие свойства при фракционировании рисовых отрубей с применением воздушной классификации. В исследовании M. Funke *et al.* [30] полученная белковая фракция отличалась высокой эмульгирующей способностью при воздушной классификации бобовой муки. ВУС является наиболее значимой при включении белковых ингредиентов в мучные изделия и совместно с ЖУС влияет как на технологические параметры (время образования теста), так и на органолептические качества продукта [13, 16].

Внесение фракций подсолнечного шрота в мучные изделия. В ходе дальнейшего исследования изучили влияние добавления выбранной фракции подсолнечного шрота на качество мучных изделий (на примере кексов). В рецептуре изделия часть пшеничной муки заменяли фракцией подсолнечного шрота. Такая частичная замена пшеничной муки другими видами сырья часто применяется при разработке рецептур мучных изделий. Это связано с тем, что мука нетрадиционных видов неспособна образовывать клейковину, что ограничивает ее использование для полной замены пшеничной муки [29].

В первой группе изделий фракцией заменяли 5 %, во второй – 10 %, в третьей – 15 % пшеничной муки. Кексы контрольной группы изготавливали по тому же рецепту, но без замены муки. Внешний вид полученных изделий представлен на рисунке 6.

Внешний вид изделий зависел от количества фракции. Изделия с 5 и 10 % были схожи (небольшое различие с контролем), в то время как изделия с 15 % фракции значительно отличались как от контроля, так и от других опытных образцов. Структура кексов опытных образцов характеризовалась неоднородной пористостью. Цвет мякиша был темнее, чем у контроля, особенно у изделий, содержащих 15 % фракции. На пористость кексов могли оказывать влияние как фенольные соединения, так и подсолнечный белок.

В хлебобулочных изделиях, которые изготовлены на основе пшеничной муки, глютенная сеть придает тесту уникальные вязкоупругие свойства и способность удерживать газ, отражаясь на текстуре и определяя конечный вид продукта. На структуру глютенной сети воздействуют все компоненты теста: белки, крахмалы, гидроколлоиды и другие ингредиенты [31]. В исследовании B. Martins *et al.* [32] изучено влияние муки из желудей, содержащей значительное количество фенольных соединений, на качество выпечки. Установлено, что добавление желудевой муки приводит к увеличению пористости изделий. Следует отметить, что включение гороха и фасоли в хлебобулочные изделия повышает упругость мякиша и продолжительность срока хранения [2]. Наличие фенольных соединений существенно влияет на качество растительных белков, например снижается усвояемость, происходит нежелательное потемнение, изменяются органолептические свойства и меняется структура белка [8, 33].

Средняя высота контрольных кексов составила 65 ± 3 мм, кексов с 5 % фракции – 71 ± 3 мм, с 10 % – 72 ± 3 мм, с 15 % – 66 ± 3 мм. Высота опытных изделий с 5 и 10 % фракции оказалась в среднем больше, чем у контроля, что можно объяснить их повышенной пористостью, которая возможно связана с различием ВУС мучных смесей. Высота изделий с 15 % фракции не превышала высоту контроля. Данный факт, наряду с темным цветом мякиша, может указывать на повышенное содержание фенольных соединений.

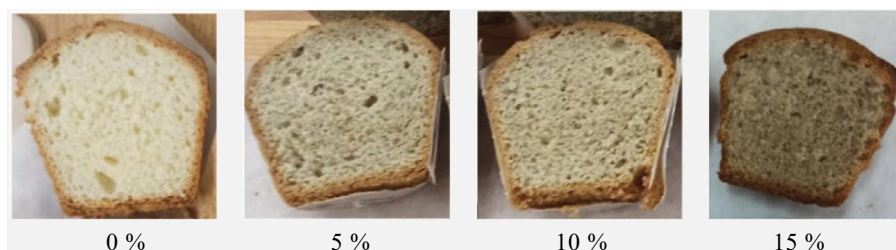


Рисунок 6. Мучные изделия с добавлением фракций подсолнечного шрота

Figure 6. Flour products with 0, 5, 10, and 15 % sunflower meal

Таблица 2. Состав тестовой заготовки (масса 75 г)

Table 2. Flour composition (75 g)

Показатели, %	Доля фракции подсолнечного шрота в рецептуре кексов, %			
	Контроль (0)	5	10	15
Белки	6,2	6,7	7,2	7,7
Жиры	10,2	10,2	10,2	10,2
Углеводы	50,2	49,4	48,6	47,8

Таблица 3. Органолептические показатели кексов ($p < 0,05$)Table 3. Sensory profile of cupcakes ($p < 0.05$)

Показатели, балл	Доля фракции подсолнечного шрота в рецептуре кексов, %			
	Контроль (0)	5	10	15
Внешний вид	5,0 ± 0,2	4,8 ± 0,2	4,5 ± 0,2	3,5 ± 0,2
Вкус	5,0 ± 0,2	4,3 ± 0,2	4,3 ± 0,2	3,5 ± 0,2
Аромат	4,8 ± 0,2	4,3 ± 0,2	4,3 ± 0,2	4,3 ± 0,2
Текстура	4,8 ± 0,2	4,3 ± 0,2	4,5 ± 0,2	4,2 ± 0,2
Средняя оценка	4,9 ± 0,2	4,4 ± 0,2	4,4 ± 0,2	3,9 ± 0,2

Проведен расчет химического состава полученных мучных изделий. Результаты представлены в таблице 2.

Замена части муки фракцией подсолнечного шрота привела к повышению доли белка и снижению доли углеводов.

Для оценки органолептических свойств изделий проведена дегустация группой из 5 человек (табл. 3).

Результаты дегустации показали, что средняя оценка кексов с 5 и 10 % фракции была почти одинаковой, но ниже, чем у контроля. Средняя оценка кексов с 15 % фракции оказалась заметно ниже из-за показателей внешнего вида и вкуса. Снижение баллов за внешний вид изделия дегустаторы объясняли темным цветом мякиша и несимметричной формой верхушки кексов; снижение баллов за текстуру – появлением крупных пор в мякише и трещин на поверхности кексов.

Выводы

Механическое фракционирование подсолнечного шрота, при его различных составах и способах измельчения, способствовало перераспределению белка и клетчатки по фракциям таким образом, что конечные белковые продукты содержали на 4–8 % сырого протеина больше и на 6–16 % клетчатки меньше. Фракционирование позволило получить белковые продукты с повышенными функционально-технологическими свойствами, в частности для фракций с размерами частиц менее 0,25 мм (что соответствует размерам частиц муки) водо- и жирудерживающие способности составили 335–455 и 360–422 % соответственно.

Замена не более 30 % муки данной фракцией подсолнечного шрота увеличила водоудерживающую способность на 110–140 %, а содержание сырого протеина – на 7–10 % в мучных смесях на основе пшеничной или амарантовой муки. Внесение подсолнечного

белка в рецептуру кексов в количестве 5 и 10 % от массы мучной смеси не привело к значительному изменению их органолептических свойств.

Таким образом, фракция подсолнечного шрота с размером частиц менее 0,25 мм, полученная после измельчения на кулачковой мельнице с исходным содержанием сырого протеина 35–40 % обладала оптимальным составом и водоудерживающей способностью для замены части муки в рецептурах мучных изделий. Основным ограничивающим фактором при использовании подсолнечного белка в выпечке оказалось его влияние на цвет изделий.

Более высокое содержание белка в исходном шроте способствовало более высокому содержанию белка в мелкой фракции. Способ измельчения оказывал большее влияние на выход мелкой фракции и массовый выход сырого протеина в мелкой фракции. Уровень сырой клетчатки и распределение высокой водоудерживающей способности по фракциям также зависели от способа измельчения. Следовательно, при использовании шротов относительно низкого качества можно получить фракции улучшенного состава, применяя подходящий метод измельчения.

Полученная фракция подсолнечного шрота обладала ценным составом (повышенное содержание белка и пониженное – клетчатки) с высокой водоудерживающей способностью и размером частиц, соответствующим размеру частиц пшеничной муки. Такое сочетание делает эту фракцию перспективным белковым ингредиентом для использования в смеси с пшеничной мукой в мучных изделиях.

Критерии авторства

И. В. Крылова – проведение исследовательского процесса и экспериментов, сбор данных, написание

и подготовка рукописи. М. Л. Доморощенко – комментирование или пересмотр рукописи. Т. Ф. Демьяненко – отслеживание воспроизводимости результатов экспериментов. А. В. Федоров – надзор и руководство выполнением исследовательской деятельности.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Авторы выражают благодарность ведущему инженеру Е. А. Самоделкину и коллективу ЦНИИ Конструкционных материалов «Прометей» за измельчение образца шрота на дезинтеграторе Desi-15.

Contribution

I.V. Krylova performed the research, collected the data, and drafted the manuscript. M.L. Domoroshchenko proofread the manuscript. T.F. Demyanenko verified the experimental results. A.V. Fedorov supervised the research.

Conflict of interest

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

Acknowledgments

The authors express their sincere gratitude to E.A. Samolyodkin, Senior Engineer of Prometey Central Research Institute of Structural Materials, and his team for grinding the meal samples on the Desi-15 disintegrator.

Список литературы / References

1. Silventoinen P, Rommi K, Holopainen-Mantila U, Poutanen K, Nordlund E. Biochemical and techno-functional properties of protein- and fibre-rich hybrid ingredients produced by dry fractionation from Rice Bran. *Food Bioprocess Technol.* 2019;12:1487–1499. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02307-w>
2. Вебер А. Л., Леонова С. А., Кондратьева О. В. Потребительские свойства и потенциальная востребованность продукции «dairy alternatives» из отечественных сортов гороха и фасоли. *Техника и технология пищевых производств.* 2022. Т. 52. № 1. С. 108–122. [Veber AL, Leonova SA, Kondratyeva OV. Consumer qualities and potential relevance of dairy alternatives from domestic beans and peas. *Food Processing: Techniques and Technology.* 2022;52(1):108–122. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-108-122>
3. Verstringe S, Vandercruyssen R, Carmans H, Rusu AV, Bruggeman G, et al. Alternative proteins for food and feed. In: Galanakis CM, editor. *Biodiversity, functional ecosystems and sustainable food production.* Cham: Springer; 2023. pp. 325–351. https://doi.org/10.1007/978-3-031-07434-9_10
4. Giarola RC, Nabeshima EH, Campopiano JM, Ferrari RA, Montenegro FM, et al. Effect of sunflower protein meal and electrostatic complexes of sunflower meal-pectin on the cake crumb structure and color. *Journal of Food Science and Technology.* 2022;59:1419–1428. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05151-z>
5. Egea MB, Oliveira FJG, Bertolo MRV, Araujo JC, Gautério GV, et al. Bioactive phytochemicals from sunflower (*Helianthus annuus* L.) oil processing byproducts. In: Hassanien MFR, editor. *Bioactive phytochemicals from vegetable oil and oilseed processing by-products. Reference series in phytochemistry.* Cham: Springer; 2021. pp. 1–16. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63961-7_4-1
6. Blicharz-Kania A, Pecyna A, Zdybel B, Andrejko D, Marczuk A. Sunflower seed cake as a source of nutrients in gluten-free bread. *Scientific Reports.* 2023;13:10864. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-38094-w>
7. Parodi E, La Nasa J, Ribechini E, Petri A, Piccolo O. Extraction of proteins and residual oil from flax (*Linum usitatissimum*), camelina (*Camelina sativa*), and sunflower (*Helianthus annuus*) oilseed press cakes. *Biomass Conversion and Biorefinery.* 2023;13:1915–1926. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01379-z>
8. Колпакова В. В., Уланова Р. В., Куликов Д. С., Гулакова В. А., Семёнов Г. В. и др. Показатели качества гороховых и нутовых белковых концентратов. *Техника и технология пищевых производств.* 2022. Т. 52. № 4. С. 649–664. [Kolpakova VV, Ulanova RV, Kulikov DS, Gulakova VA, Semenov GV, et al. Pea and chickpea protein concentrates: Quality indicators. *Food Processing: Techniques and Technology.* 2022;52(4):649–664. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2394>
9. Zorzi CZ, Garske RP, Flôres SH, Thys RCS. Sunflower protein concentrate: A possible and beneficial ingredient for gluten-free bread. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* 2020;66:102539. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102539>
10. Arrutia F, Binner E, Williams P, Waldron KW. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology.* 2020;100:88–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.044>
11. Chigwedere CM, Stone A, Konieczny D, Lindsay D, Huang S, et al. Examination of the functional properties, protein quality, and iron bioavailability of low-phytate pea protein ingredients. *European Food Research and Technology.* 2023;249:1517–1529. <https://doi.org/10.1007/s00217-023-04232-x>
12. Dabbour M, Jiang H, Mintah BK, Wahia H, He R. Ultrasonic-assisted protein extraction from sunflower meal: Kinetic modeling, functional, and structural traits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* 2021;74:102824. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102824>

13. Thirulogasundar A, Shi D, Stone AK, Xu C, Bhagwat A, *et al.* Effect of enzyme hydrolysis on the functionality, protein quality, and flavour profile of lentil and chickpea protein isolates. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2024;18:1592–1609. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02228-5>
14. Huang X, Li Y, Cui C, Sun-Waterhouse D. Structural, functional properties, and in vitro digestibility of sunflower protein concentrate as affected by extraction method: Isoelectric precipitation vs ultrafiltration. *Food Chemistry*. 2024;439:138090. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138090>
15. Kleekayai T, Khalesi M, Amigo-Benavent M, Cermeño Maria, Harnedy-Rothwell Pádraigín, *et al.* Enzyme-assisted extraction of plant proteins. In: Hernández-Álvarez AJ, Mondor M, Nosworthy MG, editors. *Green protein processing technologies from plants*. Cham: Springer; 2023. pp. 131–178. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16968-7_6
16. Маслов А. В., Мингалеева З. Ш., Ямашев Т. А., Шибаева Н. Ф. Изучение влияния комплексной растительной добавки на свойства мучных смесей и пшеничного теста. *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52. № 3. С. 511–525. [Maslov AV, Mingaleeva ZSh, Yamashev TA, Shibaeva NF. Effect of a complex plant additive on flour mixes and wheat dough. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(3):511–525. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385>
17. Xu PW, Yue XJ, Yuan XF, Zhao B. Non-covalent interaction between hemp seed globulin and two hemp seed phenolic compounds: Mechanism and effects on protein structure, bioactivity, and in vitro simulated digestion. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024;255:128077. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128077>
18. Xu T, Zhong Y, Chen Q, Wu L, Ji S, *et al.* Modulating the digestibility of cassava starch by esterification with phenolic acids. *Food Hydrocolloids*. 2022;127:107432. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107432>
19. Günel-Köroğlu D, Lorenzo JM, Capanoglu E. Plant-based protein-phenolic interactions: Effect on different matrices and in vitro gastrointestinal digestion. *Food Research International*. 2023;173:113269. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113269>
20. Laudadio V, Bastoni E, Introna M, Tufarelli V. Production of low-fiber sunflower (*Helianthus annuus* L.) meal by micronization and air classification processes. *CyTA - Journal of Food*. 2013;11(4):398–403. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.781681>
21. Lin S. Chapter Two - Dietary fiber in bakery products: Source, processing, and function. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2022;99:37–100. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.12.001>
22. Sivakumar C, Nadimi M, Stobbs JA, Karunakaran C, Paliwal J. A comprehensive assessment of microscopic characterization techniques to accurately determine the particle size distribution of roller-milled yellow pea flours. *Powder Technology*. 2024;434:119374. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.119374>
23. Marchini M, Carini E, Cataldi N, Boukid F, Blandino M, *et al.* The use of red lentil flour in bakery products: How do particle size and substitution level affect rheological properties of wheat bread dough? *LWT*. 2021;136(Part 1):110299. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110299>
24. Dube NM, Xu F, Zhao R. The efficacy of sorghum flour addition on dough rheological properties and bread quality: A short review. *Grain & Oil Science and Technology*. 2020;3(4):164–171. <https://doi.org/10.1016/j.gaost.2020.08.001>
25. Kuspangaliyeva B, Konakbayeva D, Tabtabaei S. Towards dry fractionation of soybean meal into protein and dietary fiber concentrates. *Journal of Food Engineering*. 2023;342:111358. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111358>
26. Pelgrom PJM, Boom RM, Schutyser MAI. Method development to increase protein enrichment during dry fractionation of starch-rich legumes. *Food and Bioprocess Technology*. 2015;8:1495–1502. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1513-0>
27. Xing Q, Utami DP, Demathey MB, Kyriakopoulou K, de Wit M, *et al.* A two-step air classification and electrostatic separation process for protein enrichment of starch-containing legumes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020;66:102480. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102480>
28. Silventoinen P, Kortekangas A, Ercili-Cura D, Nordlund E. Impact of ultra-fine milling and air classification on biochemical and techno-functional characteristics of wheat and rye bran. *Food Research International*. 2021;139:109971. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109971>
29. Рензяева Т. В., Тубольцева А. С., Рензяев А. О. Мука различных видов в технологии мучных кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*. 2022. Т. 52. № 2. С. 407–416. [Renzyaeva TV, Tuboltseva AS, Renzyaev AO. Various flours in pastry production technology. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022;52(2):407–416. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2373>
30. Funke M, Loeffler M, Winkelmeyer C, Kraymer M, *et al.* Emulsifying properties of lentil protein preparations obtained by dry fractionation. *European Food Research and Technology*. 2022;248:381–391. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03883-y>
31. Korus J, Chmielewska A, Witczak M, Ziobro R, Juszczak L. Rapeseed protein as a novel ingredient of gluten-free bread. *European Food Research and Technology*. 2021;247:2015–2025. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03768-0>
32. Martins RB, Garzón R, Peres JA, Barros AIRNA, Raymundo A, *et al.* Acorn flour and sourdough: An innovative combination to improve gluten free bread characteristics. *European Food Research and Technology*. 2022;248:1691–1702. <https://doi.org/10.1007/s00217-022-03996-y>
33. Genevois CE, de Escalada Pla MF. Soybean by-products and modified cassava starch for improving alveolar structure and quality characteristics of gluten-free bread. *European Food Research and Technology*. 2021;247:1477–1488. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03725-x>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2581>
<https://elibrary.ru/EBZBEJ>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Сравнение некоторых физико-химических показателей ряженок промышленного производства и лабораторного ряженкового продукта



И. В. Подорожная^{1,*}, С. С. Ветохин²

¹ ОАО «Приборостроительный завод Оптон», Минск, Республика Беларусь

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

Поступила в редакцию: 13.01.2025

Принята после рецензирования: 25.03.2025

Принята к публикации: 01.04.2025

*И. В. Подорожная: iaya@tut.by,

<https://orcid.org/0000-0001-6838-5291>

С. С. Ветохин: <https://orcid.org/0000-0002-8613-731X>

© И. В. Подорожная, С. С. Ветохин, 2025



Аннотация.

В настоящее время физико-химические характеристики ряженок промышленного, фермерского и домашнего производства изучены недостаточно, и имеющиеся данные носят фрагментарный характер. Цель данной работы – сравнить эффективность методов расширенного контроля процесса сбраживания, а также сопоставить качество ряженки, реализуемой в розничной сети, и ряженковых продуктов, полученных в лабораторных условиях.

Объектами исследования являлись кисломолочные ряженковые продукты, полученные из местного ультрапастеризованного молока и закваски «Vita» для ряженки, и образцы ряженки промышленного производства. Молоко подогревали, вносили закваску и сквашивали при 37 °С до постоянных значений титруемой кислотности. Применялись распространенные в заводской практике физико-химические методы исследований.

Сквашивание привело к понижению температуры замерзания до –0,691 °С и pH до 4,48; возрастанию титруемой кислотности до 89,0 °Т и удельной электропроводности до 7,23 мСм/см. Динамика изменения всех показателей при культивировании смеси включала интервалы времени отсутствия заметных изменений значений (первые 3–4 ч), их последующий резкий рост или снижение, а также медленное изменение этих значений до завершения ферментации. Изготовленные в лабораторных условиях ряженковые продукты обладали сопоставимыми значениями температуры замерзания, титруемой кислотности, удельной электропроводности и pH с образцами ряженок промышленного производства. Динамика изменения значений кислотностей в процессе сбраживания подобна данным других авторов.

В ходе проведенного исследования определен расширенный набор физико-химических показателей ультрапастеризованного молока и образцов ряженок, изготовленных на промышленных предприятиях и в лабораторных условиях (кисломолочный ряженковый продукт). Установлены линейные зависимости между температурой замерзания, кислотностями и удельной электропроводностью в процессе культивирования молочной смеси. Это позволит заводским лабораториям использовать различные методики измерений для контроля качества с одинаковой эффективностью.

Ключевые слова. Закваска, ряженка, температура замерзания, титруемая кислотность, активная кислотность, удельная электропроводность, активность воды

Для цитирования: Подорожная И. В., Ветохин С. С. Сравнение некоторых физико-химических показателей ряженок промышленного производства и лабораторного ряженкового продукта. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 364–380. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2581>

Physical and Chemical Properties of Commercial Baked Milk vs. Experimental Samples



Iryna V. Padarozhniaya^{1,*}, Siarhei S. Vetokhin²

¹ Instrument-Making Factory Optron, Minsk, Belarus

² Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

Received: 13.01.2025
Revised: 25.03.2025
Accepted: 01.04.2025

Iryna V. Padarozhniaya: iaya@tut.by,
<https://orcid.org/0000-0001-6838-5291>
Siarhei S. Vetokhin: <https://orcid.org/0000-0002-8613-731X>

© I.V. Padarozhniaya, S.S. Vetokhin, 2025



Abstract.

Ryazhenka is a popular Russian baked milk product. The physicochemical profiles of commercial, small-farm, and home-made baked milk remain fragmentary in scientific literature. This article describes the efficiency of various approaches to milk fermentation control and introduces a new experimental baked milk formulation.

The study involved commercial samples of fermented baked milk and experimental samples obtained from local ultra-pasteurized milk and the Vita starter. After heating, the milk samples were mixed with the starter culture and fermented at 37°C until stable titratable acidity. The physicochemical tests relied on standard methods used in industrial practice.

After the fermentation, the freezing point dropped to –0.691°C and the pH went down to 4.48 whereas the titratable acidity and the specific conductivity rose to 89.0°T and 7.23 mS/cm, respectively. The dynamics of changes in all parameters during cultivation included periods of constant values (3–4 h) followed by a sharp increase/decrease and a slow change until the end of fermentation. The freezing point, titratable acidity, specific electrical conductivity, and pH of the experimental products were compatible to the commercial samples. The acidity changes during fermentation were similar to the data reported by other authors. The research yielded an extended set of physicochemical parameters for the ultra-pasteurized milk and baked milk samples available from retail shops, Minsk, Belarus, and those developed in laboratory conditions. It revealed a linear dependency between the freezing point, acidity, and specific electrical conductivity during cultivation. The data obtained may help factory laboratories to optimize various quality control methods.

Key words. Starter culture, fermented baked milk (*ryazhenka*), freezing point, titratable acidity, active acidity, electrical conductivity, water activity

For citation: Padarozhniaya IV, Vetokhin SS. Physical and Chemical Properties of Commercial Baked Milk vs. Experimental Samples. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):364–380. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2581>

Введение

В производстве молочнокислой продукции наиболее распространенным процессом является сквашивание при помощи бактерий семейства стрептококков, например вида *Streptococcus thermophilus*. Коллекции его промышленных штаммов имеются во многих странах, в том числе на крупных предприятиях молочной продукции [1].

Данный термофильный молочнокислый стрептококк применяется в качестве закваски для некоторых сыров, но в основном для производства кисломолочных продуктов из предварительно термообработанного молока как в консорциуме, так и в отдельности. Особенности таких продуктов, согласно техническому регламенту «О безопасности молока и молочной продукции» по ТР ТС 033/2013, приведены в таблице 1.

В настоящее время публикуется большое количество работ о *S. thermophilus* в самых разнообразных областях

исследований, направленных в основном на селекцию и разработку новых заквасок для улучшения органолептических и технологических свойств кисломолочных продуктов, а также их обогащения различными полезными соединениями, секретируемыми микроорганизмами закваски.

Прослеживается тенденция селекции и разработки новых заквасок *S. thermophilus*, в том числе в составе поликомпонентных пробиотических молочнокислых культур. Источниками их выделения являются традиционные молочные продукты от разных сельскохозяйственных животных. Исследования проводились с новыми штаммами, из коллекций культур, промышленных заквасок [2–19]. Для сравнения отобранных штаммов в качестве контрольных образцов использовались коммерческие закваски [15, 20–22]. На рынке представлены не только импортные, но и российские оригинальные разработки [23].

Таблица 1. Отличительные особенности кисломолочных продуктов в зависимости от применяемых заквасок, сырья и условий производства

Table 1. Effect of various starters, raw materials, and production conditions on the properties of fermented milk products

Продукт	Закваска	Особенность производства
Айран	Термофильный молочнокислый стрептококк, болгарская молочнокислая палочка, дрожжи	С / без добавления воды, поваренной соли
Варенец	Термофильный молочнокислый стрептококк	Молоко и / или молочные продукты предварительно стерилизуются или подвергаются иной термической обработке при температуре $97 \pm 2^\circ\text{C}$
Простокваша	Лактококки и / или термофильные молочнокислые стрептококки	–
Мечниковская простокваша	Термофильный молочнокислый стрептококк и болгарская молочнокислая палочка	–
Йогурт	Термофильный молочнокислый стрептококк и болгарская молочнокислая палочка	Повышенное содержание сухих обезжиренных веществ молока
Ряженка	Термофильный молочнокислый стрептококк с / без добавления болгарской молочнокислой палочки	Используется топленое молоко с / без добавления молочных продуктов
Сметана	Лактококки или смесь лактококков и термофильных молочнокислых стрептококков	Используются сливки с массовой долей молочного жира не менее 10 % с / без добавления молочных продуктов
Творог	Лактококки или смесь лактококков и термофильных молочнокислых стрептококков	Производится методом кислотной или кислотно-сычужной коагуляции молочного белка с последующим удалением сыворотки путем самопрессования и / или прессования, сепарирования (центрифугирования), ультрафильтрации с / без добавления составных частей молока (до / после сквашивания) в целях нормализации молочных продуктов

Изучены взаимосвязи между ростом *S. thermophilus* и лактобактериями во время совместного и раздельного культивирования, а также влияние различных компонентов растительно-животного происхождения на качество полученных кисломолочных напитков с целью накопления гамма-аминомасляной кислоты, экзополисахаридов, летучих соединений и других биологически активных веществ и метаболитов и оценки способности утилизировать лактозу [15, 16, 24–38].

В литературных источниках описаны исследования воздействия заквасочных культур на технологические свойства молочных продуктов; оценена способность *S. thermophilus*, как входящего в состав пробиотиков, так и кисломолочных продуктов в целом, выживать в желудочно-кишечном тракте человека; рассмотрено его значение для здоровья людей [14, 16, 20, 39, 40].

Поиск новых путей применения молочнокислого стрептококка продолжается. При разработке технологии производства бездрожжевого хлеба были использованы местный штамм *S. thermophilus* селекции Горского государственного аграрного университета и дикорастущий хмель [41]. Один из методов определения остаточных количеств ингибирующих веществ в молоке основан на восстановлении резазурина при развитии в нем *S. thermophilus* – штамма, чувствительного к пенициллину, формалину, перекиси водорода, стрептомицину и тетрациклину [42]. Предприняты успешные

попытки расширения области применения данного микроорганизма для определения чувствительности к антибиотикам из групп аминогликозидов, линкозамидов, хинолонов, хлорамфениколов и к β -лактамам [43–45].

В рамках Таможенного союза использование штаммов *S. thermophilus* регулируется требованиями технического регламента «О безопасности молока и молочной продукции» по ТР ТС 033/2013 и гармонизированными национальными стандартами, например национальным стандартом «Продукты кисломолочные. Общие технические условия» по СТБ 2206-2017 Республики Беларусь. Как правило, продукты, поступающие в розничную продажу в Российской Федерации и Беларуси, не содержат нежелательной микрофлоры [46] в отличие от цельно- и кисломолочной продукции во многих странах, например в африканских [47, 48]. Появление недоброкачественной продукции в странах Таможенного союза оперативно отслеживают, и принимаются необходимые корректирующие меры [49].

Рассматриваются кисломолочные продукты, которые изготовлены из предварительно термообработанного молока на закваске термофильным молочнокислым стрептококком, такие как варенец, или из топленого молока, например ряженка.

Технология производства ряженки и методы контроля качества практически не изменялись на протя-

жении десятилетий, за исключением внедрения методов определения точки замерзания (ГОСТ 30562-1996, ГОСТ 25101-2015, Методические указания МУ 4.1./4.2. 2484-09) и параметра активности воды [50–52].

В литературных источниках представлены результаты исследований физико-химических, микробиологических и органолептических показателей ряженки промышленного и фермерского производства. Однако перечень приводимых показателей, как правило, ограничивается требованиями стандартов на данную продукцию [53–57]. Это дает лишь приблизительное представление о качестве продукта, поступающего в магазины. Сведения о физико-химических показателях ряженки, приготовленных в домашних условиях, крайне малочисленны, хотя в крупных продуктовых магазинах можно приобрести сухие культуры молочнокислых микроорганизмов для этих целей.

Цель данной работы – сравнить эффективность методов расширенного контроля процесса сбраживания, а также сопоставить качество ряженки, реализуемой в розничной сети, и ряженковых продуктов, полученных в лабораторных условиях.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись кисломолочные ряженковые продукты, полученные из молока коровьего питьевого ультрапастеризованного с массовой долей жира 2,5 % с использованием бактериальных заквасок «Vita»; ряженки промышленного способа производства и реализуемые в торговой сети г. Минска (Республика Беларусь).

Для обозначения полученного в лабораторных условиях кисломолочного продукта выбран термин ряженковые продукты. Это обусловлено тем, что в процессе приготовления не использовалось топленое молоко и не проводилась операция топления. Таким образом, не выполнялись условия, необходимые для соответствия продукта определению «ряженка», согласно требованиям ТР ТС 033/2013. В остальном технология и применяемые заквасочные культуры соответствовали указаниям изготовителя сухих заквасок для приготовления ряженки. Следует отметить, что для приготовления ряженковых продуктов не использовалось стерилизованное молоко. Кроме того, заквасочные культуры подбирались именно для производства ряженки. По этим причинам полученный продукт также не может быть классифицирован как варенец, который отсутствует в торговой сети г. Минска.

Ультрапастеризованное молоко выбрано как продукт с пониженным исходным содержанием микроорганизмов и, как следствие, с длительным сроком хранения. Топленое молоко, упакованное в тару из непрозрачного многослойного материала, характеризуется в основном жирностью 2,5 % и коротким сроком годности, по сравнению с ультрапастеризованным. Значения физико-химических показателей этих видов

молока сопоставимы [50]. При этом топленое молоко мало представлено на потребительском рынке. Кроме увеличенного срока годности использование ультрапастеризованного молока в пластиковой прозрачной бутылке позволяет: сократить время на подготовку эксперимента с максимальным приближением к домашнему способу приготовления кисломолочного продукта; визуально наблюдать процесс ферментации (время начала образования сгустка); легко перемешивать содержимое для отбора проб; герметично располагать в ограниченном пространстве имеющегося термостата в горизонтальном положении; минимизировать бактериальную обсемененность извне при создании объединенной пробы молока из двух упаковок; задействовать одну и ту же тару и ее содержимое на всем временном интервале сквашивания.

Сравнимый по эффективности кавитационный метод стерилизации молока [58] на пищевых предприятиях Республики Беларусь не применяется. В работе не использовались микронизированные закваски, ускоряющие процесс ферментации [59].

Приобретенные образцы ультрапастеризованного молока до вскрытия упаковки хранились при температуре от 2 до 6 °С. Ферментирование молочного сырья осуществлялось в потребительской таре (закрытые пластиковые бутылки) при постоянных температурных условиях. Характеристика образцов на основе заводской маркировки приведена в таблице 2.

Лабораторная схема получения ряженкового продукта показана на рисунке 1. Перед отбором образцов закрытые пластиковые бутылки перемешивались. Окончанием ферментации являлось достижение одинаковых значений двух последовательных измерений титруемой кислотности образца.

Полученные значения показателей ряженкового продукта, изготовленного в лабораторных условиях, сравнивались с характеристиками ряженки промышленного производства. Для этого в 2019–2022 гг. в торговой сети были закуплены 28 образцов белорусских ряженки разных партий от шести производителей (массовая доля жира – от 2,5 до 4,0 %, масса нетто – от 380 до 500 г). Отобранная пищевая продукция изготавливалась в соответствии с требованиями национального стандарта СТБ 2206-2017. Согласно ГОСТ ISO 707-2013 содержимое неповрежденной и невскрытой розничной упаковки представляло собой один образец.

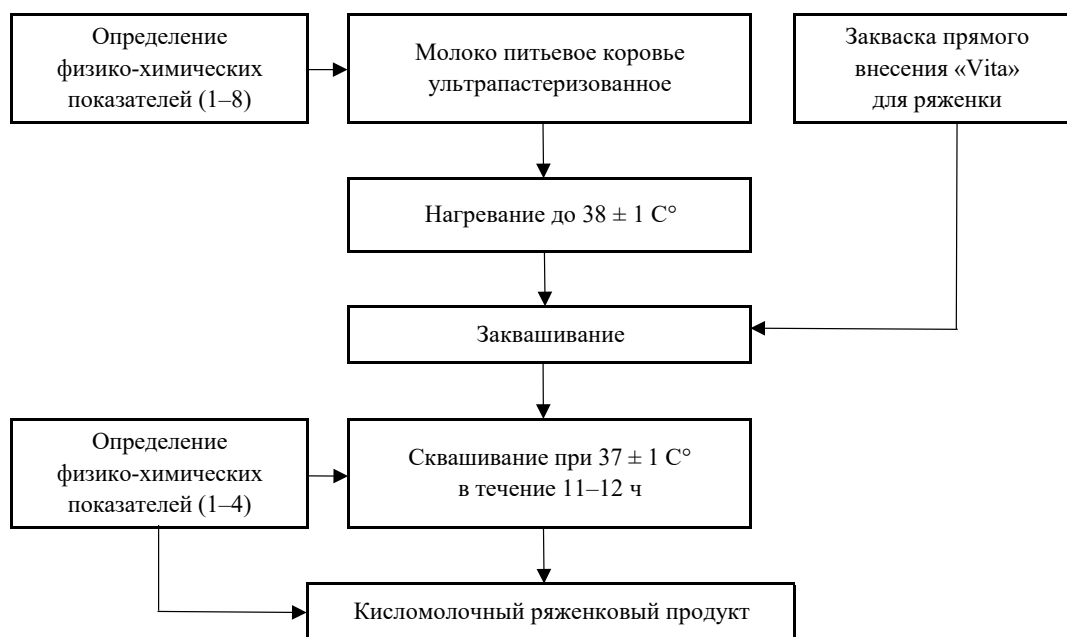
Исследования сырья (закупленных ряженки и полученных ряженковых продуктов) проводилось стандартизированными методами с использованием распространенного оборудования в соответствии с данными работ [50–52]. Для предотвращения температурного эффекта при измерении показателя активности воды (A_w) применялись условия как в публикации [60].

Статистическую обработку данных проводили по стандартным методикам при помощи программного пакета Microsoft Excel 2010.

Таблица 2. Информация, представленная на маркировке потребительской упаковки молока питьевого и сухой закваски

Table 2. Market milk and dry starter culture: Label data

Характеристика	Молоко «Савушкин» питьевое ультрапастеризованное	Закваска «Vita» сухая для ряженки
Состав	Молоко нормализованное	<i>Streptococcus salivarius</i> subsp. <i>thermophilus</i> (образует сгусток вязкой консистенции)
Пищевая ценность 100 г продукта:		
белок, г	3,0	—
жир, г	2,5	—
углеводы, г	4,7	—
Энергетическая ценность	53,3 ккал (223,4 кДж)	—
Объем (масса) продукта	1000 мл	1,4 г (2 пакетика по 0,7 г) с количеством молочнокислых микроорганизмов не менее 10^9 КОЕ/г
Документ	ТУ ВУ 200030514.085-2009	ТУ РБ 00028493.370-93
Срок годности	15 суток	12 месяцев
Изготовитель	ОАО «Савушкин продукт», Республика Беларусь	РУП «Институт мясо-молочной промышленности», Республика Беларусь



Условные обозначения к схеме: 1 – Температура заморозания; 2 – Титруемая кислотность; 3 – Удельная электропроводность; 4 – рН; 5 – Показатель активности воды; 6 – Плотность; 7 – Влажность; 8 – СОМО.

Рисунок 1. Схема проведения эксперимента

Figure 1. Experiment design

Результаты и их обсуждение

Экспериментальные данные некоторых физико-химических показателей ультрапастеризованного питьевого коровьего молока, использованного для получения ряженковых продуктов, приведены в таблице 3.

Национальный стандарт СТБ 1746-2017 для питьевого коровьего молока (с массовой долей жира от 2,5 до 4,5 %) устанавливает следующие нормативные показатели: плотность – не менее 1026 кг/м³; титру-

емая кислотность – не более 18 °Т; сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО) – не менее 8,0 % (не является обязательно нормируемым и контролируемым показателем и устанавливается по усмотрению изготовителя).

Стоит отметить, что закупленные образцы ультрапастеризованного молока производились по техническим условиям. Практически все экземпляры соответствовали требованиям национального стандарта,

Таблица 3. Средние значения физико-химических показателей ультрапастеризованного молока до внесения сухой закваски

Table 3. Physicochemical parameters of ultra-pasteurized milk before introducing starter culture, mean values

Показатели	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Температура замерзания, °C	$-0,511 \pm 0,009$	$-0,501 \pm 0,008$	$-0,513 \pm 0,009$	$-0,518 \pm 0,009$
Титруемая кислотность, °T	$18,0 \pm 1,0$	$17,0 \pm 1,0$	$16,0 \pm 1,0$	$16,0 \pm 1,0$
Удельная электропроводность, мСм/см	$5,16 \pm 0,05$	$5,12 \pm 0,05$	$5,20 \pm 0,05$	$5,19 \pm 0,05$
pH	$6,83 \pm 0,07$	$6,73 \pm 0,07$	$6,82 \pm 0,07$	$6,82 \pm 0,07$
Активность воды, A_w	$0,995 \pm 0,021$	$0,990 \pm 0,020$	$0,946 \pm 0,030$	$1,000 \pm 0,024$
Плотность, кг/м ³	$1029,0 \pm 0,5$	$1029,0 \pm 0,5$	$1028,6 \pm 0,5$	$1028,6 \pm 0,5$
Содержание влаги, %	$89,39 \pm 0,17$	$89,57 \pm 0,05$	$89,63 \pm 0,16$	$89,78 \pm 0,08$
СОМО, %	$8,11 \pm 0,16$	$7,93 \pm 0,03$	$7,87 \pm 0,15$	$7,72 \pm 0,07$

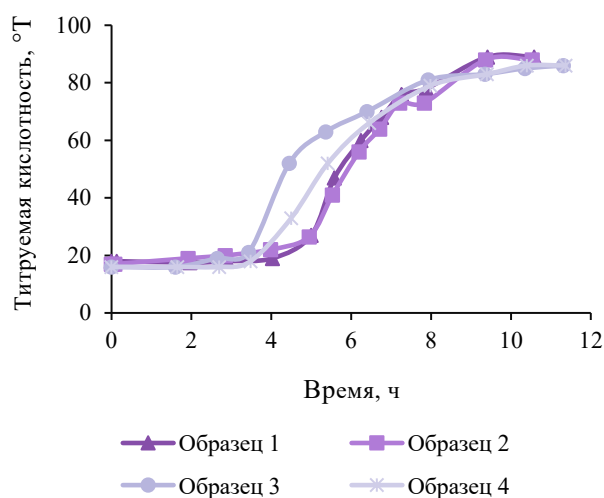


Рисунок 2. Титруемая кислотность молочной смеси при ферментации образцов

Figure 2. Titratable acidity of milk mix during fermentation

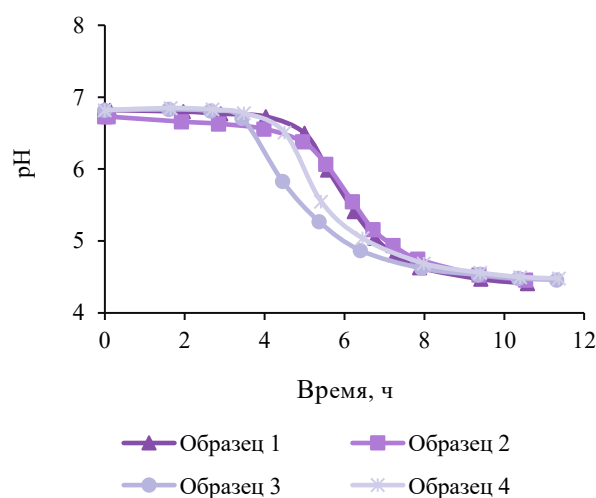


Рисунок 3. Активная кислотность молочной смеси при ферментации образцов

Figure 3. Active acidity of milk mix during fermentation

за исключением трех образцов по необязательному показателю СОМО. Полученные значения физико-химических показателей ультрапастеризованного молока сопоставимы с результатами исследования И. В. Подорожной и С. С. Ветохина [50].

В ходе процесса ферментации активная и титруемая кислотности отслеживались как основные показатели, свидетельствующие об окончании сквашивания продукта (рис. 2, 3).

Согласно национальному стандарту, минимальное значение титруемой кислотности ряженки должно соответствовать 70 °T. В лабораторных условиях данное значение в исследуемых образцах достигалось через 6,5–7,0 ч ферментации молочной смеси.

Измерения температуры замерзания и удельной электропроводности молочной смеси не требуют использования реактивов, осуществляются с минимальными трудозатратами, обеспечивают быстрое получение результатов и позволяют оценить протекающие биохимические процессы в образцах (рис. 4, 5).

Результаты определения физико-химических показателей ряженного продукта представлены в таблице 4.

Протекающие биохимические процессы во время ферментации в ультрапастеризованном питьевом коровьем молоке привели к увеличению значений титруемой кислотности и удельной электропроводности, понижению значений pH и температуры замерзания конечного кисломолочного продукта.

В процессе обработки полученных результатов установлена линейная зависимость между значениями всех использованных физико-химических характеристик (табл. 5).

Приведенные в таблице 5 данные показывают высокую степень достоверности представленных зависимостей. Значительный разброс крутизны этих зависимостей обусловлен в большей степени условностью шкал некоторых физических величин. Кроме того, разброс значений аддитивных членов связан с различными подходами к выбору нулевой точки отсчета на этих шкалах. Важно учитывать, что эти

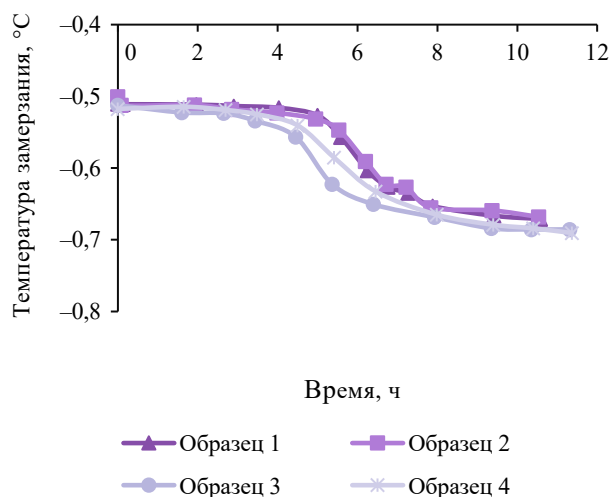


Рисунок 4. Температура заморозки молочной смеси при ферментировании образцов

Figure 4. Freezing temperature of milk mix during fermentation

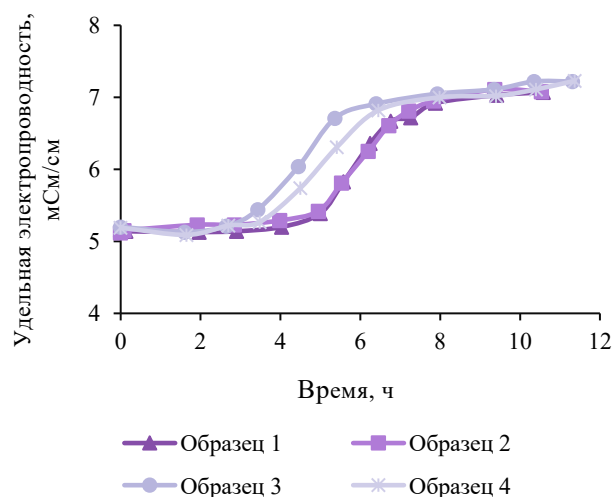


Рисунок 5. Удельная электропроводность молочной смеси при ферментировании образцов

Figure 5. Specific electrical conductivity of milk mix during fermentation

Таблица 4. Средние значения физико-химических показателей ряженковых продуктов в конце сквашивания в лабораторных условиях

Table 4. Physicochemical parameters of experimental baked milk after fermentation, mean values

Показатели	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Время сквашивания, ч	10,58	10,53	11,32	11,37
Температура заморозки, °C	$-0,671 \pm 0,009$	$-0,673 \pm 0,008$	$-0,686 \pm 0,008$	$-0,691 \pm 0,011$
Титруемая кислотность, °T	$89,0 \pm 1,0$	$88,0 \pm 1,0$	$86,0 \pm 1,0$	$86,0 \pm 1,0$
Удельная электропроводность, мСм/см	$7,07 \pm 0,07$	$7,08 \pm 0,07$	$7,22 \pm 0,07$	$7,23 \pm 0,07$
pH	$4,41 \pm 0,04$	$4,46 \pm 0,04$	$4,46 \pm 0,04$	$4,48 \pm 0,04$

Таблица 5. Линейные уравнения зависимостей между измеренными показателями

Table 5. Linear dependencies between indicators

Показатели		Вид линейного уравнения	R^2
Y	X		
Температура заморозки	Титруемая кислотность	$y = -0,0023x - 0,4709$	0,9694
Температура заморозки	Удельная электропроводность	$y = -0,0814x - 0,0900$	0,9808
Температура заморозки	pH	$y = 0,0695x - 0,9837$	0,9788
Титруемая кислотность	Удельная электропроводность	$y = 34,226x - 159,55$	0,9847
Титруемая кислотность	pH	$y = -29,373x + 217,21$	0,9927
Удельная электропроводность	pH	$y = -0,8494x + 10,958$	0,9875

результаты применимы к относительно узкому диапазону варьирования физических величин, актуальному для решаемой задачи. В более широком диапазоне зависимости могут иметь более сложный характер, например полиномиальный, как это представлено в модельном эксперименте для растворов сахара [61].

Информация об отобранных в торговой сети ряженках в розничной упаковке представлена в таблице 6, причем все готовые к употреблению пищевые продукты изготовлены на топленом молоке, в соответствии с требованиями ТР ТС 033/2013 и СТБ 2206-2017.

Полученные средние значения измеренных физико-химических показателей ряженки, включая их разброс, в сопоставлении с требованиями национального стандарта, приведены в таблице 7.

В целом ряженки промышленного способа производства, за исключением двух образцов по показателю СОМО, соответствовали требованиям национального стандарта СТБ 2206-2017. Разброс значений температуры заморозки изготовленных кисломолочных продуктов и закупленных ряженки аналогичен представленному в исследовании [51].

Таблица 6. Краткое описание образцов ряженок, приобретенных в торговой сети г. Минска (Республика Беларусь)

Table 6. Commercial baked milk purchased in Minsk, Republic of Belarus

Производитель	Общее количество образцов	Распределение по способу производства кисломолочного продукта		Распределение по массовой доле жира	
		Способ производства	Количество образцов	Массовая доля жира, %	Количество образцов
I	6	Резервуарный	5	2,5	5
		Термостатный	1	2,5	1
II	5	Резервуарный	5	3,0	5
III	4	Резервуарный	4	4,0	4
IV	11	Резервуарный	2	3,2	2
		Термостатный	9	2,5	7
				3,6	1
				4,0	1
V	1	Резервуарный	1	3,2	1
VI	1	Резервуарный	1	4,0	1

Таблица 7. Данные физико-химических показателей всех отобранных ряженок, изготовленных в промышленных условиях, в сравнении с требованиями национального стандарта

Table 7. Actual physicochemical properties of commercial baked milk vs. national standard

Показатели	Требования, согласно СТБ 2206-2017	Ряженка резервуарная		Ряженка термостатная	
		Среднее значение	Интервал значений	Среднее значение	Интервал значений
Температура замерзания, °C	не нормируется	$-0,659 \pm 0,010$	$-0,707...-0,605$	$-0,640 \pm 0,010$	$-0,673...-0,596$
Титруемая кислотность, °T	70–110	$89,0 \pm 2,0$	79,0...101,5	$81,2 \pm 2,3$	75,5...91,0
Удельная электропроводность, мСм/см	не нормируется	$6,79 \pm 0,09$	6,51...7,17	$6,82 \pm 0,09$	6,63...7,19
pH	4,8–4,0	$4,44 \pm 0,05$	4,62...4,20	$4,55 \pm 0,06$	4,67...4,29
Активность воды, A_w	не нормируется	$0,986 \pm 0,021$	0,978...1,000	$0,990 \pm 0,025$	0,970...1,000
Содержание влаги, %	не нормируется	$88,63 \pm 0,28$	87,19...89,74	$89,21 \pm 0,23$	88,04...89,90
СОМО, %	не менее 7,8	$8,24 \pm 0,11$	7,76...8,81	$8,03 \pm 0,13$	7,59...8,36

Сравнение средних значений физико-химических показателей анализируемых кисломолочных продуктов, приготовленных в лабораторных условиях, с продуктами, изготовленными на белорусских предприятиях, представлено на рисунке 6 (независимо от жирности) и в таблице 8 (при жирности готового продукта 2,5 %).

Учитывая замкнутое пространство в пластиковой бутылке и отсутствие влияния биохимической обработки молочной смеси на значения СОМО, влажности и активности воды, нами дополнительно не проводились исследования данных показателей в лабораторных образцах готовых кисломолочных продуктов.

Согласно национальному стандарту СТБ 2206-2017, ряженка по органолептическим показателям должна представлять собой жидкость однородную с не / нарушенным сгустком без газообразования; светло-кремового цвета, равномерного по всей массе; с чистым кисломолочным вкусом и запахом, с выраженным привкусом пастеризации, без посторонних привкусов и запахов.

Стоит отметить, что идентичными ряженке характеристиками должен соответствовать и варенец, за исключением цвета (от белого до светло-кремового) и минимального значения кислотности (от 80 °T).

По результатам оценки органолептических характеристик и ряда физико-химических показателей, приготовленные ряженковые продукты и ряженки, реализуемые в торговых сетях, соответствовали требованиям ТР ТС 033/2013 и СТБ 2206-2017, за исключением цвета сквашенных образцов, который был белым (а не кремовым), что обусловлено применением ультрапастеризованного, а не топленого молока в качестве сырья, используемого в классических рецептурах. Полученные кисломолочные продукты отвечали требованиям ТР ТС 033/2013 и СТБ 2206-2017, предъявляемым к варенцу.

Ввиду невозможности приобретения варенца, сравнить его органолептические характеристики и некоторые физико-химические показатели не представляется возможным. Помимо этого, применяемые зак-

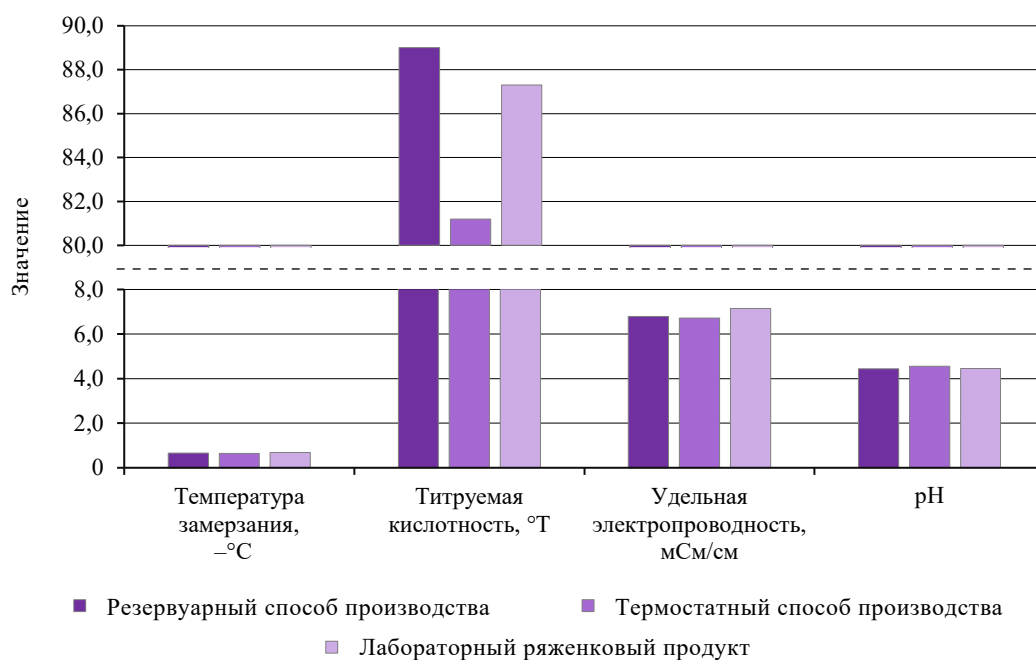


Рисунок 6. Сравнительная характеристика средних значений показателей качества готовых кисломолочных продуктов в зависимости от способа производства (независимо от жирности продукта)

Figure 6. Fermented baked milk with different production methods across all fat contents: Quality indicators, mean values

Таблица 8. Физико-химические показатели кисломолочных продуктов с массовой долей жира 2,5 %, изготовленных в лабораторных и промышленных условиях

Table 8. Physicochemical parameters of fermented milk with 2.5% fat: Experimental vs. commercial samples

Показатели	Лабораторный ряженковый продукт	Промышленный способ производства	
		Резервуарный	Термостатный
Температура заморозки, °C	$-0,680 \pm 0,009$	$-0,654 \pm 0,012$	$-0,634 \pm 0,011$
Титруемая кислотность, °T	$87,3 \pm 1,0$	$92,8 \pm 3,1$	$79,0 \pm 1,4$
Удельная электропроводность, мСм/см	$7,15 \pm 0,07$	$6,82 \pm 0,15$	$6,83 \pm 0,10$
pH	$4,45 \pm 0,04$	$4,35 \pm 0,06$	$4,58 \pm 0,05$

васочные культуры предназначены исключительно для изготовления ряженки, а не варенца.

Несмотря на отличия в цвете, полученные ряженковые продукты по вкусовым характеристикам больше всего похожи на ряженку. Кислотность, температура заморозки и удельная электропроводность этих продуктов также близки к показателям ряженки. Основную роль в изменении данных показателей играет не способ термической обработки сырья, а применяемая заквасочная культура.

Кислотность сквашенных кисломолочных продуктов с массовой долей жира 2,5 % находилась приблизительно между значениями данных показателей ряженки резервуарного и термостатного способов изготовления. Значения показателей, зависящих от количества растворенных веществ или токопроводящих ионов, значительно отличаются. Однако оценить причины этого проблематично из-за отсутствия информации по применяемому предприятиями-изготовителями исходному сырью – топленому молоку, поскольку

в данном случае влияние могут оказывать как показатели исходного сырья, так и используемые культуры заквасочных микроорганизмов.

Штамм *Streptococcus thermophilus*, используемый в данной работе в сухой закваске для приготовления ряженки, не уточняется, поэтому проведены сравнения полученных результатов с данными других авторов по продуктам, изготовленным с применением различных штаммов *S. thermophilus*.

В работе К. V. Moiseenko *et al.* [57] проводили исследования ряженки двух российских производителей (по три образца каждого продукта) промышленного способа изготовления, приобретенные в торговой сети г. Москвы (Россия). Состав продуктов и среднее значение (pH $4,46 \pm 0,06$) подобны нашим данным по лабораторным и закупленным образцам.

Н. А. Тихомирова и Д. С. Зверев [53] отобрали четыре образца ряженки с массовой долей жира 4,0 %, три из которых были промышленного производства, а один – фермерского, реализуемые в розничной сети

Московской области. Фермерский образец не соответствовал заявленной жирности продукта и имел титруемую кислотность 63 °Т. Фактическая массовая доля жира второго экспериментального образца составила 2,8 %. Титруемая кислотность ряженки промышленного производства (от 78 до 90 °Т) согласуется с нашими результатами.

В. Н. Шалевская и В. П. Лавицкий [54] изготавливали ряженку из нормализованного молока с массовой долей жира 1,0; 2,5; 3,2 и 4,0 %. Во все образцы вносилось 5 % сухого обезжиренного молока для получения продукта с желаемой консистенцией. Смесь пастеризовали при температуре 95 °С и проводили топление в течение 3 ч до выраженного светло-кремового цвета. Затем ее заквашивали при 42 °С закваской *S. thermophilus* до pH 4,55, после чего охлаждали до 6 °С [54]. Значения активной кислотности в первые сутки хранения подобны полученным нами результатам, но при этом титруемая кислотность наших образцов была выше, чем в исследовании.

В работе M. Nan *et al.* [26] приведена динамика pH при росте термофильного стрептококка, выделенного из различных традиционных китайских кумысных молочных продуктов и способного давать концентрацию гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК) до 2,8 г/л после 48 ч ферментации на обезжиренном молоке с глутаматом натрия при температурах сквашивания 37 и 42 °С. Динамика pH и значения активной кислотности, полученные в условиях сквашивания при 37 °С, сопоставимы с нашими результатами, за исключением более низкой скорости подкисления молока и более высоких значений титруемой кислотности.

Исследования штаммов 1M2, 4M6, 6G3, 7G10, 15G5, выделенных из традиционного ферментированного молока яков (провинция Сычуань, Китай), и коммерческого штамма C2 (STI12, Chr. Hansen A/S, Херсхольм, Дания) *S. thermophilus* проводились в восстановленном стерилизованном обезжиренном молоке с концентрацией 11 % (вес/объем) после 8 ч ферментации при 42 °С. Представленные средние значения результатов из трех независимых экспериментов по кислотообразованию демонстрируют высокую активность штаммов (подкисление питательной среды в первые 2 ч ферментации). За аналогичный период ферментации (8 ч), хоть и на другой питательной среде, при более низкой температуре ферментации 37 °С, получены схожие значения активной кислотности, по сравнению с 6 штаммами, и наиболее близкие результаты титруемой кислотности штаммов 4M6, 15G5, C2 [15].

Динамику роста и подкисления пастеризованного молока, сопоставимую с результатом, представленным в предыдущей работе, показал штамм *S. thermophilus* BGKMJ1-36, выделенный из кисломолочного продукта, традиционно производимого в домашних условиях в деревне Ябука (Приеполь, Сербия) [14]. Приблизительно после 6 ч сквашивания и до конца

первых суток хранения изменения pH не наблюдались, что согласуется с нашими данными.

Характер изменения pH при сквашивании штаммом *S. thermophilus* SDMCC050215 близок к нашим результатам, несмотря на иные условия культивирования: ферментация проводилась штаммами *S. thermophilus* CGMCC 7.179 и SDMCC050215 на специально подобранной питательной среде (бульон M17 с лактозой) при 42 °С. Представленные результаты значений активной кислотности после 24 ч ферментации выше, чем у полученных нами, и составляют около 5,3 для штамма CGMCC 7.179 и 4,8 – для SDMCC050215 [4]. Заметный процесс понижения pH начался сразу в первые 2 ч культивирования, что вдвое быстрее, чем в наших экспериментальных наблюдениях.

Зависимость значений pH молока при ферментации штаммами *S. thermophilus* St-143 и ST-10255y (Chr. Hansen, Дания), продуцирующими экзополисахариды [27], аналогична изменениям значений pH, выявленным нами при более резких изменениях параметра вследствие ферментации при более высоких температурах (40 °С). В этом исследовании проводилось сквашивание молока, восстановленного из сухого (раствор из 12 г порошка сухого молока и 100 г деионизированной воды, который подвергался нагреву при 85 °С в течение 30 мин, с последующим охлаждением до 5 °С), с добавлением пептона в количестве 3,0 % (вес/вес) и 0,2 % (вес/вес) для двух указанных штаммов соответственно. Установленные нами интервалы времени отсутствия заметного снижения pH, последующего резкого снижения и замедления до прекращения ферментации при значениях pH, близких к 4,5, примерно соответствовали полученным в исследовании S. N. Khanal и J. A. Lucey [27].

Значения активной кислотности, полученные нами, согласуются с результатами исследования [9] после 6 ч инкубации на обезжиренной 10 % молочной среде при 37 °С штамма термофильного стрептококка под условным обозначением St3, выделенного из местных изолятов (Пакистан). При этом титруемая кислотность данного штамма оказалась выше: 0,64 % (приблизительно 71 °Т).

Z. Urshev *et al.* [8] сравнивали отобранные штаммы с *S. thermophilus* LBB.A – компонентом промышленной йогуртовой закваски LBB.BY5-12. После 3,5 ч ферментации значения активной кислотности продукта достигали 4,7. Но контрольный штамм LBB.A показал pH около 4,8 только через 7 ч. В данной работе температурные режимы ферментации не указаны.

Кисломолочный продукт на основе восстановленного обезжиренного молока (12 % общего содержания сухих веществ) получен с использованием заквасочной культуры *S. thermophilus* TA 559. Ферментация при 45 °С через 2 ч 45 мин приводила к pH 4,7. После охлаждения до 38 °С, кондиционирования в стерилизованных стеклянных бутылках и хранения при 4 °С в течение суток значения pH опускались до 4,52–4,53, а титруемая кислотность, определенная по офи-

циальным методам анализа AOAC International, составляла 106,4–106,1 ед. [10]. В нашем исследовании культивирование при 37 °C в течение 3 ч не приводило к изменениям кислотности.

Различные лиофилизированные концентрированные заквасочные культуры прямого внесения, среди которых FD-DVS ST-Body-4 – Yo-Flex (Chr. Hansen, Дания), содержащая *S. thermophilus*, выбраны для изучения их влияния на технологические свойства молочных продуктов [56]. При этом используемое молочное сырье для приготовления ряженки не уточняется, за исключением сведений о массовой доле жира 2,5 % и температурных режимов. При суточном хранении образцов при температуре 4 ± 2 °C титруемая кислотность составила около 75 °T, что существенно ниже, чем у наших образцов ряженковых продуктов.

Результаты, представленные в работе [62], по сравнению с нашими, показали постоянную скорость подкисления после 8 ч ферментирования *S. thermophilus* JM905 при температуре 37 °C в специально подготовленной и стерилизованной молочной среде (в дистиллированной воде на обезжиренном сухом молоке с сахарозой). При этом конечные значения pH подобны достигнутым нами результатам, за исключением более высоких значений титруемой кислотности.

Исследование X. Zhao et al. [63] направлено на изучение влияния различных соотношений инокулята *S. thermophilus* CICC 6063 и *Lactobacillus helveticus* CICC 6064 на характеристики ферментации и изменения летучих соединений во время этого процесса и хранения. Для сравнения использовалась коммерческая закваска, состав которой и применяемые молочная среда и температурные условия не указаны. Процесс ферментирования начался сразу после внесения заквасок и полученные молочные продукты оказались кислее в отличие от наших экспериментальных образцов.

В работе D. Li et al. [64] штамм *S. thermophilus* S10 из коллекции молочнокислых культур Сельскохозяйственного университета Внутренней Монголии (Китай) инокулировали в восстановленное и стерилизованное молоко, инкубировали при 42 °C до pH 4,5. Титруемая кислотность составила менее 82 °T, что близко к экспериментальным результатам.

При идентификации из сырого молока молочнокислых бактерий, перспективных для ГАМК-производства, выделенные культуры *S. thermophilus* по наибольшей степени превращения глутамата натрия в ГАМК были подвергнуты RAPD-типированию и повторной ПЦР для поиска генетически неродственных штаммов [65]. В результате отобрано четыре штамма *S. thermophilus* с условными обозначениями St 8.1; St 9.1; St 18.1 и St 21.1. Впоследствии только два штамма – St 8.1 и St 18.1 – хорошо росли при 42 °C и коагулировали молоко (с низким содержанием жира) с добавлением 10 мМ глутамата натрия за 12 ч инкубации (pH 4,43–4,70). Несмотря на другие условия культивирования, изменения значений pH близки к нашим

результатам. Остальные штаммы *S. thermophilus*, напротив, не вызывали свертывания молока даже после 24 ч инкубации.

Йогуртовыми заквасками прямого внесения Yo-mix (Джос, Нигерия), содержащими штаммы *Lactobacillus bulgaricus* и *S. thermophilus* в соотношении 1:1, инокулированы образцы восстановленного молока из сухого с массовой долей сухих веществ 10 % [21]. При инкубации в течение 6 ч при 43 °C с остановкой ферментации путем снижения температуры до 4 ± 2 °C pH составила $4,86 \pm 0,05$, а титруемая кислотность – $0,657 \pm 0,011$ в процентном содержании молочной кислоты, что значительно выше, чем у наших образцов с однокомпонентной молочнокислой культурой.

Подобные результаты наблюдались и в йогурте с низким содержанием жира (14 г/л) [22]. Продукт изготавливался с использованием закваски YC-380 (Chr. Hansen, Дания), содержащей *S. thermophilus* и *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, на пастеризованном молоке путем ферментации при 40 °C в течение 8 ч. Показатели pH составили $4,34 \pm 0,03$, а титруемой кислотности – $0,72 \pm 0,02$ %.

Значительно медленная скорость подкисления, по сравнению с ряженковыми продуктами, наблюдалась в исследовании K. Wang и C. Ma [66], в котором изучалось влияние *S. thermophilus* на способность *L. plantarum* к подкислению и размножению во время ферментации молока. Установлено, что добавление 0,2 % клеточного экстракта *S. thermophilus* привело к значению pH 4,53 в конечном продукте через 72 ч ферментации при 37 °C.

В работе Z. Shi et al. [17] представлено исследование влияния сверхэкспрессии генов *luxS* и *pfs* на ферментативную способность штамма *S. thermophilus*. Авторами проводилась оценка кислотообразования дикого типа *S. thermophilus* ABT-T и трех успешно сконструированных штаммов с повышенной экспрессией генов (*S. thermophilus* ABT-T, *S. thermophilus* ABT-T pMG36e, *S. thermophilus* ABT-T pMG36e-luxS, *S. thermophilus* ABT-T pMG3e-pfs). Для приготовления молока использовался раствор, содержащий 12,5 % цельного сухого молока, 6 % сахарозы и 81,5 % дистиллированной воды, при температуре 55 °C. Молоко нагревали при 95 °C в течение 10 мин, затем охлаждали до 42 °C. Каждый штамм инокулирован в молоко в концентрации 8×10^6 КОЕ/мл. Ферментация проводилась при 42 °C в течение 24 ч, а охлаждение и хранение – 16 ч при 4 °C. Штаммы продемонстрировали последовательную тенденцию к снижению pH. Таким образом, введение плазмиды pMG36e и сверхэкспрессия гена *luxS* не оказали влияния на выработку кислоты, за исключением ферментирования молока *S. thermophilus* ABT-T pMG3e-pfs, pH которого снижался значительно быстрее, чем в трех других группах, и через 24 ч ферментации pH достиг 4,62. При хранении кислотность ферментированного молока *S. thermophilus* ABT-T pMG3e-pfs увеличи-

лась быстрее других показателей, достигнув $91 \pm 0,47$ °Т после 24 ч ферментации и $94 \pm 0,68$ °Т после 16 ч хранения, а в остальных трех группах существенно не отличалась [17]. В исследуемых нами образцах кислотность нарастала быстрее. При этом конечные результаты, полученные с использованием *S. thermophilus* ABT-T pMG3e-pfs в указанной работе, согласуются с нашими данными.

М. Nan *et al.* [18] провели масштабное исследование способности ферментировать молоко ста различными штаммами *S. thermophilus*, выделенными в шести провинциях Китая из 80 местных кисломолочных продуктов, включая кумыс, курут, ферментированные коровье и козье молоко. Идентификация штаммов осуществлялась при помощи секвенирования 16S рДНК. Монокультуры приготовлены путем инокуляции в концентрации 1×10^6 КОЕ/мл штаммов *S. thermophilus* в пастеризованное при 95 °С в течение 5 мин или в ультрапастеризованное молоко. Совместные культуры различных штаммов изготовлены при помощи инокуляции в соотношении 1:1 в свежем молоке, пастеризованном при 95 °С в течение 5 мин, при общей концентрации 1×10^6 КОЕ/мл. Для ферментации молока температура поддерживалась на уровне 42 °С. Результаты определения титруемой кислотности кисломолочных продуктов показали существенный разброс значений. При совместном применении двух штаммов (специально подобранных для улучшения скорости ферментации, текстуры продукта и контроля постокисления) скорость изменения рН была выше, и полученные кисломолочные продукты оказались кислее, чем наши экспериментальные образцы.

Проводилось изучение влияния гидролиза лактозы на ферментационные свойства *L. bulgaricus* 2038 и *S. thermophilus* 1131, которые используются в качестве промышленной закваски для йогурта [32]. Несмотря на применение модифицированных сред с лактозой (10 % раствор обезжиренного сухого молока, дополненного 0,01 % казеином СМА500 (Нидерланды)) и глюкозой ферментирование монокультурой *S. thermophilus* 1131 (Meiji Innovation Center, Япония) показало подобную достигнутым нами результатам динамику понижения рН среды, за исключением отсутствия в начале процесса ферментации плато. Среду с глюкозой готовили из 10 % раствора обезжиренного сухого молока с добавлением лактазы GODO-YNL (Япония) и инкубировали в течение 16 ч при 4 °С для гидролиза лактозы на глюкозу и галактозу. Авторами отмечено, что исследуемые штаммы не могут использовать галактозу. Перед внесением закваски в глюкозную среду также вводили 0,01% казеина СМА500 (Нидерланды). Все кисломолочные продукты получены при 40 °С в аэробных условиях [32].

При оценке продукции метаболитов тремя различными штаммами микроорганизмов высокая скорость подкисления наблюдалась в образцах пасте-

ризованного при 90 °С в течение 10 мин свежего молока (New Hope Dairy) с последующим охлаждением до 45 °С в бане с ледяной водой и ферментированием с помощью *S. thermophilus* (Danisco, Германия): рН достиг значения 4,60 через 265 мин культивирования при 42 °С [33], что значительно отличается от наших данных.

Т. Wu *et al.* [34] в исследовании по сравнению летучих соединений ферментированного при различных температурах молока использовали пять штаммов *S. thermophilus*: ND03, S10, GW21-4, S32-5 и XJ57-3. Заквасочные культуры предоставлены Центром сбора молочнокислых бактерий Сельскохозяйственного университета Внутренней Монголии (Китай). Штамм ND03 выделен из кислого молока яка (Хайбэйчжоу, провинция Цинхай); S10 – из натурально ферментированного йогурта (провинция Цинхай); GW21-4 – из монгольского йогурта; S32-5 – из кислого молока яка (провинция Сычуань); XJ57-3 – из йогурта (автономный район Синьцзян). Питательная среда состояла из раствора, содержащего 11,5 % цельного сухого молока и 6,5 % сахарозы. Смесь гомогенизировали (65 °С, 20 МПа) и пастеризовали при 95 °С в течение 5 мин. Образцы инкубировали при 37 и 42 °С до рН $4,60 \pm 0,02$. Во всех случаях значения рН и титруемой кислотности полученных кисломолочных продуктов были близки как между штаммами в целом, так и в каждом штамме по отдельности при двух температурах культивирования. При этом титруемая кислотность ферментированного при 37 °С молока в сравнении с подобными значениями рН наших результатов была схожей и находилась в пределах от 72 до 80 °Т.

При изучении стимулирующего действия пребиотиков на реологические свойства и вкусовые характеристики ферментированного молока применялся штамм *S. thermophilus* GST-6 [40], выделенный из тибетского кефира молочной лабораторией Пекинского университета технологий и бизнеса (Китай). Цельное сухое молоко восстанавливали до 8 % общего содержания сухих веществ в воде при 25 °С, вносили 5 % сахарозы в смеси цельного сухого молока / воды. Образцы пастеризовали при 65 °С в течение 30 мин и охлаждали до температуры инкубации (37 °С). Далее приготовленное молоко с закваской ферментировалось при температуре 42 °С. Динамика изменения рН в начале инкубирования соответствовала экспериментальным данным: примерно через 3 ч ферментации значение рН было больше 6,0. Дальнейшее подкисление происходило существенно медленнее, по сравнению с полученными данными. Окончательная стабилизация произошла на уровне рН 4,5 только через 46 ч.

Похожие результаты с очень медленным подкислением во время ферментации были отмечены в исследовании L. B. Olvera-Rosales *et al.* [35] при изучении синтеза низкомолекулярных пептидов и ингибирующего потенциала протеолитического фермента.

В качестве питательной среды применялся раствор 10 % сыворотки на закваске *S. thermophilus* SY-102, выделенной в мексиканской Лаборатории пищевой биотехнологии Автономного университета Метрополитена (Мексика). В процессе инкубирования монокультуры при 42 °С pH среды достиг 4,8 только через 48 ч.

Аналогично нашим экспериментальным данным при изучении совместного выращивания *Levilactobacillus brevis* NPS-QW 145 и *S. thermophilus* ASC C1275 [36] для усиления выработки ГАМК активная кислотность восстановленного обезжиренного молока (10 %) с добавлением 2 г/л глутамата натрия через 10 ч ферментации при температуре 37 °С как монокультурой *S. thermophilus*, так и при совместном использовании составила 4,5.

Выводы

В ходе проведенного исследования определен расширенный набор физико-химических показателей ультрапастеризованного питьевого коровьего молока, ряженки, изготовленных в промышленных условиях, и нового кисломолочного ряженкового продукта, идентичного по физико-химическим и органолептическим, за исключением цвета, показателям. Несмотря на различия в применении молочного сырья, условий ферментирования и способа изготовления предприятий ряженки, наблюдаются схожие значения физико-химических показателей всех кисломолочных продуктов данного вида.

Использование ультрапастеризованного молока вместо топленого не оказало существенного влияния на результаты. Полученные в лабораторных условиях образцы ряженкового продукта соответствовали требованиям стандартов и обладали сопоставимыми значениями кислотности, удельной электропроводности и температуры замерзания с промышленно изготовленными ряженками (резервуарным и / или термостатным способом) с разной жирностью. Значения кислотности кисломолочных продуктов с массовой долей жира 2,5 % независимо от способа получения были подобны.

Ферментированное молоко, по сравнению с исходным (ультрапастеризованным), характеризуется повышенными значениями титруемой кислотности

и удельной электропроводности и пониженными – температуры замерзания и pH.

Полученные изменения значений кислотности, удельной электропроводности и температуры замерзания при ферментировании согласуются с определенными данными из литературных источников даже при использовании различных питательных сред и несмотря на значительное разнообразие штаммов *S. thermophilus*.

Экспериментально установлены линейные зависимости между выбранными показателями, измеренными в ходе ферментации молочной смеси, позволяющие с практически одинаковой эффективностью осуществлять любые из числа рассмотренных методы контроля физико-химических характеристик продукта.

Применение криоскопического и кондуктометрического методов, по сравнению с традиционными методами определения титруемой кислотности и pH, обеспечивает автоматизацию контроля и увеличение его производительности, что может привести к повышению качества и конкурентоспособности молочной продукции.

Критерии авторства

И. В. Подорожная – общая идея, руководство работой, выполнение и обработка экспериментальных исследований. Авторы внесли равный вклад в анализ, обобщение результатов исследований и оформление статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

I.V. Padarozhniaya developed the research concept, supervised the research, performed the experiments, and processed the data. The authors contributed equally to the analysis and synthesis of research results and bear equal responsibility for the information published in this paper.

Conflict of interest

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

Список литературы / References

1. Hutkins R, Goh YJ. Streptococcus | *Streptococcus thermophilus*. In: Batt CA, Tortorello ML, editors. Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition). Amsterdam: Elsevier; 2014. pp. 554–559. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00325-6>
2. Головач О. С., Бабицкая М. А., Жабанос Н. К., Пыжик И. П., Коркина М. В. и др. Оценка реологических характеристик и уровня синтеза экзополисахаридов (ЭПС) консорциумами *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* при различных температурных режимах ферментации молока. Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья. 2020. № 14. С. 58–67. [Golovach OC, Babitskaya MA, Zhabanos NK, Pyzhik IP, Korkina MV, et al. Investigation of the rheological characteristics and level of synthesis of exopolysaccharides (EPS) by the consortium of *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*

at different temperature in process of milk fermentation. Topical Issues of Processing of Meat and Milk Raw Materials. 2020;(14):58–67. (In Russ.)] <https://doi.org/10.47612/2220-8755-2019-14-58-67>

3. Брызгалова А. С. Оценка влияния разных концентраций соли в среде при различных температурных режимах на заквасочную культуру *Streptococcus thermophilus*. Шаг в науку. 2020. № 2. С. 12–16. [Bryzgalova AS. Assessment of the influence of different salt concentrations in the environment at various temperature regimes on the filling *Streptococcus thermophilus* culture. Step into science. 2020;(2):12–16. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XHDVHY>

4. Zhang SS, Xu ZS, Qin LH, Kong J. Low-sugar yogurt making by the co-cultivation of *Lactobacillus plantarum* WCFS1 with yogurt starter cultures. Journal of Dairy Science. 2020;103(4):3045–3054. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17347>

5. Zhao JC, Mu YL, Gu XY, Xu XN, Guo TT, et al. Site-directed mutation of β -galactosidase from *Streptococcus thermophilus* for galactooligosaccharide-enriched yogurt making. Journal of Dairy Science. 2022;105(2):940–949. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20905>

6. Zarzecka U, Chajęcka-Wierzchowska W, Zadernowska A. Microorganisms from starter and protective cultures – Occurrence of antibiotic resistance and conjugal transfer of *tet* genes *in vitro* and during food fermentation. LWT. 2022;153:112490. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112490>

7. Степанова А. П., Ловцова Л. Б., Семенова Е. И., Бибарсова А. А., Золкина Н. Г. Скрининговые исследования культурально-морфологических признаков и физиолого-биологических свойств коллекционных штаммов молочнокислых бактерий. Вестник всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2020. № 1–2. С. 83–87. [Stepanova AP, Lovtsova LB, Semionova EI, Bibarsova AA, Zolkina NG. Screening assay of cultural-morphological characters of lactobacillus collection strains. Vestnik of the Alle-Russia scientific research Institute of fats. 2020;(1–2):83–87. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2020.43.29.007>

8. Urshev Z, Ninova-Nikolova N, Ishlimova D, Pashova-Baltova K, Michaylova M, et al. Selection and characterization of naturally occurring high acidification rate *Streptococcus thermophilus* strains. Biotechnology & Biotechnological Equipment. 2014;28(5):899–903. <https://doi.org/10.1080/13102818.2014.966233>

9. Soomro AH, Masud T. Selection of yoghurt starter culture from indigenous isolates of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* on the basis of technological properties. Annals of Microbiology. 2008;58:67–71. <https://doi.org/10.1007/BF03179447>

10. Zacarchenco PB, Massaguer-Roig S. Properties of *Streptococcus thermophilus* fermented milk containing variable concentrations of *Bifidobacterium longum* and *Lactobacillus acidophilus*. Brazilian Journal of Microbiology. 2006;37(3):338–344. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822006000300025>

11. Ban Q, Liu Z, Yu C, Sun X, Jiang Y, et al. Physiochemical, rheological, microstructural, and antioxidant properties of yogurt using monk fruit extract as a sweetener. Journal of Dairy Science. 2020;103(11):10006–10014. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18703>

12. Кияшко Н. В., Берсенева С. А., Белов А. Н., Белова Г. А., Гусарчук М. А. Растительные добавки как компонент кисломолочного продукта функционального назначения. Вестник КрасГАУ. 2021. № 4. С. 140–147. [Kiyashko NV, Berseneva SA, Belov AN, Belova GA, Gusarchuk MA. Floral additives as a component of functional purpose for sour milk product. The Bulletin of KrasGAU. 2021;4:140–147. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-140-147>

13. Власова Ж. А., Аккацева С. В. Биотехнология производства обезжиренного йогурта с использованием лактобактерий селекции горского ГАУ. Известия Горского ГАУ. 2021. Т. 58. № 1. С. 107–110. [Vlasova ZhA, Akkatseva SV. Biotechnology of low-fat yoghurt production using lactic acid bacteria of Gorsky SAU selection. News of the Gorsky State Agrarian University. 2021;58(1):107–110. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/OIMCTE>

14. Popović N, Brdarić E, Đokić J, Dinić M, Veljović K, et al. Yogurt produced by novel natural starter cultures improves gut epithelial barrier *in vitro*. Microorganisms. 2020;8(10):1586. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101586>

15. Yu P, Li N, Geng M, Liu Z, Liu X, et al. Short communication: Lactose utilization of *Streptococcus thermophilus* and correlations with β -galactosidase and urease. Journal of Dairy Science. 2020;103(1):166–171. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17009>

16. Li D, Zheng Y, Kwok L, Zhang W, Sun T. Metabolic footprinting revealed key biochemical changes in a brown fermented milk product using *Streptococcus thermophilus*. Journal of Dairy Science. 2020;103(3):2128–2138. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16881>

17. Shi Z, Fan X, Zhang T, Zeng X, Tu M, et al. The quality and flavor profile of fermented milk produced by *Streptococcus thermophilus* ABT-T is influenced by the *pfs* gene in the quorum sensing system. Food Chemistry: X. 2024;23:101653. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101653>

18. Han M, Wu Y, Guo X, Jiang L, Wang X, et al. Milk fermentation by monocultures or co-cultures of *Streptococcus thermophilus* strains. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2022;10:1097013. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.1097013>

19. Грязнова М. В., Буракова И. Ю., Смирнова Ю. Д., Нестерова Е. Ю., Родионова Н. С. и др. Динамика изменения бактериального состава молочной основы в процессе ферментации. Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 3. С. 554–564. [Gryaznova MV, Burakova IYu, Smirnova YuD, Nesterova EYu, Rodionova NS, et al. Bacterial composition of dairy base during fermentation. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(3):554–564. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2456>

20. Зимняков В. М., Гаврюшина И. В. Заквасочная культура – технологический инструмент высококачественных молочных продуктов. Инновационная техника и технология. 2014. № 4. С. 8–12. [Zimniakov VM, Gavryshina IV. Impact on technological properties of prebiotics dairy and meat products. Innovative Machinery And Technology. 2014;4:8–12. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TKIWSR>
21. Amapu TY, Dapiya HS, Ajisefinni OD, Gusse DD, Dashen MM, et al. Growth kinetics of *Streptococcus salivarius* subsp. *Thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* starter cultures during fermentation of acha (*digitaria exilis*, stapf) based milk. Science World Journal. 2024;19(2):560–564. <https://doi.org/10.4314/swj.v19i2.36>
22. Ng KS, Chang YC, Chen YP, Lo YH, Wang SY, et al. Characterization of exopolysaccharide-producing lactic acid bacteria from Taiwanese ropy fermented milk and their application in low-fat fermented milk. Animal Bioscience. 2022;35(2):281–289. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0251>
23. Белкова М. Д. Новое слово в российской биотехнологии – заквасочные культуры AiBi® Golden Time для молочной отрасли. Молочная Промышленность. 2016. № 3. С. 68. [Belkova MD. A new word in the Russian biotechnology – starter cultures AiBi® Golden Time for the dairy sector. Dairy Industry. 2016;(3):68. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/VMBQVD>
24. Hu JS, Huang YY, Kuang JH, Yu JJ, Zhou QY, et al. *Streptococcus thermophilus* DMST-H2 promotes recovery in mice with antibiotic-associated diarrhea. Microorganisms. 2020;8(11):1650. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8111650>
25. Sumi K, Osada K, Ashida K, Nakazato K. *Lactobacillus*-fermented milk enhances postprandial muscle protein synthesis in Sprague-Dawley rats. Journal of Functional Foods. 2020;66:103789. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103789>
26. Han M, Liao W, Wu S, Gong X, Bai C. Use of *Streptococcus thermophilus* for the in situ production of γ -aminobutyric acid-enriched fermented milk. Journal of Dairy Science. 2020;103(1):98–105. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16856>
27. Khanal SN, Lucey JA. Evaluation of the yield, molar mass of exopolysaccharides, and rheological properties of gels formed during fermentation of milk by *Streptococcus thermophilus* strains St-143 and ST-10255y. Journal of Dairy Science. 2017;100(9):6906–6917. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12835>
28. Степанова А. П., Ловцова Л. Б., Семенова Е. Ф., Бибарсова А. А., Золкина Н. Г. Определение оптимального соотношения штаммов и биологически активных веществ в консорциуме молочнокислых бактерий для создания лечебно-косметического наружного средства. Вестник всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2021. № 1–2. С. 52–56. [Stepanova AP, Lovtsova LB, Semenova EF, Bibarsova AA, Zolkina NG. Determination of the optimal ratio of strains and biologically active substances in a consortium of lactic acid bacteria to create medical and cosmetic remedy. Vestnik of the All-Russian Scientific Research Institute of Fats. 2021;(1–2):52–56. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2021.20.86.009>
29. Yao C, Li J, E J, Wang R, Zhang Q, et al. The symbiosis among, and the storage stabilities of, starter lactic acid bacterial strains in biofilms. LWT. 2022;155:112896. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112896>
30. Aiello A, Pepe E, de Luca L, Pizzolongo F, Romano R. Preliminary study on kinetics of pyroglutamic acid formation in fermented milk. International Dairy Journal. 2022;126:105233. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105233>
31. Vieira CP, da Costa MP, de Melo Silva VL, Delgado KF, da Silva Frasso B, et al. Interactive effect of physicochemical and microbial variables on bioactive amines content during storage of probiotic fermented milk. LWT. 2021;138:110700. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110700>
32. Yamamoto E, Watanabe R, Ichimura T, Ishida T, Kimura K. Effect of lactose hydrolysis on the milk-fermenting properties of *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* 2038 and *Streptococcus thermophilus* 1131. Journal of Dairy Science. 2021;104(2):1454–1464. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19244>
33. Li SN, Tang SH, Ren R, Gong JX, Chen YM. Metabolomic profile of milk fermented with *Streptococcus thermophilus* cocultured with *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis*, *Lactiplantibacillus plantarum*, or both during storage. Journal of Dairy Science. 2021;104(8):8493–8505. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20270>
34. Wu T, Guo S, Liu K, Yang Y, Wang J, et al. Comparison of volatile metabolic profiles in fermented milk of *Streptococcus thermophilus* during the postripening period at different incubation temperatures. Journal of Dairy Science. 2023;106(4):2303–2313. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22331>
35. Olvera-Rosales LB, Pérez-Escalante E, Castañeda-Ovando A, Contreras-López E, Cruz-Guerrero AE, et al. ACE-inhibitory activity of whey proteins fractions derived of fermentation by *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG and *Streptococcus thermophilus* SY-102. Foods. 2023;12(12):2416. <https://doi.org/10.3390/foods12122416>
36. Xiao T, Yan A, Huang JD, Jorgensen EM, Shah NP. Comparative peptidomic and metatranscriptomic analyses reveal improved gamma-amino butyric acid production machinery in *Levilactobacillus brevis* strain NPS-QW 145 cocultured with *Streptococcus thermophilus* strain ASCC1275 during milk fermentation. Applied and Environmental Microbiology. 2020;87(1):e01985–20. <https://doi.org/10.1128/AEM.01985-20>
37. Reshetnik EI, Gribanova SL, Derzhapolskaya YuI, Li C, Liu L, et al. Fermented buttermilk drinks fortified by plant raw materials. Foods and Raw Materials. 2025;13(2):211–218. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-2-637>
38. Albay Z, Çelebi M, Şimşek B. Physicochemical, rheological, and microbiological properties of honey-fortified probiotic drinkable yogurt. Foods and Raw Materials. 2025;13(2):320–329. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-2-641>

39. Martinović A, Cocuzzi R, Arioli S, Mora D. *Streptococcus thermophilus*: To survive, or not to survive the gastrointestinal tract, that is the question! *Nutrients*. 2020;12(8):2175. <https://doi.org/10.3390/nu12082175>
40. Chi X, Yang Q, Su Y, Xi Y, Wang W, *et al.* Effect of prebiotics on rheological properties and flavor characteristics of *Streptococcus thermophilus* fermented milk. *Current Research in Food Science*. 2024;9:100839. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100839>
41. Гревцова С. А., Рехвиашвили Э. И., Айлярова М. К., Кабулова М. Ю., Солдатова И. Э. Биотехнология производства бездрожжевого хлеба с использованием местного штамма *Streptococcus thermophilus* селекции горского ГАУ и дикорастущего в РСО-Алания хмеля. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2020. № 4. С. 28–34. [Grevtsova SA, Rekhviashvili EI, Ailyarova MK, Kabulova MYu, Soldatova IE. Biotechnology of production of yeast-free bread using the local *Streptococcus thermophilus* strain breded by Gorsk GAU and wild hop in RNO-Alania. *Innovations and Food Safety*. 2020;(4):28–34. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-30-4-28-34>
42. Попова Е. В., Давыдова О. К. Использование культуры *Streptococcus thermophilus* для определения остаточных количеств ингибирующих веществ в молоке. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. № 5. С. 170–174. [Popova EV, Davydova OK. Using the *Streptococcus thermophilus* culture to determine the residual content of inhibitory substances in milk. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020;(5):170–174. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XJLXOT>
43. Бабунова В. С. Чувствительность метода определения ингибирующих веществ с использованием тест-культуры *Streptococcus thermophilus* B19 и индикатора резазурина к антибиотикам из групп аминогликозидов и линкозамидов. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*. 2020. № 2. С. 176–182. [Babunova VS. The sensitivity of the method for the determination of inhibitory substances using the *Streptococcus thermophilus* B19 test culture and the resazurin indicator to the antibiotics from the groups of aminoglycosides and lincosamides. *Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*. 2020;(2):176–182. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202002009>
44. Осипова И. С. Чувствительность метода определения ингибирующих веществ с использованием тест-культуры *Streptococcus thermophilus* B19 и индикатора резазурина к антибиотикам из групп хинолонов и хлорамфениколов. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*. 2020. № 2. С. 170–175. [Osipova IS. The sensitivity of the method for the determinatin of inhibitory substances using the *Streptococcus thermophilus* B19 test culture and the resazurin indicator to antibiotics from the groups of chinolones and chloramphenicoles. *Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*. 2020;(2):170–175. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202002008>
45. Попов П. А. Чувствительность метода определения ингибирующих веществ с использованием тест-культуры *Streptococcus thermophilus* B19 и индикатора резазурина к β -лактамным антибиотикам. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2020. № 2. С. 65–70. [Popov PA. Sensitivity of the method for the determination of inhibitory substances using the *Streptococcus thermophilus* B19 test culture and the resazurin indicator to β -lactam antibiotics. *Bulletin of Bashkir State Agrarian University*. 2020;(2):65–70. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2020-54-2-65-70>
46. Нурғалиева А. Р. Исследование качества кисломолочных продуктов. *Вестник Российского университета кооперации*. 2014. № 4. С. 130–132. [Nurgalieva AR. Research of quality of fermented milk products. *Vestnik of the Russian University of Cooperation*. 2014;(4):130–132. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TVSSIF>
47. Boko C, Adje Y, Atindogbe G, Hounmanou YMG, Dossa F, *et al.* Evaluation of the production technologies and the microbial and physico-chemical qualities of curdled milk produced in Benin. *Journal of Applied Biosciences*. 2016;104:10019–10033. <https://doi.org/10.4314/jab.v104i1.12>
48. Yam BAZ, Khomeiri M, Mahounak AS, Jafari SM. Hygienic quality of camel milk and fermented camel milk (*Chal*) in Golestan Province, Iran. *Journal of Microbiology Research*. 2014;4(2):98–103.
49. Чигасов А. И. Особенности использования системы менеджмента качества в контроле производства функциональных молочных продуктов. *Вестник КрасГАУ*. 2021. № 7. С. 178–184. [Chigasov AI. Using quality management system features to supervise manufacturing functional dairy products. *Bulletin of KSAU*. 2021;7:178–184. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-7-178-184>
50. Подорожная И. В., Ветохин С. С. Анализ некоторых физико-химических показателей питьевого молока после введения новых требований к его кислотности. *Труды БГТУ*. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2016. № 4. С. 182–187. [Podorozhnyaya IV, Vetokhin SS. Analysis of milk some physical-chemical properties after introduction of new requirements to its acidity. *Proceedings of BSTU*. № 4. Chemistry, organic substances technology and biotechnology. 2016;(4):182–187. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WHMPQH>
51. Podorozhnyaya IV, Vetokhin SS. Investigation of freezing point of some Belarusian dairy products. *Industrial Technology and Engineering*. 2015;(4):86–90. <https://elibrary.ru/HANGPK>
52. Ветохин С. С., Подорожная И. В., Ненартович И. В. Инертные наполнители при измерении активности воды. *Труды БГТУ*. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2013. № 4. С. 72–74. [Vetokhin SS, Podorozhniaya IV, Nenartovich IV. Inert fillers in measuring water activity. *Proceedings of BSTU*. № 4. Chemistry, organic substances technology and biotechnology. 2013;4:72–74. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ENGPXB>
53. Тихомирова Н. А., Зверев Д. С. Экспертиза качества кисломолочных напитков. *Актуальные вопросы индустрии напитков*. 2019. № 3. С. 208–213. [Tikhomirova NA, Zverev DS. Quality examination of sour-milk drinks. *Relevant issues of the beverage industry*. 2019;3:208–213. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21323/978-5-6043128-4-1-2019-3-208-213>

54. Шалевская В. Н., Лавицкий В. П. Разработка комбинированной ряженки с разной массовой долей жира и изучение ее свойств. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2017. № 1–1. С. 130–136. [Shalevskaya VN, Lavitskiy VP. Development of combined ryshanka with the different weight fraction of fat and study of its properties. Vestnik of Don State Agrarian University. 2017;1–1:130–136. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/YINFMH>
55. Лещенко Е. Ф. Оценка органолептических свойств ряженки разных производителей. Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 2. С. 58–60. [Leshchenko EF. Sensory properties of fermented baked milk from different manufacturers. Bulletin of Youth Science, Altai State Agrarian University. 2016;2:58–60. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/NPFSFB>
56. Зимняков В. М., Гаврюшина И. В. Заквасочная культура – технологический инструмент высококачественных молочных продуктов. Инновационная техника и технология. 2014. № 4. С. 8–12. [Zimniakov VM, Gavryshina IV. Impact on technological properties of prebiotics dairy and meat products. Innovative Machinery And Technology. 2014;(4):8–12. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TKIWSR>
57. Moiseenko KV, Glazunova OA, Savinova OS, Ajibade BO, Ijabadeniyi OA, et al. Analytical characterization of the widely consumed commercialized fermented beverages from Russia (kefir and ryazhenka) and South Africa (amasi and mahewu): Potential functional properties and profiles of volatile organic compounds. Foods. 2021;10(12):3082. <https://doi.org/10.3390/foods10123082>
58. Кондратьева А. В., Ярмаркин Д. А., Прохасько Л. С., Асенова Б. К., Залилов Р. В. Новые технологии обработки молочной продукции (на примере молока коровьего питьевого). Молодой ученый. 2013. № 10. С. 146–149. [Kondrat'eva AV, Yarmarkin DA, Prokhas'ko LS, Asenova BK, Zalilov RV. New technologies of dairy processing: Market cow's milk. Young Scientist. 2013;(10):146–149. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/POLATV>
59. Янковская В. С., Дунченко Н. И., Михайлова К. В. Разработка структурированных молочных продуктов с учетом данных о рекламациях и методологии квалиметрии рисков. Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 1. С. 2–12. [Yankovskaya VS, Dunchenko NI, Mikhaylova KV. New structured dairy products based on quality complaints and risk qualimetry. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(1):2–12. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-1-2-12>
60. Labuza TP, Kaanane A, Chen JY. Effect of temperature on the moisture sorption isotherms and water activity shift of two dehydrated foods. Journal of Food Science. 1985;50(2):385–392. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb13409.x>
61. Gabriel AA. Estimation of water activity from pH and °Brix values of some food products. Food Chemistry. 2008;108(3):1106–1113. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.11.077>
62. Li Y, Wang Y, Li B, Hou B, Hung W, et al. *Streptococcus thermophilus* JM905–Strain carbon source utilization and its fermented milk metabolic profile at different fermentation stages. Foods. 2023;12(19):3690. <https://doi.org/10.3390/foods12193690>
63. Zhao X, Ge Y, Yu X, Liu C, Li H, et al. Fermentation characteristics of fermented milk with *Streptococcus thermophilus* CICC 6063 and *Lactobacillus helveticus* CICC 6064 and volatile compound dynamic profiles during fermentation and storage. Molecules. 2024;29(6):1257. <https://doi.org/10.3390/molecules29061257>
64. Li D, Peng J, Kwok L, Zhang W, Sun T. Metabolomic analysis of *Streptococcus thermophilus* S10-fermented milk. LWT. 2022;161:113368. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113368>
65. Valenzuela JA, Vázquez L, Rodríguez J, Flórez AB, Vasek OM, et al. Phenotypic, technological, safety, and genomic profiles of gamma-aminobutyric acid-producing *Lactococcus lactis* and *Streptococcus thermophilus* strains isolated from cow's milk. International Journal of Molecular Sciences. 2024;25(4):2328. <https://doi.org/10.3390/ijms25042328>
66. Wang K, Ma C. Effect of *Streptococcus thermophilus* extract on *Lactiplantibacillus plantarum* acidification and propagation in milk fermentation. International Journal of Dairy Technology. 2024;77(3):784–791. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.13109>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2574>
<https://elibrary.ru/XXRHIN>

Обзорная статья
<https://fppt.ru>

Применение метода изотопной масс-спектрометрии для идентификации мясной продукции



А. Б. Лисицын¹, И. М. Чернуха¹, Л. А. Оганесянц²,
А. Л. Панасюк², Д. А. Свиридов^{2,*}, М. Ю. Ганин²

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

² Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной
и винодельческой промышленности, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 23.01.2025

Принята после рецензирования: 28.03.2025

Принята к публикации: 01.04.2025

*Д. А. Свиридов: labvin@yandex.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-5595-0455>

А. Б. Лисицын: <https://orcid.org/0000-0002-4079-6950>

И. М. Чернуха: <https://orcid.org/0000-0003-4298-0927>

Л. А. Оганесянц: <https://orcid.org/0000-0001-8195-4292>

А. Л. Панасюк: <https://orcid.org/0000-0002-5502-7951>

М. Ю. Ганин: <https://orcid.org/0000-0003-0518-1181>

© А. Б. Лисицын, И. М. Чернуха, Л. А. Оганесянц, А. Л. Панасюк,
Д. А. Свиридов, М. Ю. Ганин, 2025



Аннотация.

Мясо и продукты его переработки пользуются высоким потребительским спросом и входят в продуктовую корзину большей части населения. Поэтому разработка способов идентификации мясной продукции вызывает интерес исследователей во многих странах. Изотопная масс-спектрометрия – один из надежных методов идентификации пищевой продукции. Цель исследования – поиск и анализ научной литературы, посвященной применению изотопной масс-спектрометрии для выявления состава мяса и идентификации региона его происхождения, способам пробоподготовки для проведения изотопного анализа.

Объектами исследования являлись российские и зарубежные научные публикации, поиск и анализ которых проводили с использованием методик Н. Snyder и R. G. Toracco. Поиск информации осуществляли по базам данных и системам цитирования РИНЦ, Google Scholar, ScienceDirect, MDPI, Springer Link, PubMed и Web of Science. Отобраны и проанализированы доступные обзорные и оригинальные статьи по исследуемой тематике на английском и русском языках преимущественно за период 2010–2023 гг. Включено несколько статей более раннего периода, ввиду их высокой научной значимости.

Анализ научной литературы позволил описать факторы, влияющие на соотношение стабильных изотопов в составе мяса и мясных продуктов, и привести основные методы идентификации. В ряде случаев традиционно используемых методов анализа может быть недостаточно для достоверного определения подлинности мясной продукции и прослеживаемости отдельных ингредиентов. Метод изотопной масс-спектрометрии эффективно классифицирует мясные образцы по рациону кормления животных, особенно при значительных различиях в изотопных характеристиках кормов. Это крайне актуально для специализированного питания, где происхождение животных имеет критическое значение. Метод позволяет идентифицировать органическую мясную продукцию, используя показатели $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ для подтверждения ее подлинности. Кроме того, изотопные характеристики помогают определить географическое происхождение мяса, что способствует борьбе с недобросовестными производителями. Рассмотренный в работе способ пробоподготовки образцов мяса сокращает время подготовки на 30 ч по сравнению с традиционными методами и не требует специализированного оборудования.

Большинство исследователей отмечают метод изотопной масс-спектрометрии как надежный инструмент в рамках оценки подлинности мяса и продуктов его переработки. Значения изотопных отношений водорода ($^2\text{H}/^1\text{H}$), углерода ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), кислорода ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), азота ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) и серы ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) структурных компонентов в составе мясной продукции в значительной степени зависят от рациона кормления животных, вида удобрений, используемых при производстве кормов, а также от гео-климатических условий региона. Значения указанных показателей формируют уникальную изотопную подпись, которая может дать важную информацию о природе происхождения продукции.

Ключевые слова. Мясо, идентификация, изотопная масс-спектрометрия, органическая продукция, прослеживаемость, географическое место происхождения

Финансирование. Работа выполнена за счет гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития (Соглашение № 075-15-2024-483 от 24.04.2024).

Для цитирования: Лисицын А. Б., Чернуха И. М., Оганесянц Л. А., Панасюк А. Л., Свиридов Д. А. и др. Применение метода изотопной масс-спектрометрии для идентификации мясной продукции. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 381–389. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2574>

Isotope Mass Spectrometry in Meat Identification



Andrey B. Lisitsyn¹, Irina M. Chernukha¹,
Lev A. Oganesyants², Alexander L. Panasyuk²,
Dmitriy A. Sviridov^{2,*}, Mikhail Yu. Ganin²

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

² All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Soft Drinks, and Wine Industry^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 23.01.2025
Revised: 28.03.2025
Accepted: 01.04.2025

*Dmitriy A. Sviridov: labvin@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-5595-0455>
Andrey B. Lisitsyn: <https://orcid.org/0000-0002-4079-6950>
Irina M. Chernukha: <https://orcid.org/0000-0003-4298-0927>
Lev A. Oganesyants: <https://orcid.org/0000-0001-8195-4292>
Alexander L. Panasyuk: <https://orcid.org/0000-0002-5502-7951>
Mikhail Yu. Ganin: <https://orcid.org/0000-0003-0518-1181>

© A.B. Lisitsyn, I.M. Chernukha, L.A. Oganesyants, A.L. Panasyuk,
D.A. Sviridov, M.Yu. Ganin, 2025



Abstract.

Meat and meat products are consumed by a large proportion of the population. As a result, food scientists keep inventing new methods for meat identification, e.g., isotope mass spectrometry. This reliable method also makes it possible to identify the composition of meat and its geographic origin. This article offers a comprehensive review of scientific literature on isotope mass spectrometry and sampling methods.

The review covered Russian and English-language scientific publications registered in RSCI, Google Scholar, ScienceDirect, MDPI, Springer Link, PubMed, and Web of Science in 2010–2023, with occasional older articles. The search and analysis relied on the methods developed by H. Snyder and R. G. Toracco.

The review revealed the factors that define the ratio of stable isotopes in the composition of meat and meat products, as well as the main methods of their identification. When standard approaches fail to trace the ingredients, the method of isotope mass spectrometry classifies meat samples by the animal diet because different feeds have different isotopic profiles. The meat origin information is especially crucial for consumers that have to maintain a specialized diet. The method identifies organic meat products by $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ and uses isotopic characteristics to determine the geographic origin of meat, thus preventing mislabeling. The review also revealed the most efficient and least time-consuming method of sample processing that saves up to 30 h.

Isotope mass spectrometry ensures the quality and safety of meat products by defining the authenticity and origin of meat even in complex meat foods. In meat products, the isotope ratios of hydrogen ($^2\text{H}/^1\text{H}$), carbon ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), oxygen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), nitrogen ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$), and sulfur ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$) depend on the diet, fertilizers, and climate. These indicators form a unique isotopic signature that provides important information about the nature and origin of meat.

Keywords. Meat, identification, isotope mass spectrometry, organic products, traceability, geographical origin

Funding. The research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, grant for major scientific projects in priority areas of scientific and technological development (Agreement No. 075-15-2024-483, April 24, 2024).

For citation: Lisitsyn AB, Chernukha IM, Oganesyants LA, Panasyuk AL, Sviridov DA, et al. Isotope Mass Spectrometry in Meat Identification. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):381–389. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2574>

Введение

В прошлом продукты питания были тесно связаны с регионом их производства: они создавались из местного сырья по традиционным технологиям и рецептам, продавались на местном рынке. Сегодня, в условиях глобализации рынка, пищевая отрасль столкнулась с кризисом доверия. Потребители хотят

быть уверены в безопасности, качестве и экологичности приобретаемых товаров. Мясная промышленность занимает существенную долю на продовольственном рынке, при этом вопрос идентификации и прослеживаемости, включая регион происхождения мяса и продуктов его переработки, остро стоит во многих странах [1–3].

Основные способы идентификации мясной продукции основаны на применении хроматографического анализа (высокоэффективная жидкостная хроматография, газовая хроматография) или хромато-масс-спектрометрии. Также при идентификации мяса и продуктов его переработки часто используются визуальная и органолептическая оценка, анализ ДНК, гистологические, спектрофотометрические и другие исследования. Однако в ряде случаев для достоверного определения подлинности продукции указанных методов может быть недостаточно. Для получения информации о природе и месте происхождения сырья и производимых из него продуктов наиболее часто прибегают к изотопной масс-спектрометрии. Определение отношений стабильных изотопов биофильных элементов получило широкое распространение во всем мире. Данный метод применяется при идентификации сырья и готовой продукции в винодельческой, молочной, мясной промышленности, а также меда, растительных масел и других продуктов [4, 5].

Особенности распределения стабильных изотопов биофильных элементов в пищевой продукции связаны с процессами фракционирования, то есть с изменением соотношения легких и тяжелых изотопов в ходе биологических и геохимических процессов [6–9]. Благодаря ботаническим особенностям различных сельскохозяйственных культур, значения изотопных характеристик легких элементов (углерод, азот, сера, кислород, водород) составляют уникальную композицию, которую называют изотопной подписью или изотопной сигнатурой. Изотопная подпись содержит информацию о происхождении исследуемого продукта, в том числе географическом. Этот метод незаменим при невозможности проведения идентификации продукта с использованием физико-химических характеристик [10]. Кроме того, географическое место происхождения сырья может иметь критическую важность при производстве продуктов детского питания или продуктов, изготавливаемых из растительного и животного сырья конкретных регионов (например, хамон, вырабатываемый только из иберийских свиней, выращиваемых в определенных областях Испании).

Цель исследования – поиск и анализ научной литературы, посвященной использованию изотопной масс-спектрометрии для выявления состава и идентификации региона происхождения мяса, а также способам его пробоподготовки для проведения изотопного анализа.

Объекты и методы исследования

Обзор научных статей по рассматриваемой тематике и их отбор для включения в статью был выполнен согласно методикам Н. Snyder [11] и R. G. Toracco [12], описывающих последовательность отбора публикаций, их критического анализа и подведения итогов.

Объекты исследования – данные, опубликованные в различных научных статьях, касающиеся использования изотопной масс-спектрометрии и направленные

на идентификацию мяса и продуктов его переработки. Поиск источников проводили преимущественно за период 2010–2023 гг. по следующим ключевым словам: мясо, мясные продукты, методы анализа, идентификация, фальсификация, изотопная масс-спектрометрия, стабильные изотопы, изотопное фракционирование, meat, meat products, identification, authentication, IRMS, stable isotope, analysis. Также было включено несколько статей более раннего периода, ввиду их высокой научной значимости.

С целью расширения области поиска в отобранных статьях изучали библиографические списки. Анализировали оригинальные и обзорные статьи на русском и английском языках, опубликованные в научных журналах, входящих в системы цитирования РИНЦ, Google Scholar, ScienceDirect, MDPI, Springer Link, PubMed и Web of Science. Критериями включения являлись год публикации, система цитирования, количество цитирований и просмотров (не менее 20) и др. Критерии исключения: недостаточное количество информации и данных по исследуемому вопросу, общий низкий уровень проведения исследования.

Результаты и их обсуждение

Влияние кормовой базы на значение изотопных характеристик элементов в составе мяса. Значение изотопных отношений углерода ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) в мясных продуктах напрямую зависит от типа фотосинтеза растений, которые составляют рацион кормления животных. Различают С3- и С4-пути фиксации атмосферного диоксида углерода и САМ-метаболизм.

С3-путь фотосинтеза протекает по циклу Кальвина, который включает в себя такие процессы, как карбоксилирование, восстановление и регенерация акцептора CO_2 . С3-путь фиксации атмосферного диоксида углерода является основным для высших растений и составляет около 95 % растительной биомассы Земли. Такой тип фотосинтеза обуславливает диапазон значений изотопных характеристик углерода структурных компонентов растений (от –23 до –30 ‰). Типичными представителями С3-растений среди кормовых культур являются рожь, овес, пшеница, луговая растительность (разнотравье) [13].

С4-путь фотосинтеза протекает по циклу Хетча и Слэка, в котором первичными продуктами фиксации диоксида углерода и восстановления являются такие соединения, как яблочная и аспарагиновая кислоты. Диапазон значений изотопных характеристик углерода структурных компонентов растений с С4-типом фотосинтеза составляет от –8 до –16 ‰. К ярким представителям С4-растений относятся кукуруза, просо, сорго, сахарный тростник [14].

САМ-фотосинтез или метаболизм углерода по типу толстянковых – метаболический путь связывания углерода, позволяющий растению фиксировать и запасать углекислый газ в форме щавелевоуксусной кислоты в течение ночи, а затем использовать его для синтеза

трехуглеродного сахара в течение дня. Существует около 20000 биологических видов растений с таким типом фотосинтеза. Подавляющее большинство из них относится к покрытосемянным. Данные о наличии распространенных кормовых культур с таким типом фотосинтеза на сегодняшний день отсутствуют. Диапазон значений изотопных характеристик углерода структурных компонентов растений с САМ-типом фотосинтеза составляет от -10 до -20 ‰.

Значения изотопного состава углерода структурных компонентов тканей животного содержат информацию, позволяющую получить комплексную характеристику рациона кормления за период, предшествующий забое. На протяжении жизни животного рацион кормления может меняться. При анализе мышечной ткани кратковременные изменения в рационе могут остаться незамеченными. В этом случае эффективный подход заключается в использовании дополнительных образцов тканей, таких как шерсть и копыта, которые при формировании фиксируют изотопную подпись, связанную с рационом кормления животного в данный момент времени [15]. Эти ткани метаболически инертны и остаются неизменными, сохраняя соотношение изотопов. Соответственно, изменение в рационе повлечет смещение значений изотопных отношений в новой ткани шерсти и копыт [16].

Азотосодержащие и серосодержащие соединения животное получает также из корма. Соответственно, соотношение изотопов $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ и $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ в структурных компонентах тканей животных тесно связано с рационом кормления. В процессе метаболизма высших растений различия показателя $\delta^{34}\text{S}$ могут варьироваться за счет фракционирования изотопов серы в пределах 3–6 ‰. Сульфаты поглощаются корнями растений из почвы и транспортируются в хлоропласты, где сера восстанавливается до сульфида с помощью серии ферментативных реакций. Усвоение серы у животных происходит в процессе питания: сера входит в состав таких аминокислот, как цистеин и метионин, которые используются для построения белков и других соединений. Значения $\delta^{34}\text{S}$ в мясе травоядных животных, в зависимости от рациона, имеют трофические сдвиги на величину около 1,5 ‰ [17, 18].

В исследовании [19] изучено изменение соотношения изотопов углерода и азота в тканях лабораторных мышей при внесении в диету различных белковых продуктов. Значения $\delta^{13}\text{C}$ менялись в зависимости от типа тканей животного и изменения рациона. Различия значений $\delta^{15}\text{N}$ между разными типами тканей уменьшались по мере увеличения потребления белка с кормом. Renou *et al.* [20] удалось выявить образцы мяса бычков, при кормлении которых был использован кукурузный силос, с точностью 94 %. Pianezze *et al.* [21] провели анализ диапазонов изменения значений изотопных характеристик $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, $^2\text{H}/^1\text{H}$ в зависимости от рациона кормления ягнят. Из них наиболее информативным

показателем являлись изотопные характеристики углерода. Также были изучены изотопные характеристики углерода, азота, кислорода и водорода отдельно у обезжиренных высушенных мышечных волокон и жировой фракции мяса ягнят, выращенных в семи регионах Италии с использованием различных рационов кормления (фураж, концентрат, молоко). В среднем значения изотопных характеристик углерода и водорода жира были ниже, чем в мышечных волокнах, однако эти различия были непостоянными и зависели от породы ягнят [22].

В результате показана возможность проведения классификации образцов мяса в зависимости от рациона кормления животных с использованием метода изотопной масс-спектрометрии. При этом точность классификации становилась выше, когда увеличивались различия в числовых значениях изотопных характеристик элементов в составе кормов. Возможность прослеживания сырья особенно важна при производстве специализированного питания, когда происхождение животного может иметь критическую значимость.

Идентификация продукции органического животноводства. Все больше производителей пищевых продуктов ориентируются на органическое производство, продукция которого должна быть качественной, безопасной, натуральной и аутентичной. Органическое животноводство имеет широкое распространение в развитых странах и считается способом производства продукции высокого качества, который удовлетворяет особым экологическим требованиям и является гуманным по отношению к животным и природе.

Согласно распоряжению правительства РФ от 4 июля 2023 г. № 1788-р в Российской Федерации была утверждена Стратегия развития производства органической продукции до 2030 г., которая предполагает пятикратный рост выпуска мясной продукции такого типа и почти 17-кратный – молока. В связи с этим встает вопрос о способах идентификации сырья и продуктов органического производства.

Растительные корма, полученные в условиях органического земледелия, состоят преимущественно из С3-типа растений. В промышленном или традиционном животноводстве также могут быть использованы корма, силосы и добавки с использованием С4-типа растений (как правило, кукуруза). Таким образом, изотопные характеристики $\delta^{13}\text{C}$ структурных компонентов органической мясной продукции будут смещены в сторону более легких значений, по сравнению с продукцией промышленного животноводства [23]. Помимо этого, важным элементом в рамках органического производства мяса является отказ от использования удобрений синтетического происхождения. Один из самых популярных и востребованных видов удобрений – азотистый. Наиболее распространенными азотосодержащими удобрениями в промышленном земледелии являются селитра (натриевая, калиевая, кальциевая, аммонийная, аммиачная), аммофос,

диаммофос, мочевины, карбонат, сульфат, сульфид аммония и хлористый аммоний. Использование азотосодержащих синтетических удобрений изменяет изотопный состав азота в почве. Синтетические удобрения характеризуются большим содержанием легкого изотопа ^{15}N , что отражается на значениях изотопных характеристик азота структурных компонентов растений. Соответственно, при использовании таких культур в качестве корма для животных показатель $\delta^{15}\text{N}$ будет выступать в качестве изотопной метки в компонентах мяса [24].

Zhao *et al.* [25] изучили соотношения изотопов углерода и азота в свинине органического и традиционного производства. Значения показателей $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ структурных компонентов органических тканей, включая шерсть, кровь и обезжиренное мясо, значительно различались в зависимости от условий содержания животных. Дискриминантный анализ полученных данных позволил провести классификацию образцов с точностью 100 %. В другом исследовании для китайских ученых представляли интерес изотопные характеристики углерода и азота в составе мышечных волокон свинины промышленного и органического производства из четырех городов Китая (Чэндэ, Аньцин, Чифэн и Чанчунь). Диапазон значений $\delta^{13}\text{C}$ для образцов промышленной свинины составил от $-18,4$ до $-15,1$ ‰, для органической – от $-17,2$ до $-14,7$ ‰. При этом значения изотопных характеристики азота в структурных компонентах органической свинины оказались выше, чем в промышленной свинине из того же региона, что было объяснено различием в рационе кормления животных [26].

Рассмотрены сезонные изменения в значениях изотопных характеристик углерода, азота и серы структурных компонентов органической и традиционной ирландской говядины. 242 образца говядины (127 – органическая, 115 – традиционная) отбирались в течение года. Изменения уровня $\delta^{13}\text{C}$ в традиционной говядине были выражены сезонным положительным сдвигом более 2 ‰ в период с декабря по июнь, а в органической говядине были менее иррегулярными. Колебание значений $\delta^{15}\text{N}$ в большей степени наблюдалось в образцах органической говядины. Значения $\delta^{34}\text{S}$ в обеих выборках демонстрировали сложную нелинейную закономерность [27]. Исследователи из Бразилии изучили показатели отношений стабильных изотопов легких элементов $\delta^2\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{34}\text{S}$ структурных компонентов тканей и экскрементов местных домашних животных, чтобы классифицировать органический и традиционный способы животноводства. Приведенные показатели в данном случае оказались ненадежным критерием при идентификации органического мяса [28].

Метод изотопной масс-спектрометрии может быть применим при оценке подлинности мясной органической продукции, что особенно важно ввиду ее более высокой стоимости по сравнению с промышленной.

Показатели $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$ являются наиболее информативными с точки зрения прослеживаемости рациона кормления животных.

Идентификация географического происхождения мясного сырья. К продуктам с контролируемым местом происхождения предъявляются более строгие требования, что обеспечивает их высокое качество и аутентичность. Тем не менее существует риск подмены таких продуктов или сырья на аналоги из других регионов. В современном мире проблема идентификации продуктов питания становится все более актуальной из-за необходимости обеспечения безопасности и качества продукции, борьбы с фальсификацией и контрафактом. Чтобы защитить производителей от недобросовестной конкуренции, проводится множество исследований, изучающих возможность подтверждения географического места происхождения продуктов питания.

При стабильном подходе к обеспечению кормовой базы животных показатели $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ могут выступать в качестве критериев для выявления продукции с конкретных хозяйств. Показатели изотопных характеристик кислорода ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) и водорода ($^2\text{H}/^1\text{H}$) зависят от процессов фракционирования при формировании их значений в метеорных и грунтовых водах. В пределах одной географической зоны вся растительность питается одинаковыми в изотопном отношении природными водами. Следовательно, изотопные характеристики структурных компонентов растений в значительной степени определяются уникальными геоклиматическими факторами отдельно взятого региона. Соотношения изотопов кислорода и водорода в структурных компонентах тканей животных могут зависеть от пропорций в рационе свежих и сухих кормов, а также изменяться в ходе метаболических процессов, например, потоотделения [29].

С целью установления географического места происхождения крупного рогатого скота и мясных продуктов в исследованиях чаще всего используется анализ значений отношений стабильных изотопов углерода, водорода и азота. Как указано ранее, элементы с характерным данному региону изотопным составом аккумулируются в тканях растений и, как следствие, животных, которые потребляют их в пищу [27, 30–34]. Однако установление подлинности места географического происхождения мясных продуктов методом изотопной масс-спектрометрии может осложниться рядом факторов. Например, в течение жизни сельскохозяйственные животные иногда содержатся на разных фермах и потребляют корма различного происхождения. Также в отдельных случаях изотопный состав биофильных элементов тканей животных имеет сезонные колебания [35].

Для изучения особенностей отношений стабильных изотопов углерода и азота в мясе в Южной Корее было проведено масштабное исследование 599 образцов свинины различного происхождения из 14 стран:

335 образцов из Южной Кореи, 264 – из Южной и Северной Америки (Канада, США, Мексика, Чили), 9 – из европейских стран (Австрия, Голландия, Дания, Франция, Бельгия, Финляндия, Польша, Венгрия, Испания). Изучили соотношение стабильных изотопов $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ в белках обезжиренного сухого остатка свинины. В результате авторам удалось достоверно классифицировать образцы мяса по месту их происхождения из трех регионов: Южной Кореи, Америки и Европы. В том числе исследователи выделили близкие по значению результаты $\delta^{13}\text{C}$ США и Мексики $-14,78$ и $-14,81$ ‰, Голландии и Дании $-25,57$ и $-25,24$ ‰ соответственно, что объясняется их географической близостью [36].

Nie et al. [37] провели исследование отношений стабильных изотопов $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{34}\text{S}$ мяса яка из разных районов Цинхай-Тибетского нагорья (Китай), чтобы выявить показатели, которые могли бы подтвердить географическое происхождение мясной продукции. Данные были проанализированы с использованием метода PLS-DA. Значения $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ существенно различались для образцов в зависимости от места их происхождения. В значениях $\delta^{15}\text{N}$ и $\delta^{34}\text{S}$ не было выявлено существенных изменений в разных регионах. В исследовании [38] изучили 167 образцов волос крупного рогатого скота из четырех регионов Китая, производящих говядину. С использованием анализа значений отношений изотопов $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ удалось точно идентифицировать 82,6 % образцов в зависимости от региона происхождения. На основании аналогичных показателей Erasmus et al. удалось точно идентифицировать 97,6 % образцов баранины Кару (Karoo Lamb) из региона Кару (юг Африки). Животные питались характерными региону душистыми растениями [39]. В исследовании [40], направленном на установление географического места происхождения мясной продукции, были проанализированы 120 образцов баранины, произведенной в различных регионах Великобритании, Испании, Франции, Греции, Исландии и Италии. Полученные значения отношений изотопов $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ обрабатывали с помощью дискриминантного анализа. Из рассмотренных образцов точно удалось идентифицировать 79,2 %.

Показана целесообразность изучения значений изотопных характеристик кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) водной компоненты мяса в рамках определения его географической принадлежности [41, 42]. Однако исследование швейцарских ученых на примере образцов из Бразилии, Швейцарии, Германии, Франции и Венгрии показало, что различные методы обработки мяса существенно затрудняют его распознавание по этому показателю [43]. Horacek et al. выявили изменения значений $\delta^{18}\text{O}$ водной компоненты мяса в процессе его хранения. Максимальный сдвиг значений при хранении мяса в холодильных камерах составил 0,8 ‰. При этом заморозка и жарка мяса приводила к более сильным колебаниям изотопных характеристик

кислорода его водной компоненты [44]. Для классификации мясной продукции по месту его географического происхождения с высокой степенью достоверности результатов ряд исследователей рекомендует комплексный подход с использованием значений изотопных характеристик, элементного профиля и статистических методов анализа [41, 45]. Необходимо учитывать сезонные колебания значений исследуемых показателей [42].

Изучение изотопных характеристик элементов может помочь определить происхождение мяса, произведенного как за границей, так и в регионах России [34]. Для практического применения этого метода необходимо создать базу данных изотопных отношений элементов в составе различных видов сельскохозяйственного сырья и местной воды. Этот способ идентификации мясной продукции поспособствует борьбе с недобросовестными производителями и снизит риск попадания опасных веществ в цепочку поставок продуктов питания.

Особенности пробоподготовки мяса при проведении анализа отношений стабильных изотопов. При исследовании мяса и продуктов его переработки особого внимания заслуживает подготовка проб. Эта процедура требует адаптации для определения изотопных отношений с учетом специфики сырья. Методы пробоподготовки образцов мяса в разных работах отличаются. Навеска образца в различных исследованиях варьируется от 5 до 50 г [46]. Другим важным показателем является время сушки образца, которое зависит от способа сушки и массы навески. Процесс сушки необходим при проведении анализа отношений кислорода и водорода в образце, т. к. значения указанных показателей водной компоненты будут влиять на полученные результаты. Исходя из данных [47–49], наиболее распространенными видами сушки являются сублимационная и сушка в термостате. Продолжительность сушки варьируется от 24 до 48 ч.

Zhao et al. [50] разработали инновационный метод подготовки образцов мяса для определения отношений стабильных изотопов с использованием метода изотопной масс-спектрометрии. Из образца мяса весом 100–200 г отбирали по 1 г пробы из верхнего, среднего и нижнего слоев каждой точки отбора (в четырех углах и середине образца). Общий вес образца составил 15 г. Образцы высушивали при температуре 50 °C примерно 25 ч до постоянной массы. Затем образцы мяса измельчали в шаровой мельнице. К образцу в центрифужной пробирке добавляли смесь хлороформа и метанола (2:1, по объему) в соотношении 1:5 (образец:раствор). Образцы перемешивали в вихревом смесителе 10 мин, центрифугировали при 5000 об/мин в течение 5 мин, удаляли надосадочную жидкость. Промывку растворителем повторяли дважды. Обезжиренное мясо помещали в сушильную камеру при температуре 50 °C на 12 ч. После повторного измельчения в шаровой мельнице отбирали навеску

для изотопного анализа. Zhao *et al.* утверждают, что указанный способ подготовки образцов занимает по времени на 30 ч меньше, чем ряд общепринятых методов. Кроме того, он не требует специализированного экстракционного оборудования, такого как аппарат Сокслета, которое часто используется в аналогичных способах пробоподготовки [51–53].

Выводы

Результаты многочисленных исследований в странах с развитым животноводством свидетельствуют о важности изучения изотопных отношений углерода, азота, кислорода, водорода, и серы структурных компонентов мяса и мясной продукции с использованием метода изотопной масс-спектрометрии. Значения показателя $\delta^{13}\text{C}$ в наибольшей степени зависят от типа фотосинтеза кормовых растений, $\delta^{15}\text{N}$ – от вида удобрений, используемых при выращивании кормов. Показатели $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ определяются геохимическими факторами региона, а $\delta^{34}\text{S}$ – почвенными условиями и физиологическими особенностями кормовых растений и непосредственно животных.

Важным этапом в определении отношений стабильных изотопов является процедура пробоподготовки, обуславливающая правильность получаемых результатов. Рассмотренные в работе исследования описывают тесную взаимосвязь между кормовой базой животного и значениями изотопных характеристик элементов в составе тканей разных типов. Подтверждена

возможность идентификации кормового рациона или региона происхождения убойного животного с высокой степенью сходимости (свыше 80 %) при помощи изотопной подписи. Метод изотопной масс-спектрометрии может стать надежным инструментом прослеживаемости мясного сырья на различных этапах производства продукции. Прослеживаемость маркерного кормового компонента (например, кукурузы) в трофической цепи, а также показателей, позволяющих получить информацию о способе выращивания кормовых растений и климатических условиях региона производства, играет важную роль, особенно при органическом животноводстве.

Критерии авторства

Авторы в равной степени принимали участие в исследовании, написании и оформлении рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The authors are equally responsible for the research and manuscript.

Conflict of interest

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

Список литературы / References

1. Лаврухина О. И. Современные методы выявления фальсификации мяса и мясной продукции (аналитический обзор). Труды федерального центра охраны здоровья животных. 2017. Т. 15. С. 153–170. [Lavrushina OI. Up-to-date methods for adulteration detection in meat and meat products (Analytical report). Proceedings of the Federal Center for Animal Health Protection. 2017;15:153–170. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/XRDRSP>
2. Юрчак З. А., Маслова Н. В., Старчикова Д. Обзор фальсификации мяса пищевыми добавками. Все о мясе. 2016. № 5. С. 14–17. [Yurchak ZA, Maslova NV, Starchikova D. The overview falsification meat with food additives. Vsyо o myase. 2016;(5):14–17. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WWYILR>
3. Семенова А. А. Пищевые добавки в мясной промышленности. Реальность и вымыслы. Контроль качества продукции. 2015. № 7. С. 54–56. [Semenova AA. Food additives in the meat industry: Reality and fiction. Product Quality Control. 2015;(7):54–56. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TXPVUB>
4. Truonghuynh HT, Li GB, Jaganathan GK. Isotope analysis as a means of tracing aquatic products authenticity, source and geographic origins. Italian Journal of Food Science. 2020;32(3):517–527. <https://doi.org/10.14674/IJFS-1778>
5. Chernukha I, Yurchak Z, Kuzmina E. Study on the meat isotopick composition for origin identification. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2018;12(1):262–266. <https://doi.org/10.5219/906>
6. Горбунова Н. А. Возможности использования стабильных изотопов для идентификации географического происхождения мяса и мясных продуктов. Обзор. Теория и практика переработки мяса. 2018. Т. 3. № 1. С. 46–58. [Gorbunova NA. Possibilities of using stable isotopes for identification of geographical origin of meat and meat products. A review. Theory and practice of meat processing. 2018;3(1):46–58. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-1-46-58>
7. Huang J, Norgbey E, Nkrumah PN, Opoku PA, Apreku TO. Detection of corn oil in adulterated olive and soybean oil by carbon stable isotope analysis. Journal of Consumer Protection and Food Safety. 2017;12:201–208. <https://doi.org/10.1007/s00003-017-1097-x>
8. Paolini M, Bontempo L, Camin F. Compound-specific $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^2\text{H}$ analysis of olive oil fatty acids. Talanta. 2017; 174:38–43. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2017.05.080>
9. Ehtesham E, Camin F, Bontempo L, Frew RD. Stable isotope measurements and modeling to verify the authenticity of dairy products. In: Camin F, Bontempo L, editors. Food Forensics. FL: CRC Press; 2017, ch. 10. <https://doi.org/10.1201/9781315151649>

10. da Silva DAF, Biscola NP, dos Santos LD, Sartori MMP, *et al.* Detecting animal by-product intake using stable isotope ratio mass spectrometry (IRMS). *The Veterinary Journal*. 2016;217:119–125. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2016.10.002>
11. Snyder H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*. 2019;104:333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
12. Torraco RJ. Writing integrative reviews of the literature: Methods and purposes. *International Journal of Adult Vocational Education and Technology*. 2016;7(3):62–70. <https://doi.org/10.4018/IJAVET.2016070106>
13. Neupane A, Lazicki P, Mayes MA, Lee J, Jagadamma S. The use of stable carbon isotopes to decipher global change effects on soil organic carbon: Present status, limitations, and future prospects. *Biogeochemistry* 2022;160:315–354. <https://doi.org/10.1007/s10533-022-00963-3>
14. Оганесянц Л. А., Панасюк А. Л., Кузьмина Е. И., Ганин М. Ю. Исследование отношений изотопов углерода, кислорода и водорода этанола фруктовых вин. *Техника и технология пищевых производств*. 2020. Т. 50. № 4. С. 717–725. [Oganesyants LA, Panasyuk AL, Kuzmina EI, Ganin MYu. Isotopes of carbon, oxygen, and hydrogen ethanol in fruit wines. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2020;50(4):717–725. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-717-725>
15. Vinci G, Preti R, Tieri A, Vieri S. Authenticity and quality of animal origin food investigated by stable-isotope ratio analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2013;93(3):439–448. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5970>
16. Соловьев А. И., Подколзин И. В., Амелин В. Г., Никешина Т. Б. Аутентификация пищевых продуктов животного происхождения. *Труды Федерального центра охраны здоровья животных*. 2015. Т. 13. С. 215–234. [Solovyev AI, Podkolzin IV, Amelin VG, Nikeshina TB. Authentication of food animal products. *Proceedings of the Federal Center for Animal Health Protection*. 2015;13:215–234. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/UNXADP>
17. Tanz N, Schmidt H-L. $\delta^{34}\text{S}$ -value measurements in food origin assignments and sulfur isotope fractionations in plants and animals. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010;58(5):3139–3146. <https://doi.org/10.1021/jf903251k>
18. Krivachy N, Rossmann A, Schmidt H-L. Potentials and caveats with oxygen and sulfur stable isotope analyses in authenticity and origin checks of food and food commodities. *Food Control*. 2015;48:143–150. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.06.002>
19. Kurle CM, Koch PL, Tershy BR, Croll DA. The effects of sex, tissue type, and dietary components on stable isotope discrimination factors ($\Delta^{13}\text{C}$ and $\Delta^{15}\text{N}$) in mammalian omnivores. *Isotopes in Environmental and Health Studies*. 2014;50(3):307–321. <https://doi.org/10.1080/10256016.2014.908872>
20. Renou J-P, Bielicki G, Deponge C, Gachon P, Micol D, *et al.* Characterization of animal products according to geographic origin and feeding diet using nuclear magnetic resonance and isotope ratio mass spectrometry. Part II: Beef meat. *Food Chemistry*. 2004;86(2):251–256. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.021>
21. Pianezze S, Camin F, Perini M, Corazzin M, Piasentier E. Tracing lamb meat with stable isotope ratio analysis: A review. *Small Ruminant Research*. 2021;203:106482. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106482>
22. Perini M, Camin F, Bontempo L, Rossmann A, Piasentier E. Multielement (H, C, N, O, S) stable isotope characteristics of lamb meat from different Italian regions. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2009;23(16):2573–2585. <https://doi.org/10.1002/rcm.4140>
23. Bontempo L, Perini M, Pianezze S, Horacek M, Roßmann A, *et al.* Characterization of beef coming from different European countries through stable isotope (H, C, N, and S) Ratio Analysis. *Molecules*. 2023;28(6):2856. <https://doi.org/10.3390/molecules28062856>
24. McNicol G, Yu Z, Berry ZC, Emery N, Soper FM, *et al.* Tracing plant-environment interactions from organismal to planetary scales using stable isotopes: A mini review. *Emerging Topics in Life Sciences*. 2021;5(2):301–316. <https://doi.org/10.1042/ETLS20200277>
25. Zhao Y, Yang S, Wang D. Stable carbon and nitrogen isotopes as a potential tool to differentiate pork from organic and conventional systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016;96(11):3950–3955. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7567>
26. Zhao Y, Tu T, Tang X, Zhao S, Qie M, *et al.* Authentication of organic pork and identification of geographical origins of pork in four regions of China by combined analysis of stable isotopes and multi-elements. *Meat Science*. 2020;165:108129. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108129>
27. Bahar B, Schmidt O, Moloney AP, Scrimgeour CM, Begley IS, *et al.* Seasonal variation in the C, N and S stable isotope composition of retail organic and conventional Irish beef. *Food Chemistry*. 2008;106(3):1299–1305. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.07.053>
28. Inácio CT, Chalk PM. Principles and limitations of stable isotopes in differentiating organic and conventional foodstuffs: 2. Animal products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2017;57(1):181–196. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.887056>
29. Cristea G, Voica C, Feher I, Puscas R, Magdas DA. Isotopic and elemental characterization of Romanian pork meat in corroboration with advanced chemometric methods: A first exploratory study. *Meat Science*. 2022;189:108825. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108825>
30. Ayaz Y, Ayaz ND, Erol I. Detection of species in meat and meat products using enzyme-linked immunosorbent assay. *Journal of Muscle Foods*. 2006;17(2):214–220. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4573.2006.00046.x>

31. Ballin NZ, Lametsch R. Analytical methods for authentication of fresh vs. thawed meat – A review. *Meat Science*. 2008;80(2):151–158. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.12.024>
32. Ballin NZ, Madsen KG. Sex determination in beef by melting curve analysis of PCR amplicons from the amelogenin locus. *Meat Science*. 2007;77(3):384–388. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2007.04.029>
33. Ballin NZ, Vogensen FK, Karlsson AH. Species determination – Can we detect and quantify meat adulteration? *Meat Science*. 2009;83(2):165–174. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.003>
34. Chernukha I, Yurchak Z, Kuzmina E. Study on the meat isotopick composition for origin identification. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2018;12(1):262–266. <https://doi.org/10.5219/906>
35. Горбунова Н. А. Возможности использования стабильных изотопов для идентификации географического происхождения мяса и мясных продуктов. Обзор. Теория и практика переработки мяса. 2018. Т. 3. № 1. С. 46–58. [Gorbunova NA. Possibilities of using stable isotopes for identification of geographical origin of meat and meat products. A review. Theory and Practice of Meat Processing. 2018;3(1):46–58. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2018-3-1-46-58>
36. Kim KS, Kim JS, Hwang IM, Jeong IS, *et al.* Application of stable isotope ratio analysis for origin authentication of pork. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*. 2013;33(1):39–44. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2013.33.1.39>
37. Nie J, Shao S, Xia W, Liu Z, Yu C, *et al.* Stable isotopes verify geographical origin of yak meat from Qinghai-Tibet plateau. *Meat Science*. 2020;165:108113. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108113>
38. Piasentier E, Valusso R, Camin F, Versini G. Stable isotope ratio analysis for authentication of lamb meat. *Meat Science*. 2003;64(3):239–247. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00183-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00183-3)
39. Erasmus SW, Muller M, van der Rijst M, Hoffman LC. Stable isotope ratio analysis: A potential analytical tool for the authentication of South African lamb meat. *Food Chemistry*. 2016;192:997–1005. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.07.121>
40. Liu X, Guo B, Wei Y, Shi J, Sun S. Stable isotope analysis of cattle tail hair: A potential tool for verifying the geographical origin of beef. *Food Chemistry*. 2013;140(1–2):135–140. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.020>
41. Ballin NZ. Authentication of meat and meat products. *Meat Science*. 2010;86(3):577–587. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.06.001>
42. Monahan FJ, Schmidt O, Moloney AP. Meat provenance: Authentication of geographical origin and dietary background of meat. *Meat Science*. 2018;144:2–14. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.05.008>
43. Franke BM, Koslitz S, Micaux F, Piantini U, Maury V, *et al.* Tracing the geographic origin of poultry meat and dried beef with oxygen and strontium isotope ratios. *European Food Research and Technology*. 2008;226:761–769. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0588-x>
44. Horacek M, Eisinger E, Papesch W. Reliability of stable isotope values from meat juice for the determination of the meat origin. *Food Chemistry*. 2010;118(4):910–914. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.03.090>
45. Camin F, Bontempo L, Perini M, Piasentier E. Stable isotope ratio analysis for assessing the authenticity of food of animal origin. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016;15(5):868–877. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12219>
46. Moloney AP, O’Riordan EG, Schmidt O, Monahan FJ. The fatty acid profile and stable isotope ratios of C and N of muscle from cattle that grazed grass or grass/clover pastures before slaughter and their discriminatory potential. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*. 2018;57:84–94. <https://doi.org/10.1515/ijaf-2018-0009>
47. 郭波莉, 魏益民, Kelly SD, 潘家荣, 魏 帅. 稳定性氢同位素分析在牛肉产地溯源中的应用. *分析化学*. 2009;37(9):1333–1336. [Guo BL, Wei YM, Kelly SD, Simon KD, Pan JR, *et al.* Application of stable hydrogen isotope analysis in beef geographical origin traceability. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*. 2009;37(9):1333–1336. (In Chinese)]
48. Yanagi Y, Hirooka H, Oishi K, Choumei Y, *et al.* Stable carbon and nitrogen isotope analysis as a tool for inferring beef cattle feeding systems in Japan. *Food Chemistry*. 2012;134(1):502–506. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.107>
49. 郭波莉, 魏益民, 潘家荣, 李 勇. 碳、氮同位素在牛肉产地溯源中的应用研究. *中国农业科学*. 2007;40(2):365–372. [Guo BL, Wei YM, Pan JR, Li Y. Application of carbon and nitrogen isotope in beef origin traceability. *Scientia Agricultura Sinica*. 2007;40(2):365–372. (In Chinese)] <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.at-2006-7544>
50. Zhao S, Zhang H, Zhang B, Xu Z, Chen A, *et al.* A rapid sample preparation method for the analysis of stable isotope ratios of beef samples from different countries. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2020;34(13):e8795. <https://doi.org/10.1002/rcm.8795>
51. Bong Y-S, Shin W-J, Lee A-R, Kim Y-S, Kim K, *et al.* Tracing the geographical origin of beefs being circulated in Korean markets based on stable isotopes. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2010;24(1):155–159. <https://doi.org/10.1002/rcm.4366>
52. Nakashita R, Suzuki Y, Akamatsu F, Iizumi Y, Korenaga T, *et al.* Stable carbon, nitrogen, and oxygen isotope analysis as a potential tool for verifying geographical origin of beef. *Analitica Chimica Acta*. 2008;617(1–2):148–152. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.03.048>
53. 孙丰梅, 石光雨, 王慧文, 杨曙明. 牛不同组织中稳定性同位素氢氧硫组成探讨. *核农学报*. 2012;26(8):1148–1153. [Sun F-M, Shi G-Y, Wang H-W, Yang S-M. Stable hydrogen, oxygen and sulfur isotopes composition in different tissues of cattle. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*. 2012;26(8):1148–1153. (In Chinese)] <https://doi.org/10.11869/hnxb.2012.08.1148>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2579>
<https://elibrary.ru/DZCAXM>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Сравнительный анализ методов выделения бактериальной ДНК из козьего молока и продуктов на его основе



Д. Д. Коваль*, А. В. Хан, Е. Г. Лазарева, О. Ю. Фоменко

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности , Москва, Россия

Поступила в редакцию: 27.02.2025
Принята после рецензирования: 25.03.2025
Принята к публикации: 01.04.2025

*Д. Д. Коваль: d_koval@vniimi.org,
<https://orcid.org/0009-0004-1491-7423>
А. В. Хан: <https://orcid.org/0009-0007-6106-6088>
Е. Г. Лазарева: <https://orcid.org/0000-0002-8069-9661>
О. Ю. Фоменко: <https://orcid.org/0000-0001-7852-3790>

© Д. Д. Коваль, А. В. Хан, Е. Г. Лазарева, О. Ю. Фоменко, 2025



Аннотация.

Несмотря на востребованность в молекулярной диагностике, выделение бактериальной ДНК из молочных продуктов остается малоизученной областью. Актуальность работы обусловлена необходимостью оценки эффективности методов экстракции ДНК для обнаружения микроорганизмов в пищевых матрицах. Цель исследования – провести сравнительный анализ методов экстракции бактериальной ДНК из козьего молока и продуктов его переработки.

Объекты исследования – сырое, пастеризованное и сухое козье молоко, а также кисломолочный продукт на йогуртовой закваске (йогурт) и сыр на основе козьего молока. Нуклеиновые кислоты из молока и молочных продуктов выделяли с использованием 5 коммерчески доступных наборов, основанных на применении кремнеземного сорбента (ДНК-Сорб-С-М), солевого осаждения нуклеиновых кислот (ДНК-Экстран-2), спин-колонок с кремниевым фильтром (К-Сорб), магнитных частиц (ГМО-МагноСорб), комбинации фенол-хлороформной экстракции и кремниевого сорбента (Сорб-ГМО-Б). Анализ концентрации и чистоты препаратов ДНК проводили флуори- и спектрометрическими методами. Выделенная суммарная ДНК использовалась в качестве матрицы для амплификации фрагментов бактериальных генов 16S rPHK.

Все наборы эффективно выделяли бактериальную ДНК из молочных продуктов, за исключением образцов сухого молока. Возможно, отсутствие амплификации в данных образцах было связано с технологическими особенностями производства или деградацией ДНК во время экстракции. Лучшие результаты показал метод с фенол-хлороформной экстракцией и кремниевым сорбентом, особенно для сложных матриц. Метод с кремнеземным сорбентом без органических растворителей занял второе место по эффективности. Анализ выхода и чистоты бактериальной ДНК, полученной различными методами экстракции, показал, что не все из них оказывались эффективными при работе с молочными матрицами.

Проведенные исследования позволили заключить, что наиболее продуктивным и универсальным методом экстракции ДНК из козьего молока и продуктов его переработки оказался метод фенол-хлороформной экстракции с адсорбцией на кремниевом сорбенте. Эффективность использования любого протокола может быть улучшена путем его адаптации к особенностям анализируемого продукта с учетом его вязкости, плотности, содержания бактериальных клеток, наличия или отсутствия сложных белковых, экзополисахаридных или жировых матриц, в которых заключены микроорганизмы и т. д.

Ключевые слова. Молекулярно-генетические методы, ПЦР, методы выделения ДНК, нуклеиновая кислота, молочные продукты, козье молоко

Финансирование. Работа проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания по направлению FNSS-2025-0002 «Развить методологические основы мониторинга молочной продукции с элементами кластеризационной идентификации, формирующей гибкую аналитическую систему оценки в условиях глобальной прослеживаемости» на базе ФГАНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности .

Для цитирования: Коваль Д. Д., Хан А. В., Лазарева Е. Г., Фоменко О. Ю. Сравнительный анализ методов выделения бактериальной ДНК из козьего молока и продуктов на его основе. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 390–399. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2579>

Isolating Bacterial DNA from Goat Milk and Its Products: Comparative Analysis



Daria D. Koval*^{ID}, Aleksej V. Khan^{ID},
Ekaterina G. Lazareva^{ID}, Oleg Yu. Fomenko^{ID}

All-Russian Dairy Research Institute^{ROR}, Moscow, Russia

Received: 27.02.2025
Revised: 25.03.2025
Accepted: 01.04.2025

*Daria D. Koval: d_koval@vniimi.org,
<https://orcid.org/0009-0004-1491-7423>
Aleksej V. Khan: <https://orcid.org/0009-0007-6106-6088>
Ekaterina G. Lazareva: <https://orcid.org/0000-0002-8069-9661>
Oleg Yu. Fomenko: <https://orcid.org/0000-0001-7852-3790>

© D.D. Koval, A.V. Khan, E.G. Lazareva, O.Yu. Fomenko, 2025



Abstract.

Despite its high demand in molecular diagnostics, the bacterial DNA extraction from dairy products remains an understudied area. The effectiveness of different DNA extraction methods for detecting microorganisms in food matrices needs a comprehensive comparative analysis. The article introduces a comparative analysis of bacterial DNA extraction methods from goat milk and its products.

The research included samples of raw, pasteurized, and powdered goat milk, as well as a goat milk yogurt and a goat milk cheese. The nucleic acid tests relied on five commercially available kits based on 1) a silica sorbent (DNA-Sorb-S-M), 2) salt precipitation of nucleic acids (DNA-Extran-2), 3) spin columns with a silica filter (K-Sorb), 4) magnetic particles (GMO-MagnoSorb), 5) a combination of phenol-chloroform extraction and silica sorbent (Sorb-GMO-B). The concentration and purity of DNA preparations were analyzed using standard fluo- and spectrometric methods. The isolated total DNA was used as a template for amplification of bacterial 16S rRNA gene fragments.

All kits were able to isolate bacterial DNA from all samples but goat milk powder, where the lack of amplification could be due to some technological production features or DNA degradation during extraction. The best results belonged to the method that combined phenol-chloroform extraction and silicon sorbent, especially for complex matrices. The method with silica sorbent without organic solvents was second in efficiency. The analysis of the yield and purity of bacterial DNA showed that some methods were less effective with milk matrices.

The method of phenol-chloroform extraction with adsorption on a silicon sorbent proved to be the most productive and universal method for extracting DNA from goat milk and its products. However, other protocols could be calibrated for specific viscosity, density, bacterial cell count, complex protein profile, exopolysaccharide/fat matrices of microbial encapsulation, etc.

Keywords. Molecular genetic methods, PCR, DNA extraction methods, nucleic acid, dairy products, goat milk

Funding. The research was carried out using subsidies for the implementation of the State Assignment FNSS-2025-0002 “Development of methodological foundations of dairy product monitoring with elements of clustering identification, forming a flexible analytical evaluation system under conditions of global traceability” on the basis of All-Russian Dairy Research Institute^{ROR}.

For citation: Koval DD, Khan AV, Lazareva EG, Fomenko OYu. Isolating Bacterial DNA from Goat Milk and Its Products: Comparative Analysis. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):390–399. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2579>

Введение

В настоящее время мировое сообщество обеспокоено достижением целей устойчивого развития (ЦУР). Согласно отчету Организации объединенных наций (ООН) от 2 мая 2024 г., особенно тревожная ситуация складывается в борьбе с голодом и обеспечением продовольственной безопасности (ЦУР 2) [1]. Проблема неполноценного питания проявляется как в дефиците питательных веществ, что влечет за собой повышение рисков инфекционных заболеваний, так

и в избыточном весе, что увеличивает риск развития заболеваний неинфекционной природы [2]. Молоко и молочные продукты являются одними из ключевых инструментов решения этих глобальных проблем, т. к. они обладают уникальным составом необходимых питательных веществ. Это подтвердили совместные исследования некоммерческой отраслевой ассоциации Global Dairy Platform (GDP), Food and Agriculture Organization (FAO) и International Farm Comparison Network (IFCN), которые показали влияние потреб-

ления молочных продуктов на улучшение здоровья населения, сокращение бедности и голода [3]. Однако молоко может играть такую важную роль только при условии строгого контроля его физико-химического и микробиологического состава для подтверждения отсутствия посторонних загрязнений и патогенных микроорганизмов.

Согласно ГОСТ 32901-2014, для проверки продукции на наличие патогенных микроорганизмов используются стандартные методы микробиологической диагностики. Они включают приготовление питательных сред, посев и культивирование образцов, окраску бактериальных культур метиленовым синим и по Граму, микроскопирование и другие процедуры. Большинство этих методов были разработаны в конце XIX – начале XX в. и имеют существенные недостатки: длительное время культивирования (24–72 ч), ошибки в следствие неправильного подбора питательных сред, а также сложности с идентификацией бактериальных колоний по их фенотипическим признакам (например, металлический блеск, аморфная или зернистая структура, ровные или волнистые края и другие особенности). Поэтому все большее влияние для контроля качества и безопасности в секторе молочной промышленности приобретают методы молекулярно-генетической диагностики, такие как секвенирование (метагеномное, полногеномное, баркодирование ДНК), тест-системы на основе ПЦР (симплексные и мультиплексные), РВ-ПЦР, прямая ПЦР и др. [4–7]. Данные методики требуют предварительной подготовки, а именно этапа экстракции нуклеиновых кислот.

Большинство исследований, посвященных выделению ДНК из молока, сосредоточены на коровьем молоке и продуктах его переработки [8–13]. Однако другие виды молока также заслуживают внимание исследователей. Например, козье молоко, которое занимает второе место в мире по производству и потреблению после коровьего молока. По данным компании маркетинговых исследований Research and Markets, к концу 2028 г. объем рынка продуктов из козьего молока достигнет 18,9 млрд долларов [14]. Козье молоко широко применяется в производстве детского и геронтологического питания, а также в косметологии [15]. Благодаря своим уникальным характеристикам оно пользуется популярностью у людей с непереносимостью коровьего молока.

Выбор оптимального метода выделения нуклеиновых кислот является важной задачей для молочной промышленности и контролирующих органов государственной санитарно-эпидемиологической службы, т. к. будущее молочной отрасли невозможно без интеграции методов молекулярно-генетической диагностики в повседневную практику.

Одной из наиболее популярных технологий, которая широко применяется по всему миру в готовых наборах для выделения ДНК, является применение спин-колонок с кремнеземной мембраной. Примерами таких набо-

ров являются Milk DNA Preservation and Isolation Kit (Norgen Biotek Corp., Canada), FavorPrep Milk Bacterial DNA Extraction Kit (Favorgen Biotech Corp., Taiwan), HigherPurity Milk Bacterial DNA Extraction Kit (Canvax, Spain), Milk Bacterial Genomic DNA Isolation Kit (BioCat GmbH, Germany). Еще один распространенный метод экстракции – использование способности ДНК связываться с поверхностью парамагнитных шариков. Эта технология реализована в наборах First-Magnetic Milk Kit (Gen-IAL, Germany), XpressDNA Milk Kit (MagGenome Technologies Pvt. Ltd., India), SphaeraMag Genomic DNA Milk Purification Kit (Procomcure Biotech, Austria). К другим методам выделения нуклеиновых кислот из молока относят высаливание, фенол-хлороформный метод и ионообменный метод очистки с помощью смол Chelex 100, AG MP-1M (Bio-Rad, USA) и др. [13, 14]. Однако на данный момент специализированные коммерческие наборы для выделения нуклеиновых кислот из молока на основе вышеперечисленных методов не представлены на российском рынке.

Высаливание нуклеиновых кислот подразумевает использование раствора с высокой концентрацией солей для осаждения белковых молекул в клеточном лизате с последующим центрифугированием и отделением белкового осадка от надосадочной жидкости, содержащей ДНК. Методика с кремнеземными частицами позволила связать нуклеиновые кислоты в растворе с высокой концентрацией солей и удалить другие продукты лизиса клеток, а затем элюировать нуклеиновые кислоты с поверхности сорбента, используя раствор с низкой концентрацией солей. Применение магнитных частиц с кремниевым покрытием аналогично использованию кремнеземного сорбента. Особенность метода – применение магнитного штатива, который позволяет ДНК, осажденной на поверхности магнитных шариков, оставаться на дне пробирки. Органическая экстракция заключается в добавлении к клеточному лизату изоамилового спирта для осаждения ДНК, фенола для разрушения белков и хлороформа для разделения водной и органической фаз.

Цель исследования – сравнительный анализ методов экстракции бактериальной ДНК из козьего молока и продуктов его переработки. Рассмотрены методы, основанные на применении кремнеземного сорбента, магнитных частиц, сочетании кремневой адсорбции и органических растворителей, спин-колонок с мембраной из кремнезема.

Сравнительный анализ методов экстракции бактериальной ДНК представляет собой фундаментальную основу для разработки инновационных подходов в контроле качества молочной продукции. Разработка оптимального протокола выделения нуклеиновых кислот приведет к созданию высокочувствительных экспресс-методов молекулярно-генетического анализа, способных заменить трудоемкие и длительные традиционные микробиологические исследования. Внедрение подобных технологий позволит проводить

анализ определения подлинности молочной продукции, т. е. соответствие заявленному микробному составу, а также выявлять нарушения в технологических процессах (контаминация продукта, нарушение режимов термической обработки и т. д.). Кроме того, зная микробный состав, можно разрабатывать синтетические микробные консорциумы и новые функциональные продукты на их основе.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования – сырое козье молоко (Козья ферма САТИ, с. Васильевское) и сухое козье молоко (СБТ-АГРО, с. Черкассы), сыр из козьего молока (Городская сыроварня, д. Курцево), а также продукты, полученные из козьего молока в лабораторных условиях: пастеризованное молоко и кисломолочный продукт на йогуртовой закваске (йогурт). Йогуртовая закваска из коллекции культур микроорганизмов Всероссийского научно-исследовательского института молочной промышленности (ВНИМИ) на основе культур микроорганизмов из коллекции ВНИМИ: *Streptococcus thermophilus* (штамм бкб) и *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (штамм L37/7).

Подготовка образцов. Пастеризацию сырого козьего молока проводили при температуре 90 ± 2 °C в течение 5 мин на водяной бане.

Для приготовления кисломолочного продукта (йогурт) в предварительно пастеризованное и охлажденное до температуры 4 ± 2 °C молоко добавляли 5 % жидкой йогуртовой закваски. Затем смесь подвергали инкубации при температуре 40 ± 2 °C в течение 4 ч в термостате (Смоленское СКТБ СПУ, Россия). По окончании инкубации кисломолочный продукт охлаждали до 25–30 °C, тщательно перемешивали и помещали в холодильную камеру для хранения при 4 ± 2 °C.

Пробоподготовка образцов. Из образцов сырого и пастеризованного козьего молока, а также кисломолочного продукта на йогуртовой закваске (йогурт) объемом 2 мл получали осадок клеток путем центрифугирования на высокоскоростной мини-центрифуге Microspin 12 (Biosan, Латвия) при ускорении 10000 g в течение 5 мин и удаления надосадочной жидкости. Образцы сухого козьего молока и козьего сыра не требовали пробоподготовки, их навески составляли 100 и 400 мг соответственно.

Экстракция ДНК. Нуклеиновые кислоты выделяли в соответствии с инструкциями производителей с помощью следующих наборов: «ДНК-Сорб-С-М» (Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии Роспотребнадзора), «ДНК-Экстран-2» (СИНТОЛ, Россия), «К-Сорб» (СИНТОЛ, Россия), «Сорб-ГМО-Б» (СИНТОЛ, Россия), «ГМО-МагноСорб» (СИНТОЛ, Россия).

Анализ уровня фрагментации ДНК проводили разделением ампликонов в 1 % геле агарозы I (VWR International LLC, США), окрашенном раствором бро-

мистого этидия (PanReac Applichem, Испания), при напряжении электрического поля 7 В/см геля в течение часа. В качестве маркера длин фрагментов ДНК использовали 1 kb DNA Ladder (ЗАО «Евроген», Россия). Результаты гель-электрофореза визуализировали с помощью системы гель-документирования E-Box-CX5.TS (Vilber, Франция) на трансиллюминаторе Super-Bright (Vilber, Франция) с длиной волны 312 нм.

Измерение концентрации ДНК. Концентрацию препаратов ДНК измеряли на флуориметре Qubit 4 (Invitrogen, США) с использованием набора реагентов «QuDye BR для определения количества двухцепочечной ДНК» (Lumiprobe RUS Ltd., Россия), объем исследуемой аликвоты составлял 5 мкл.

Оценка чистоты нуклеиновых кислот. Чистоту выделенных нуклеиновых кислот определяли путем измерения оптической плотности проб на микроспектрофотометре Nano-500 (Allsheng, Китай) при длинах волн 230, 260 и 280 нм. Объем пробы составил 2 мкл.

Проведение ПЦР. Последовательности олигонуклеотидных праймеров для амплификации фрагментов 16S рРНК бактерий опубликованы в работе Marsh *et al.* [16].

Состав реакционной смеси для ПЦР включал 1 мкл матрицы выделенной ДНК, 5 мкл реакционной смеси 5X ScreenMix (Евроген, Россия), 10 пмоль прямого праймера, 10 пмоль обратного праймера и 17 мкл деионизированной воды (Евроген, Россия). Амплификация проводилась на приборе MiniAmp (Thermo Fisher Scientific, США) следующим образом: первичная денатурация при температуре 94 °C в течение 10 мин, затем 35 циклов амплификации (денатурация ДНК при 94 °C в течение 1 мин, отжиг праймеров при 52 °C 1 мин, элонгация цепей ДНК при 72 °C 1 мин и финальная элонгация при 72 °C 10 мин).

Электрофорез ампликонов. Фрагменты ДНК, амплифицированные в ходе ПЦР, были визуализированы с помощью гель-электрофореза в 2 % агарозном геле (VWR International LLC, США), окрашенном раствором бромистого этидия (PanReac Applichem, Испания), при напряжении электрического поля 8 В/см геля в течение часа. В качестве маркера длин фрагментов ДНК использовали 100+ bp DNA Ladder (Евроген, Россия). Результаты гель-электрофореза визуализировали с помощью системы гель-документирования E-Box-CX5.TS (Vilber, Франция) на трансиллюминаторе Super-Bright (Vilber, Франция) с длиной волны 312 нм.

Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась с помощью программы MS Excel. Для оценки статистической достоверности применялся непараметрический критерий Краскела-Уоллиса.

Результаты и их обсуждение

Анализ уровня фрагментации ДНК. На первом этапе работы после экстракции ДНК из исследуемых образцов молочных продуктов из козьего молока

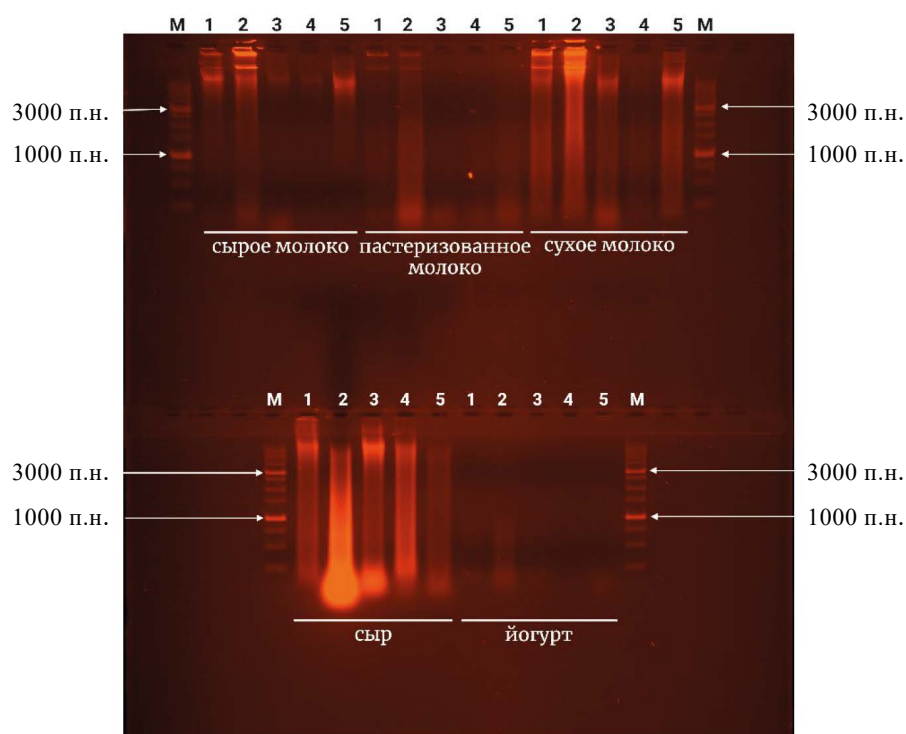
была проведена предварительная оценка фрагментации молекул при помощи электрофоретического анализа препаратов ДНК, выделенных пятью различными методами (рис. 1). Результаты показали, что наибольшее количество высокомолекулярной ДНК наблюдалось при выделении нуклеиновых кислот из сырого и сухого молока с помощью «ДНК-Сорб-С-М», «ДНК-Экстран-2» и «К-Сорб». Также наличие высокомолекулярной ДНК было зафиксировано при экстракции нуклеиновых кислот из сыра с использованием «ДНК-Сорб-С-М», «Сорб-ГМО-Б» и «Магно-Сорб». Наименьшее количество суммарной ДНК обнаружено при выделении нуклеиновых кислот из пастеризованного молока и кисломолочного продукта (йогурт) с применением наборов «Сорб-ГМО-Б», «ГМО-МагноСорб» и «К-Сорб». Кроме того, в случае выделения нуклеиновых кислот из сыра с помощью наборов «ДНК-Экстран-2» и «Сорб-ГМО-Б» наблюдались короткие фрагменты – шмеры. В случае проб, выделенных методом высаливания, отмечался шлейф, состоящий из фрагментированных нуклеиновых кислот различной длины.

Выход ДНК. В ходе дальнейшего исследования проведена оценка выхода ДНК как ключевого критерия эффективности экстракции. Результаты демонстри-

ровали значительную вариабельность выхода ДНК, получаемой коммерческими наборами, в зависимости от типа молочного продукта (рис. 2). Это указывало на определяющую роль матричных характеристик, включая содержание ингибиторов ПЦР, реологические свойства (плотность, вязкость), а также концентрацию бактериальных и соматических клеток.

Установлено, что наиболее высокий выход ДНК получен при экстракции из козьего сыра – $19645,4 \pm 9003,6$ нг (рис. 2с). Наименьший выход нуклеиновых кислот наблюдался при выделении ДНК из пастеризованного козьего молока ($84,1 \pm 15,2$ нг) и йогурта ($66,7 \pm 4,7$ нг) (рис. 2b, d).

Большой выход ДНК из сыра был связан с высоким содержанием в нем микроорганизмов, которые активно размножаются в процессе ферментации и созревания продукта. Также для изготовления сыра требуется значительно больше молока, чем для других молочкопродуктов, что изначально приводит к увеличению количества соматических клеток и ДНК. Однако образцы сыра требуют более агрессивного лизиса микробных клеток и тщательной предварительной очистки от жировой составляющей. Применение набора «К-Сорб» в соответствии с оригинальным протоколом экстракции привело к меньшему выходу ДНК из сыра



Примечание: М – маркер длин ДНК 1 kb DNA Ladder; 1 – ДНК-Сорб-С-М; 2 – ДНК-Экстран-2; 3 – Сорб-ГМО-Б; 4 – ГМО-МагноСорб; 5 – К-Сорб

Рисунок 1. Электрофореграмма результатов анализа уровня фрагментирования ДНК из козьего молока и продуктов его переработки

Figure 1. Electropherogram of DNA fragmentation from goat milk and its products

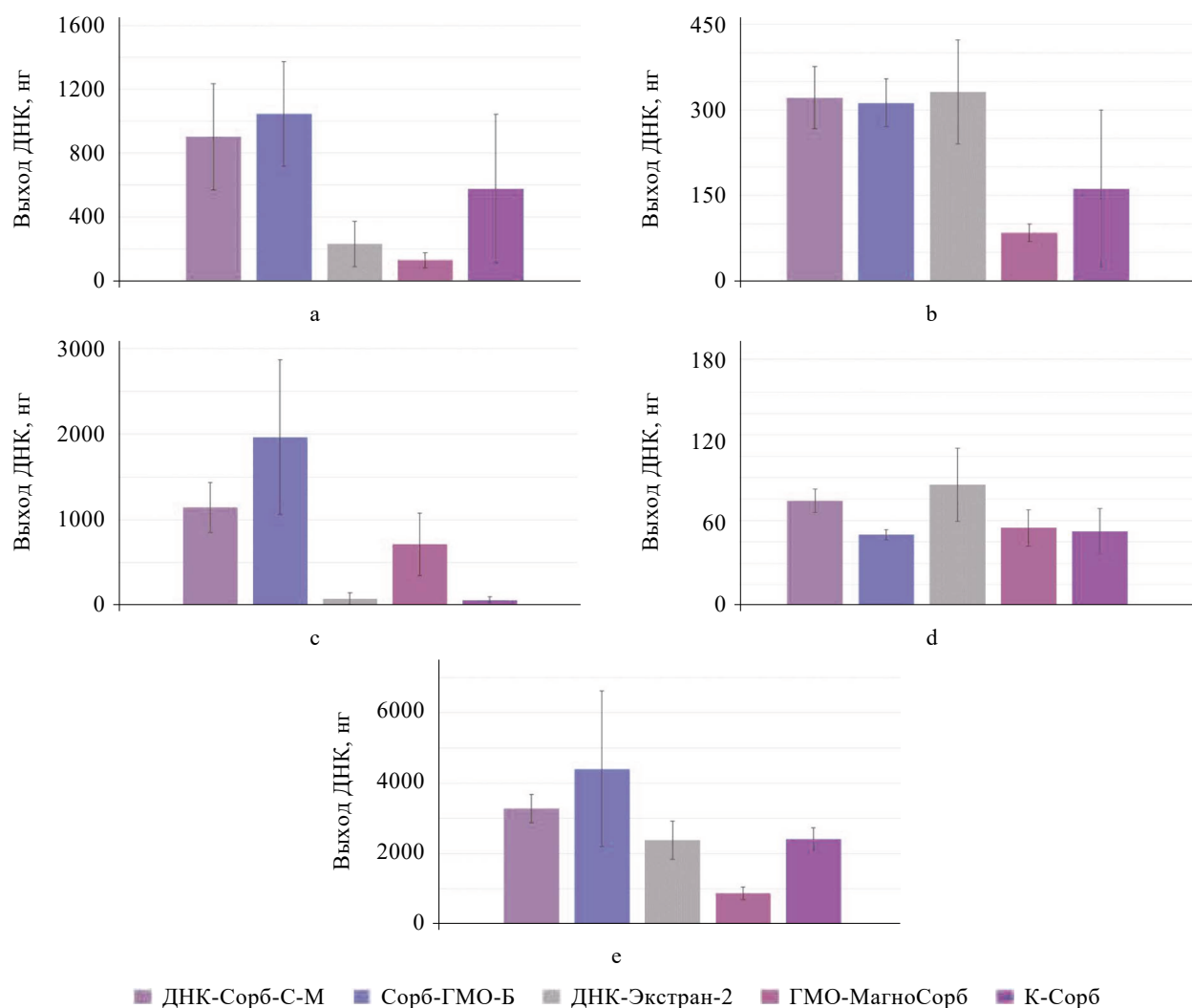


Рисунок 2. Средние значения выхода суммарной ДНК из козьего молока и продуктов его переработки, выделенной пятью методами: а – сырое молоко, б – пастеризованное молоко, с – сыр, d – йогурт, e – сухое молоко

Figure 2. Total DNA yield from goat milk and its products across five identification methods: a – raw milk, b – pasteurized milk, c – cheese, d – yogurt, e – milk powder, mean values

($622,9 \pm 437,2$ нг), что, вероятно, обусловлено меньшей продолжительностью лизиса по сравнению с альтернативными методами, а также недостаточной очисткой образца после лизиса. Неполное удаление остатков клеток, не подвергшихся лизису, и липидных компонентов спровоцировало обструкцию пор кремневой мембраны, снизив эффективность связывания нуклеиновых кислот и пропускную способность для буферов, используемых на этапах удаления примесей и элюции ДНК. Данную проблему можно решить модификацией протокола, введением этапа предварительной подготовки образцов (например, применение жидкого азота для лучшего разрушения клеток), увеличением времени лизиса, что позволит снизить нагрузку на мембрану, повысив выход ДНК.

Как и в случае с образцами сыра, в йогурте активно размножались бактерии при ферментации и хранении.

Однако, несмотря на это, выход ДНК оказался низким, т. к. йогурт был приготовлен на основе пастеризованного молока, выход ДНК из которого низкий вследствие термической обработки, приводящей к деградации молекул ДНК [17, 18]. Для производства сыра также используется пастеризованное молоко, тем не менее режим пастеризации для сыра более щадящий: температура составляла $72-74$ °C с выдержкой в течение 20 с. В то время как молоко для йогурта пастеризовали при температуре 90 ± 2 °C в течение 5 мин (патент RU 2 541 760 C1). Помимо этого, такой результат можно объяснить наличием экзополисахаридов, активно вырабатываемых бактериями, входящими в состав заквасочной культуры, которые негативно влияют на экстракцию ДНК [19, 20]. Кроме того, микроорганизмы в йогурте защищены коагулированными белками, также препятствующими извлечению нуклеи-

новых кислот. Увеличить выход ДНК из йогурта можно путем предварительной очистки и концентрирования бактерий перед лизисом [20]. Проблема извлечения ДНК из кисломолочных продуктов остается актуальной, особенно в контексте геномных исследований, требующих высококонцентрированные и тщательно очищенные образцы ДНК.

Среди всех исследуемых образцов наиболее высокий выход ДНК получен с помощью наборов, в основе которых лежит кремневый сорбент – «ДНК-Сорб-С-М» и «Сорб-ГМО-Б», что согласуется с результатами предыдущих исследований [7]. Результаты экстракции с использованием «Сорб-ГМО-Б» лучше, вероятно, благодаря применению органических растворителей – фенола и хлороформа. Эти вещества добавлялись в лизированные образцы для эффективного отделения и осаждения белков.

Набор «ДНК-Экстран-2», основанный на методе солевого осаждения нуклеиновых кислот, показал относительно невысокий уровень выхода ДНК, за исключением тех продуктов, из которых ДНК экстрагировалась в небольших количествах независимо от метода, как в случае выделения нуклеиновых кислот из пастеризованного молока и йогурта (рис. 2b, d).

Оценка чистоты нуклеиновых кислот. В ходе измерения коэффициентов поглощения при длинах волн 260 и 280 нм метод органической экстракции (набор «Сорб-ГМО-Б») продемонстрировал наилучшие результаты получения высокоочищенных препаратов нуклеиновых кислот из исследуемых продуктов (табл. 1).

Средние значения показателя $A_{260/280}$ при использовании данного набора были выше эталонного (~ 1.8), что говорит о надлежащем качестве выделенной ДНК с минимальным содержанием белковых загрязнений. Средние значения $A_{260/280}$ для трех видов молока: $1,96 \pm 0,05$ (сырое), $1,83 \pm 0,11$ (пастеризованное) и $1,91 \pm 0,05$ (сухое). В сыре и йогурте коэффициент $A_{260/280}$ равен

$1,92 \pm 0,15$ и $1,85 \pm 0,11$ соответственно, что также свидетельствовало о высоком качестве экстрагированных нуклеиновых кислот. При применении других коммерческих наборов в основном были получены более низкие значения коэффициента $A_{260/280}$.

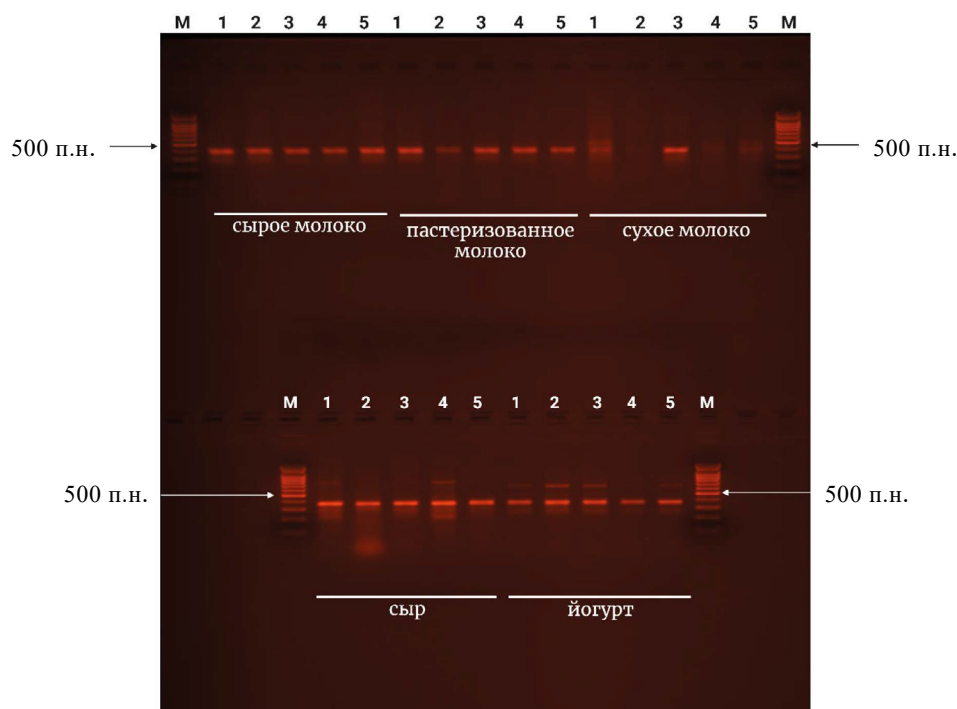
Определение коэффициента $A_{260/230}$ показало, что набор «Сорб-ГМО-Б» также позволил получить более высокоочищенные образцы, указывая на качественное удаление органических загрязнителей. Средние значения коэффициента $A_{260/230}$: $0,87 \pm 0,56$ (сырое молоко), $1,15 \pm 0,38$ (пастеризованное молоко), $1,76 \pm 0,36$ (сухое молоко), $1,72 \pm 0,63$ (сыр) и $0,48 \pm 0,22$ (йогурт). Второе место по степени очищения занял набор «ДНК-Сорб-С-М». Наборы «ДНК-Экстран-2», «ГМО-МагноСорб» и «К-Сорб» продемонстрировали более низкие значения $A_{260/230}$ после экстракции и очистки препаратов ДНК.

Электрофорез ПЦР-продуктов. Суммарная ДНК, выделенная из образцов молочных пищевых матриц, была исследована методом ПЦР с использованием праймеров, комплементарных участку бактериальных генов 16S рРНК V4-V5. Все коммерческие наборы позволяли успешно выделять ДНК микробных сообществ из исследуемых образцов молочных продуктов, за исключением сухого молока. Отсутствие целевых ампликонов размером 408 п.о. в исследуемых образцах могло быть связано с комплексным воздействием технологических процессов, применяемых при производстве продукта (рис. 3). В частности, пастеризация и термическая сушка способны индуцировать фрагментацию высокомолекулярной ДНК, что делало амплификацию протяженных участков генома невозможной. Дополнительным фактором, ограничивающим эффективность ПЦР, могла выступать деградация нуклеиновых кислот на этапе экстракции. Подтверждением гипотезы о фрагментации ДНК послужила успешная амплификация коротких фрагментов D-петли митохондриальной ДНК длиной 184 п.о., что свидетельствовало о сохранности

Таблица 1. Средние значения соотношений оптической плотности $A_{260/230}$ и $A_{260/280}$ при соответствующих длинах волн в препаратах нуклеиновых кислот, выделенных из козьего молока и продуктов его переработки

Table 1. Optical density ratios $A_{260/230}$ and $A_{260/280}$ at corresponding wavelengths in nucleic acid preparations isolated from goat milk and its processed products, mean values

Набор для экстракции	Сырое молоко		Пастеризованное молоко		Сухое молоко		Сыр		Йогурт	
	$A_{260/230}$	$A_{260/280}$	$A_{260/230}$	$A_{260/280}$	$A_{260/230}$	$A_{260/280}$	$A_{260/230}$	$A_{260/280}$	$A_{260/230}$	$A_{260/280}$
ДНК-Сорб-С-М	$0,05 \pm 0,03$	$1,65 \pm 0,17$	$0,03 \pm 0,01$	$1,66 \pm 0,12$	$0,96 \pm 0,374$	$1,88 \pm 0,003$	$0,77 \pm 0,47$	$1,64 \pm 0,22$	$0,37 \pm 0,29$	$1,03 \pm 0,20$
Сорб-ГМО-Б	$0,87 \pm 0,56$	$1,96 \pm 0,06$	$1,16 \pm 0,40$	$1,83 \pm 0,11$	$1,76 \pm 0,37$	$1,91 \pm 0,05$	$1,73 \pm 0,64$	$1,92 \pm 0,16$	$0,49 \pm 0,22$	$1,85 \pm 0,11$
ДНК-Экстран-2	$0,60 \pm 0,48$	$1,02 \pm 0,07$	$0,35 \pm 0,14$	$1,30 \pm 0,19$	$0,39 \pm 0,16$	$1,34 \pm 0,25$	$0,27 \pm 0,06$	$1,16 \pm 0,08$	$1,17 \pm 0,08$	$2,02 \pm 0,03$
ГМО-МагноСорб	$0,36 \pm 0,07$	$1,40 \pm 0,07$	$0,39 \pm 0,07$	$1,48 \pm 0,12$	$0,58 \pm 0,245$	$1,46 \pm 0,046$	$1,36 \pm 0,33$	$1,90 \pm 0,21$	$0,21 \pm 0,05$	$1,17 \pm 0,95$
К-Сорб	$0,50 \pm 0,38$	$1,62 \pm 0,20$	$0,25 \pm 0,06$	$1,17 \pm 0,10$	$2,30 \pm 3,50$	$1,75 \pm 0,21$	$0,34 \pm 0,10$	$1,18 \pm 0,08$	$0,37 \pm 0,27$	$1,03 \pm 0,18$



Примечание: М – маркер длин ДНК 1 kb DNA Ladder; 1 – ДНК-Сорб-С-М; 2 – ДНК-Экстран-2; 3 – Сорб-ГМО-Б; 4 – ГМО-МагноСорб; 5 – К-Сорб

Рисунок 3. Электрофореграмма результатов ПЦР с праймерами на 16S рРНК бактерий в 2 % агарозном геле, выделенными пятью коммерческими наборами из козьего молока и продуктов его переработки

Figure 3. PCR electropherogram with primers for bacterial 16S rRNA: 2% agarose gel in goat milk and its products across five identification methods

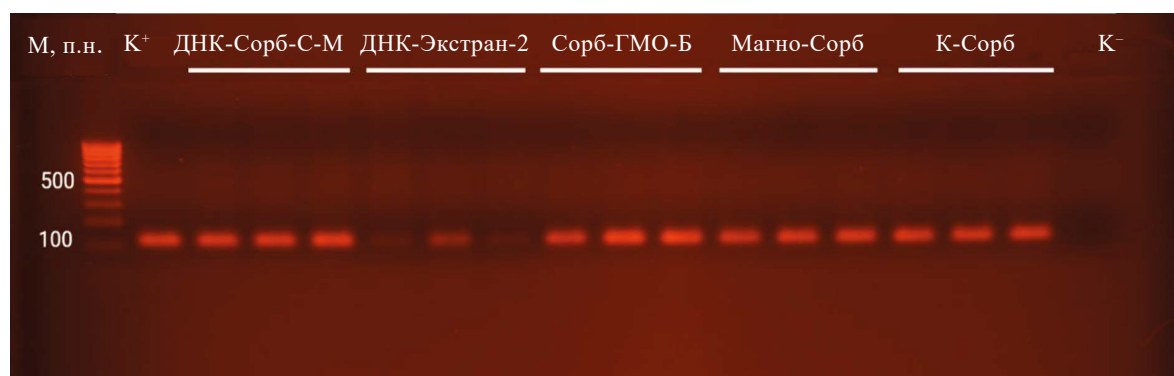


Рисунок 4. Электрофореграмма результатов ПЦР с праймерами для амплификации фрагмента D-петли митохондриальной ДНК козы (*Capra hircus*), выделенной из сухого козьего молока в 2 % агарозном геле пятью коммерческими наборами

Figure 4. PCR electropherogram with primers for amplification of D-loop fragment of *Capra hircus* mitochondrial DNA: goat milk powder in 2% agarose gel across five commercial kits

низкомолекулярных участков генома (рис. 4). Метод, комбинирующий органическую экстракцию и применение кремниевое сорбента (Сорб-ГМО-Б), позволил получить необходимое количество бактериальной ДНК для успешной амплификации и последующей детекции с помощью геле-электрофореза (рис. 3). Это могло быть связано с тем, что фенол эффективно разрушал

и удалял белки, а хлороформ не допускал попадания фенола в водную фазу, благодаря чему получали свободные от потенциальных ингибиторов ПЦР препараты ДНК с высокой степенью чистоты.

Статистическая обработка. В ходе статистического анализа результатов, полученных при выделении ДНК и измерении соотношений оптической плотно-

сти $A_{230/260}$ и $A_{260/280}$, был применен критерий Краскела-Уоллиса (H). Этот метод позволил выявить статистически значимые различия между значениями выхода ДНК, получаемыми при использовании 5 различных методов экстракции из образцов сырого (H = 9,68), пастеризованного (H = 45,89) и сухого (H = 26,60) козьего молока, а также образцов сыра (H = 39,77) и йогурта (H = 23,83). При степени свободы равной 4 и $\alpha = 0,05$ критическое значение χ^2 составило 9,5. Следовательно, нулевая гипотеза (отсутствие различий) отвергалась, т. к. расчетные значения критерия Краскела-Уоллиса больше критического значения ($> 9,5$). Статистический анализ соотношений оптической плотности $A_{260/230}$ показал наличие значимых различий между пятью методами выделения ДНК из образцов сырого (H = 101,60), пастеризованного (H = 57,33), сухого (H = 56,37) козьего молока, сыра (H = 76,41), йогурта (H = 117,84). Нулевая гипотеза, как и в случае со значениями выхода ДНК, отвергалась. Критерий Краскела-Уоллиса, примененный для анализа полученных значений оптической плотности $A_{260/280}$, также показал существенные различия для образцов сырого (H = 89,68), пастеризованного (H = 82,36), сухого (H = 62,75) козьего молока, сыра (H = 77,14), йогурта (H = 109,46). Нулевую гипотезу отвергли.

Выводы

Проведенный анализ выхода и чистоты бактериальной ДНК, полученной с помощью пяти различных методов экстракции, продемонстрировал эффективность лишь некоторых методов для работы с пищевыми матрицами из козьего молока. При исследовании образцов сухого козьего молока выявлено, что только один

из пяти методов – органическая экстракция с осаждением ДНК на кремниевом сорбенте – позволял успешно извлекать высокомолекулярную ДНК для последующей постановки ПЦР и визуализации в агарозном геле. Этот метод также показал лучшие результаты при работе с другими проанализированными продуктами из козьего молока. Близкие результаты показал метод, использующий осаждение ДНК на кремнеземном сорбенте без органической экстракции. Полученные данные говорят о возможности улучшения результатов экстракции путем внесения модификаций в стандартные протоколы, которые учитывали бы специфику молочных продуктов.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку универсальных протоколов, совместимых с автоматизированными системами, а также на тестирование методов для новых категорий продукции.

Критерии авторства

Авторы в равной степени принимали участие в исследовании, написании и оформлении рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The authors are equally responsible for the research and manuscript.

Conflict of interest

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

Список литературы / References

1. Ход достижения целей в области устойчивого развития. Организация Объединенных Наций. Генеральная Ассамблея Экономический и Социальный совет. [Progress towards achieving the sustainable development goals. United Nations. The General Assembly and Economic and Social Council. [cited 2024 Oct 03]. (In Russ.)] Available from: <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2024/secretary-general-sdg-report-2024--RU.pdf>
2. Grosso G, Mateo A, Rangelov N, Buzeti T, Birt C. Nutrition in the context of the sustainable development goals. *European Journal of Public Health*. 2020;30(1):i19–i23. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckaa034>
3. Dairy's impact on reducing global hunger. IFCN Dairy Research Network. [cited 2024 Oct 03]. Available from: <https://ifcndairy.org/dairys-impact-on-reducing-global-hunger/>
4. Глазунова О. А., Моисеенко К. В., Бегунова А. В., Рожкова И. В., Федорова Т. В. Функциональные свойства и особенности генома заквасочных пробиотических культур лактобактерий. *Актуальная биотехнология*. 2022. № 1. С. 73–77. [Glazunova OA, Moiseenko KV, Begunova AV, Rozhkova IV, Fedorova TV. Lactobacilli starter probiotic cultures: Functional and genomic properties. *Topical biotechnology*. 2022;(1):73–77. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/SLTOBG>
5. Юрова Е. А., Фильчакова С. А., Жижин Н. А. Применение метода ПЦР-анализа для определения видового состава молочного сырья. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2020. № 6. С. 16–25. [Yurova EA, Filchakova SA, Zhizhin NA. Use of PCR-analysis methods for evaluating composition and properties of milk and dairy products. *Izvestiya of Timiryazev agricultural academy*. 2020;(6):16–25. (In Russ.)] <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-6-16-25>
6. Юрова Е. А., Жижин Н. А., Фильчакова С. А. Применение молекулярно-генетических методов анализа для идентификации видовой принадлежности сырьевого состава пищевой продукции. *Вестник МГТУ*. 2020. Т. 23. № 3. С. 214–223. [Yurova EA, Zhizhin NA, Filchakova SA. Molecular genetic methods of analysis to identify the species affiliation of the raw material composition in food products. *Vestnik of MSTU*. 2020;23(3):214–223. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/HUZYAY>

7. Лазарева Е. Г., Хан А. В., Фоменко О. Ю. Исследование методов экстракции ДНК из сырого молока. *Молочная промышленность*. 2023. № 5. С. 115–116. [Lazareva EG, Khan AV, Fomenko OYu. Research of methods of DNA extraction from raw milk. *Dairy Industry*. 2023;(5):115–116. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/1019-8946-2023-5-8>
8. Usman T, Yu Y, Liu C, Fan Z, Wang Y. Comparison of methods for high quantity and quality genomic DNA extraction from raw cow milk. *Genetics and Molecular Research*. 2014;13(2):3319–3328. <https://doi.org/10.4238/2014.April.29.10>
9. Benitez-Velásquez M, Cabrera R, Ríos-Tobón S, Isaza JP, Gutiérrez LA. Assessment of four different DNA extraction methodologies for the molecular detection of phage λ and *Bacillus* sp. in raw bovine milk samples. *International Dairy Journal*. 2024;151:105862. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105862>
10. Abdelhamed MFM, Zaid RH, Ibrahim MT, Almansoori AE. Magnetic beads carried over in extracted DNA elution from mastitis cow milk. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2024;13(1):73–80. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2024.1301.009>
11. d'Angelo F, Santillo A, Sevi A, Albenzio M. Technical note: A simple salting-out method for DNA extraction from milk somatic cells: Investigation into the goat CSN1S1 gene. *Journal of Dairy Science*. 2007;90(7):3550–3552. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0149>
12. Liu YF, Gao JL, Yang YF, Ku T, Zan LS. Novel extraction method of genomic DNA suitable for long-fragment amplification from small amounts of milk. *Journal of Dairy Science*. 2014;97(11):6804–6809. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8066>
13. Amills M, Francino O, Jansa M, Sanchez A. Isolation of genomic DNA from milk samples by using Chelex resin. *Journal of Dairy Research*. 1997;64(2):231–238. <https://doi.org/10.1017/s0022029997002161>
14. Goat milk product market overview, 2023–28. Research and Markets. The World's Largest Market Research Store. [cited 2024 Oct 03]. Available from: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5853411/goat-milk-product-market-overview-28d>
15. ALKaisy QH, Al-Saadi JS, Al-Rikabi AKJ, Altemimi AB, Hesarinejad MA, *et al.* Exploring the health benefits and functional properties of goat milk proteins. *Food Science & Nutrition*. 2023;11(10):5641–5656. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3531>
16. Marsh AJ, O'Sullivan O, Hill C, Ross RP, Cotter PD. Sequencing-based analysis of the bacterial and fungal composition of kefir grains and milks from multiple sources. *PLOS One*. 2013;8(7):e69371. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069371>
17. Bhoyar L, Mehar P, Chavali K. An overview of DNA degradation and its implications in forensic caseworks. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*. 2024;14:15. <https://doi.org/10.1186/s41935-024-00389-y>
18. Хан А. В., Коваль Д. Д., Лазарева Е. Г., Фоменко О. Ю. Сравнительный анализ симплексной и дуплексной ПЦР для выявления фальсификации козьего молока и продуктов его термической обработки. *Food Metaengineering*. 2024. Т. 2. № 3. С. 12–24. [Khan AV, Koval DD, Lazareva EG, Fomenko OYu. Comparative analysis of simplex and duplex PCR for detection of adulteration of goat milk and its heat-treated products. *Food Metaengineering*. 2024;2(3):12–24. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37442/fme.2024.3.63>
19. Huang X, Duan N, Xu H, Xie TN, Xue YR, и др. Выделение ДНК из грибов с высоким содержанием полисахаридов с использованием CTAB-PEG. *Молекулярная биология*. 2018. Т. 52. № 4. С. 718–726. [Huang X, Duan N, Xu H, Xie TN, Xue YR, *et al.* CTAB-PEG DNA extraction from fungi with high contents of polysaccharides. *Molecular Biology*. 2018;52(4):718–726. (In Russ.)] <https://doi.org/10.1134/S0026898418040080>
20. Lick S, Keller M, Bockelmann W, Heller KJ. Optimized DNA extraction method for starter cultures from yoghurt. *Milchwissenschaft*. 1995;51(4):183–186.

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2582>
<https://elibrary.ru/GGXUJC>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Потребительская геномика: роль в персонализации питания



А. Ю. Просеков^{ORCID}, А. Д. Веснина^{ORCID}*, Н. А. Любимова,
Д. Ю. Чекушкина^{ORCID}, Е. С. Михайлова^{ORCID}

Кемеровский государственный университет^{ROR}, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 24.03.2025
Принята после рецензирования: 30.04.2025
Принята к публикации: 06.05.2025

А. Д. Веснина: koledockop1@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-4552-7418>
А. Ю. Просеков: <https://orcid.org/0000-0002-5630-3196>
Д. Ю. Чекушкина: <https://orcid.org/0009-0002-3826-8048>
Е. С. Михайлова: <https://orcid.org/0000-0002-0673-0747>

© А. Ю. Просеков, А. Д. Веснина, Н. А. Любимова,
Д. Ю. Чекушкина, Е. С. Михайлова, 2025



Аннотация.

Развитие omics-технологий открыло потребителям доступ к персонализированному подходу по профилактике заболеваний, что привело к росту спроса на коммерческое генетическое тестирование без консультирования врачей (потребительская геномика), в том числе нутригенетическое. Персонализация питания (с учетом генетических, фенотипических, климат-географических и экологических данных), по сравнению с общепринятыми универсальными диетическими рекомендациями, является эффективным профилактическим средством. Целью данной работы являлось изучение пути развития потребительской геномики с акцентом на нутригенетическое тестирование, которое используется для формирования персонализированных рационов питания.

В ходе работы проводился систематический обзор научной (на базе PubMed, ScienceDirect, eLIBRARY.RU) и научно-популярной литературы, а также маркетинговых отчетов. Глубина поиска с 2020 по 2025 гг. При изучении библиографических ссылок обнаружены и включены работы с 2012 г., посвященные тематике данного исследования.

Выделены основные этапы в развитии геномики человека, стимулирующие появление персонализированного питания как примера потребительской геномики. Описаны основные причины популяризации и особенности российского рынка точного питания. Рассмотрены нутригенетика, нутригеномика, использование данных полногеномных ассоциативных исследований, расчеты полигенного индекса риска, эпигенетика, метаболомика в исследованиях микробиома потребителей. Подчеркнута роль биоинформатики и машинного обучения в обработке и интерпретации персонализированных данных. Знание своих генетических рисков значительно повышает мотивацию потребителей к изменению образа жизни. Рассмотрены передовые зарубежные и российские компании в области генетических исследований и персонализации питания. Затронута проблема нормативно-правового регулирования, отсутствующего контроля генетического тестирования компаниями direct-to-consumer.

Персонализация питания возможна благодаря грамотному использованию междисциплинарных достижений, соблюдению этических норм, а также при исполнении и расширении нормативно-правовой основы. Однако для внедрения персонализированного питания в область здравоохранения необходимы доклинические и клинические исследования.

Ключевые слова. Генетика, генетическое тестирование, omics-технологии, нутригенетика, персонализированное питание, диета, нутригеномика, здоровье

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Исследование потенциала ростостимулирующих бактерий для повышения агрономической биофортификации пшеницы» (шифр FZSR-2024-0009).

Для цитирования: Просеков А. Ю., Веснина А. Д., Любимова Н. А., Чекушкина Д. Ю., Михайлова Е. С. Потребительская геномика: роль в персонализации питания. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 400–415. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2582>

Consumer Genomics in Personalized Nutrition



Alexander Yu. Prosekov^{ID}, Anna D. Vesnina*^{ID},
Nadezhda A. Lyubimova, Darya Yu. Chekushkina^{ID},
Ekaterina S. Mikhailova^{ID}

Kemerovo State University^{ROR}, Kemerovo, Russia

Received: 24.03.2025

Revised: 30.04.2025

Accepted: 06.05.2025

*Anna D. Vesnina: koledockop1@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0002-4552-7418>

Alexander Yu. Prosekov: <https://orcid.org/0000-0002-5630-3196>

Darya Yu. Chekushkina: <https://orcid.org/0009-0002-3826-8048>

Ekaterina S. Mikhailova: <https://orcid.org/0000-0002-0673-0747>

© A.Yu. Prosekov, A.D. Vesnina, N.A. Lyubimova, D.Yu. Chekushkina,
E.S. Mikhailova, 2025



Abstract.

Omics technologies give consumers access to personalized disease prevention. Today, commercial genetic testing is very popular. For instance, nutrigenetic testing requires no medical consultation or prescription. Personalized nutrition is an informed diet choice based on genetic, phenotypic, climatic, geographical, and environmental data. It is a more effective preventive measure than standard dietary recommendations. This article describes the state and prospects of consumer genomics with an emphasis on nutrigenetic testing as a basis for personalized dietary choice.

The review covered scientific publications registered in PubMed, ScienceDirect, and eLIBRARY.RU in 2012/2020–2025, as well as popular science literature and marketing reports.

The development of human genomics had passed through several stages before it gave start to personalized nutrition as part of consumer genomics. Its popularization on the Russian nutrition market has its own peculiarities. The topic field includes such aspects as nutrigenetics, nutrigenomics, genome-wide association studies, polygenic risk index, epigenetics, and metabolomics of microbiome. The bioinformatics and machine learning help to process and interpret personalized data. Genetic risks awareness increases the motivation for healthier lifestyle choices. While the field of genetic research and personalized nutrition is run by some foreign and Russian direct-to-consumer companies, legal regulation remains a vague issue in this sphere.

Personalized nutrition requires a competent use of interdisciplinary achievements combined with ethical standards and regulatory norms. However, serious preclinical and clinical studies are needed to introduce personalized nutrition into the state healthcare system.

Keywords. Genetics, genetic testing, omics technologies, nutrigenetics, personalized nutrition, diet, nutrigenomics, health

Funding. The work was carried out within the framework of the state task on the topic “Research of the potential of growth-stimulating bacteria to increase the agronomic biofortification of wheat” (code FZSR-2024-0009)

For citation: Prosekov AYu, Vesnina AD, Lyubimova NA, Chekushkina DYu, Mikhailova ES. Consumer Genomics in Personalized Nutrition. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):400–415. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2582>

Введение

Неправильное питание и недостаточная физическая активность рассматриваются как основные факторы риска развития социально-значимых заболеваний, таких как сахарный диабет 2 типа, ожирение, сердечно-сосудистые заболевания, многие виды рака и др. Поэтому востребованы мероприятия, направленные на улучшение и поддержание здоровья через правильный образ жизни и питание. Большинство современных стратегий по снижению риска развития заболеваний основаны на универсальных общепринятых диетических рекомендациях [1]. Несмотря

на все реализуемые мероприятия, отмечается ежегодный рост числа зарегистрированных случаев заболеваний (рис. 1). Следовательно, имеется необходимость усовершенствования стратегии правильного питания.

Благодаря современному развитию науки и техники, понятие правильное питание можно трактовать как персонализированное (точное питание) [3]. Это рацион, подобранный с учетом индивидуальных особенностей (антропометрические данные, текущее состояние здоровья и генетические особенности организма [4–7]) потребителя и его личных



Рисунок 1. Заболеваемость населения социально-значимыми заболеваниями, связанными с питанием (составлено на основе данных Минздрава России [2]): а – динамика социально-значимых заболеваний, тыс. человек; б – заболеваемость населения в 2023 г., тыс. человек

Figure 1. Nutrition-related socially significant diseases (Russian Ministry of Health [2]): а – dynamics, thousand people; б – incidence in 2023, thousand people

предпочтений. В последнее время для данного рациона изучают состояние микробиоты желудочно-кишечного тракта. Персонализированное питание как часть концепции 4П (персонализация, превентивность, предикция, партисипативность) в здравоохранении является более эффективным профилактическим средством, чем универсальные диетические рекомендации [8–13].

Для персонализации питания необходимо проведение генетического тестирования. Изучение генетики человека поддерживалось передовыми технологиями секвенирования и полимеразной цепной реакции, которые позволили приблизиться к пониманию взаимосвязи между генетическими особенностями и здоровьем человека [14]. Изучение генетических особенностей – важный этап в концепции 4П в здравоохранении [15]. С развитием науки и техники генетическое тестирование становится более доступным для потребителей, заинтересованных в поддержании своего здорового состояния. Сегодня на рынке представлено относительно большое количество российских и зарубежных компаний, работающих в сфере генетического тестирования с целью персонализации питания. Этим занимается генетика питания, которая подразделяется на нутригенетику, изучающую воздействие генетических особенностей на метаболизм нутриентов, и нутригеномику, рассматривающую влияние нутриентов на экспрессию генов [8, 12, 16, 17].

Целью данной работы является изучение пути развития потребительской геномики с акцентом на нутригенетическое тестирование, используемое для формирования персонализированных рационов питания.

Для реализации поставленной цели выделены задачи:

1. Изучить путь развития геномики с акцентом на персонализацию питания и состояние рынка генетических исследований.
2. Изучить особенности omics-методов, используемых в персонализации питания.
3. Рассмотреть влияние информации о генетических рисках на поведение потребителя в отношении своего образа жизни (в частности питания).
4. Определить компании, занимающиеся генетическим тестированием с целью персонализации.

Авторам статьи не удалось найти научные работы, в которых данные задачи рассматривались в совокупности для персонализации питания, что составляет новизну данного исследования.

Результаты, полученные в ходе данного систематического обзора, станут основой для формирования методик и подходов к персонализации рациона с целью профилактики населения.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись научно-популярные и научные статьи, а также маркетинговые отчеты. Поиски научных статей осуществлялись на ресурсах

PubMed, ScienceDirect и научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU. Статьи, включенные в данный обзор, опубликованы на английском и русском языках. Ключевые слова поиска: direct-to-consumer, personal genetic, генетическое тестирование, нутригенетическое тестирование, персонализированное питание, точное питание, потребительская геномика, генетика человека. Глубина поиска с 2020 по 2025 гг. Однако, изучая библиографические ссылки научных работ, были найдены публикации, посвященные тематике данного исследования, опубликованные с 2012 г., которые также включены в настоящий обзор.

Для оценки современного состояния рынка генетических технологий, нутригенетического тестирования и персонализированного питания использовались ресурсы, содержащие научно-популярные статьи и маркетинговые отчеты (Русбейс (Rb.ru), Mordor Intelligence Source, SmartConsult, Verified Market Reports, Nebula Genomics).

Результаты и их обсуждение

Путь развития геномики человека, с акцентом на персонализацию питания. Рыночная оценка. В ходе анализа научной литературы установлены этапы в развитии геномики человека, которые влияют на доступность и популяризацию концепции 4П в области здравоохранения (рис. 2).

Развитие генетики человека привело к повышенному вниманию к персонализированной медицине и к персонализированному питанию. Данный интерес обусловлен популяризацией здорового образа жизни и публикацией прорывных научных данных. Успешная реализация проекта «Геном человека» способствовала возникновению исследований в области персонализированных подходов к питанию. С 2000 гг. в США и странах Европы началось активное развитие гене-

тики питания (нутригеномики и нутригенетики). Несмотря на сформированную базу знаний о типе нутриента и его воздействие на организм потребителя и о генетических особенностях и их влиянии на метаболизм нутриентов, не удалось разработать подход, который позволил бы учитывать все эти данные и формировать эффективный персонализированный рацион [14, 20].

В России услуга по персонализации питания появилась в 2003 г. В научной литературе не найдена информация о развитии российской геномики человека в период с 2003 по 2019 гг. С 2019 г. действует Постановление № 479 «Об утверждении Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий на 2019–2027 гг.», основной целью которого является ускоренное развитие российских генетических технологий.

На сегодняшний день российский рынок генетического тестирования, по сравнению с зарубежными компаниями США и стран Европы, находится на стадии внедрения. Сегмент рынка генетического тестирования в США составляет $\approx 7,6$ млрд долл. в год, в России – ≈ 200 млн руб. в год [21]. Согласно данным аналитиков, в пятилетней перспективе российский рынок ждет интенсивный рост от 12 до 15 % в год, объем рынка по итогам 2025 г. составит не менее 65 млн долл. [22]. По данным аналитиков мировой рынок персонализированного питания активно растет. Они прогнозируют рост с 8,2 млрд долл. с 2022 г. до 16,4 млрд долл. в 2025 г. [20].

Тенденция роста российского рынка персонализированного питания через генетическое тестирование связана с тем, что [22]:

1. Данная услуга становится доступной для людей с высоким и средним уровнем дохода, которые хотят проанализировать свои индивидуальные особенности и контролировать здоровье.

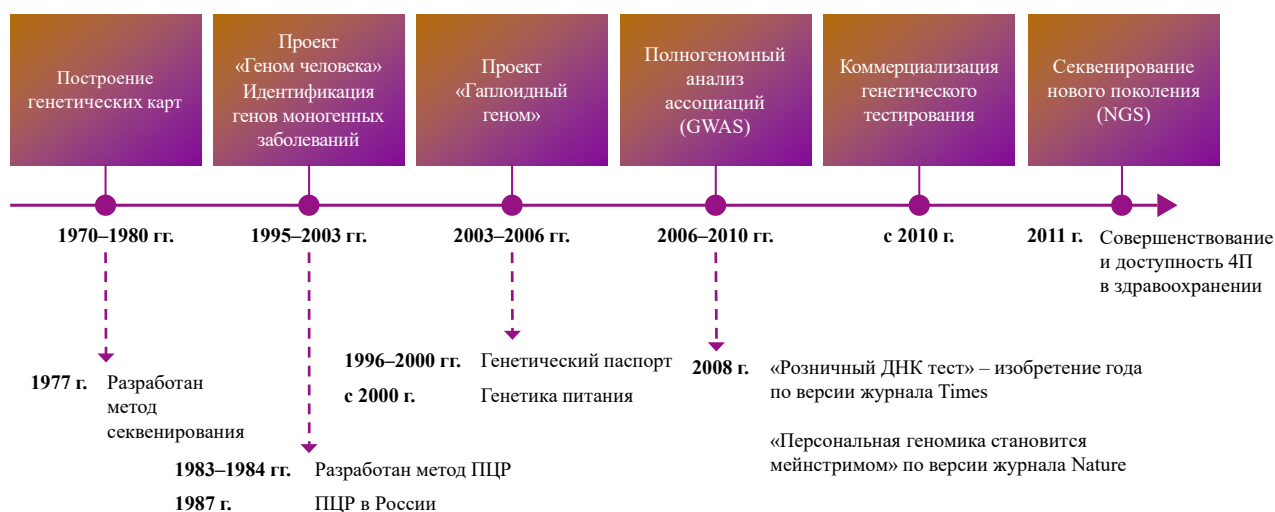


Рисунок 2. Развитие геномики человека, стимулирующей доступность 4П в области здравоохранения [14, 18, 19]

Figure 2. Human genomics as a driver of marketing mix in healthcare [14, 18, 19]

2. Растет осведомленность населения о возможностях персонализированного питания, генетического тестирования и их важной роли в профилактике заболеваний.

3. Государство проявляет больший интерес – утверждение Федеральной научно-технической программы развития генетических технологий на 2019–2027 гг., формирование центров геномных исследований мирового уровня по биобезопасности, медицине, сельскому хозяйству и промышленности (на базе Роспотребнадзора, Курчатовского института и Института молекулярной биологии им. В. А. Энгельгардта Российской академии наук) (по информации Министерства науки и высшего образования Российской Федерации). Благодаря государственной инициативе, ярким примером успешной реализации которой является «100 000+Я» (ООО «Биотек кампус», Москва), создаются генетические базы данных населения.

4. Зарубежные компании уходят с российского рынка.

Внутренний рынок генетических технологий состоит из сегментов: генетика в онкологии (диагностика наследственных форм рака, определение маркеров патогенеза опухоли и маркеров чувствительности к лекарственным препаратам); генетика в пренатальной диагностике (анеуплоидий, определение резус-фактора и пола ребенка по крови матери); предимплантационная диагностика эмбрионов при ЭКО; потребительская геномика (косметология, диетология, фитнес и спорт, происхождение).

Особенность российской персонализации питания как части генетического тестирования заключается в том, что с законодательной точки зрения этот сегмент рынка относится к «развлекательным», а не к медицинским услугам [23]. Данное отношение негативно сказывается на восприятии потребителями – возникает мнение о «шарлатанстве». Следовательно, необходимо тесное взаимодействие с наукой. Это требует проведения доклинических и клинических исследований, проверяющих целесообразность назначенных персональных диетических рекомендаций, а также исследований, изучающих использование определенных пищевых компонентов и продуктов для профилактики социально-значимых заболеваний.

Одним из ключевых факторов, замедляющих развитие рынка, является недостаток высококвалифицированных кадров. В частности, необходимы специалисты в области молекулярной биологии, генетики, диетологии, биоинформатики и др. [24]. Стоимость российских услуг по персонализации рациона и генетическое тестирование в 2–3 раза выше, чем в США и странах Запада, что связано с высокой зависимостью рынка от зарубежного оборудования, реактивов, экономической нестабильности в стране и ослаблением национальной валюты [22]. Но, несмотря на ряд ограничений, потенциал роста рынка генетических исследований растет.

Особенности omics-методов, используемых в персонализации питания. Персонализация рациона представляет собой актуальный подход к профилактике метаболических заболеваний, учитывающий индивидуальные реакции на продукты питания. Для подбора такого рациона необходимо принимать во внимание индивидуальные особенности потребителя [25].

Учет индивидуальных особенностей возможен благодаря omics-технологиям (эпигеномика, транскриптомика, протеомика, метаболомика) [13, 26] и на сегодняшний день включает в себя изучение генетических, фенотипических особенностей, образа жизни и состояния микробиоты желудочно-кишечного тракта [9, 27]. В работе S. Bashiardes *et al.* [25] показано, что причинами различной реакции людей на употребление одного и того же продукта являются геном и микробиом.

Учет состояния микробиома потребителя важен, так как ряд микроорганизмов участвует в симбиотической связи с организмом-хозяина, регулируя ряд его функций и здоровое состояние [13, 25]. На долю микробиома организма-хозяина приходится более 3 млн генов. Гены микробиоты кодируют различные микробные метаболиты, которые влияют на фенотип, метаболизм и усвоение пищи [13, 28]. Гомеостаз кишечной микробиоты зависит от физиологии организма, окружающей среды и колебаний в рационе. Состав и активность микробиоты кишечника различаются у людей с ожирением, диабетом и здоровых людей. Изменения микробиоты, которые связаны с этими заболеваниями, часто обратимы при коррекции питания. Данный факт объясняется тем, что диета и время приема пищи являются определяющими факторами в формировании состава микробиоты и экспрессии генов. Для изучения микробиоты и ее влияния на здоровье организма-хозяина используют метагеномный анализ. Однако для успешного и эффективного применения данных о микробиоме и способов нормализации его состояния через систематический прием функциональных пищевых продуктов и биологически активных добавок необходимы доклинические и клинические исследования [29–31].

В проведенных работах показано, что наиболее изучаемыми генетическими особенностями в персонализации рациона являются однонуклеотидные полиморфизмы (SNP) генов, ответственных за метаболизм углеводов и жиров, за пищевую непереносимость, за метаболизм витаминов, за вкусовые ощущения, детоксикацию и защиту от окислительного стресса [8, 32]. Исследования глобальной геномной вариации человека продемонстрировали резкие различия в популяционных частотах аллелей общих SNP. Следовательно, у людей разной популяции, проживающих на одной и той же территории, будут отличаться метаболические реакции на один и тот же продукт / нутриент [33].

Одним из первых успешных применений персонализированного питания с использованием нутригенетического тестирования была профилактика /

минимизация проявлений моногенных заболеваний, таких как фенилкетонурия (мутация в гене *PAH*), галактоземия (мутации в генах *GALT*, *GALK1*, *GALE*) и др. Например при фенилкетонурии, людям с мутациями в гене, кодирующем фермент для переработки фенилаланина, требуется строгая диета, ограничивающая потребление фенилаланина и тирозина [14, 34]. Единственными способами лечения данных заболеваний является вмешательство в рацион – ограничение употребления пищевых компонентов. Однако такой подход не подходит для полигенных и многофакторных заболеваний (рак, сахарный диабет, сердечно-сосудистые заболевания, ожирение) [25].

Персонализированное питание особенно актуально в профилактике многофакторных заболеваний, то есть заболеваний, развитие которых зависит от сочетания генетических факторов (онкология, ожирение, сердечно-сосудистые и прочие метаболические заболевания), образа жизни, климатогеографических и экологических особенностей. Оценка генетического риска развития этих заболеваний представляет собой сложную задачу. Полигенные оценки риска или полигенный индекс риска (polygenic risk scores, PRSs) – это показатель генетической предрасположенности человека к определенному сложному признаку, рассчитанный путем объединения информации о множестве генетических вариантов (в данном случае SNP), связанных с этим признаком [35]. Для точного расчета PRSs необходимо учитывать не только генетические факторы,

но и эффекты влияния окружающей среды, образа жизни и физической активности. В результате PRSs рассчитывают, как взвешенную сумму количества генетических вариантов рисков (аллелей риска) развития заболеваний (для выбранного набора локусов), используя данные полногеномных ассоциативных исследований (genomewide association studies, GWAS) (рис. 3) [36–38].

Полученные результаты генетического тестирования сравнивают с данными GWAS для установки возможной связи SNP с рассматриваемым заболеванием [36–39]. Выявление GWAS осуществляется с помощью статистического анализа, методов машинного обучения путем сравнения геномов двух групп (больных и здоровых людей) [35].

В работе S. Singar *et al.* [40] представлены технологии, которые используются в персонализированном питании (табл. 1).

В рамках персонализации питания активно применяются современные технологии и подходы. В работе D. Zeevi *et al.* [41] представлен алгоритм машинного обучения, объединяющий многочисленные клинические параметры крови и данные о микробиоте кишечника для точного прогнозирования постпрандиальной реакции глюкозы в крови на приемы пищи на индивидуальном уровне.

R. Zenun Franco *et al.* [42] изучили эффективность мобильного веб-приложения (eNutri), которое предоставляет автоматизированные рекомендации по персо-



Рисунок 3. Открытия, предшествующие появлению GWAS. Преимущества и недостатки метода [38]

Figure 3. Pre-GWAS discoveries: advantages and disadvantages [38]

Таблица 1. Технологии, используемые при персонализации питания

Table 1. Personalized nutrition technologies

Технология	Описание	Применение	Преимущества	Ограничения
Секвенирование	Анализ генетических особенностей	Установление генетической предрасположенности	Высокая точность	Высокая стоимость
Датчики (фитнес-браслеты, глюкометр, пульсоксиметр, весы и др.)	Мониторинг физической активности и показателей здоровья	Мониторинг факторов образа жизни	Получение и фиксирование результатов в реальном времени	Проблемы конфиденциальности; «забычивость» потребителя
Биоинформатическая обработка данных	Интерпретация полученных данных	Интеграция мультиомических данных	Комплексный анализ, комплексная интерпретация	–
Искусственный интеллект и машинное обучение	Прогнозирование результатов для здоровья	Индивидуальная разработка планов питания	Прогностические возможности	Этические проблемы
Мобильные приложения для здоровья	Предоставление рекомендаций по питанию	Привлечение пользователей к изменению рациона питания	Удобство использования	«Забычивость» потребителя

нализированному питанию для улучшения качества рациона, по сравнению с рекомендациями по питанию для населения в целом. Диетические изменения оценивались с помощью веб-приложения eNutri, использующего валидированный полуколичественный опросник частоты потребления пищи (FFQ). Также учитывался вес, индекс массы тела и физическая активность пользователей. В исследовании, представляющем результаты 12-недельного рандомизированного контролируемого эксперимента, направленного на изменение питания с помощью автоматически генерируемых персонализированных рекомендаций, приняли участие 187 человек. Результаты показали, что персонализированные рекомендации приложения значительно эффективнее обобщенных советов в улучшении качества питания.

В работе E. M. Barrett *et al.* [43] представлена система профилирования нутриентов, которая точно оценивает полезность различных пищевых продуктов – Food Compass 2.0.

При разработке персонализированных рационов важны исследования, направленные на оценку реакции потребителей на различные диетические вмешательства. Проведение данных исследований возможно за счет не только секвенирования, но и нутригеномики, эпигенетики и достижений метаболомики. Метаболомика изучает метаболиты (массой менее 1500 Д.) в различных биологических жидкостях, тканях, клетках, тем самым оценивая различные реакции организма на определенное диетическое вмешательство, и взаимосвязи между различными диетами и факторами риска заболеваний. Эпигенетика, в частности пищевая эпигенетика, изучает влияние нутриентов на экспрессию генов. Определенные эпигенетические изменения (метилирование ДНК, модификация гистонов и др.)

могут привести к развитию метаболического синдрома (ожирение, сердечно-сосудистые заболевания, диабет и др.) [44]. Ряд исследований показал, что определенные диетические вмешательства способны вызывать эпигенетические изменения, т. е. влиять на развитие ряда заболеваний. Однако для успешного использования полученных результатов в области персонализации необходимо получение доказательной базы – проведения доклинических и клинических исследований [13, 17, 45].

Влияние информации о генетических рисках на поведение потребителя по отношению к своему образу жизни. Некоторые ученые придерживаются мнения о том, что положительный эффект персонализации питания связан не с медицинской пользой, а с психоэмоциональным состоянием и вовлеченностью потребителя. Существует гипотеза о том, что потребитель более серьезно вовлечен в изменение своего пищевого поведения и придерживается назначенной диеты, зная свои персональные риски [13]. Для подтверждения поставленной гипотезы авторами получены противоречивые результаты.

В работе R. Jinnette *et al.* [3] представлены результаты систематического обзора рандомизированных исследований, оценивающие влияние персонализированных рекомендаций (по данным оценки фенотипа и генотипа) на пищевое поведение взрослого населения (от 18 до 79 лет), не имеющего хронических заболеваний. В ходе обзора установлено, что в 8 из 11 исследований участники, получившие результаты оценки своих персональных особенностей, сообщили о положительных изменениях в рационе.

C. S. Bloss *et al.* [46] у участников исследования не выявили статистически значимых изменений в рационе питания или физической активности в течение

3 и 12 месяцев наблюдений после получения результатов генетического тестирования.

В рандомизированном контролируемом испытании Food4Me было установлено, что персонализированные рекомендации по питанию более эффективно улучшают пищевое поведение потребителей, чем традиционные рекомендации [1]. В исследовании приняли участие 1540 человек из семи европейских стран. Средний возраст участников составил 39,8 лет (диапазон 18–79 лет), 59 % из них – женщины, средний ИМТ – 25,5 кг/м². Завершили исследование 1269 человек. В течение 6 месяцев испытуемые придерживались назначенной диеты (0 группа – не персонализированная диета, основанная на массе тела и физической активности; 1 группа – персонализированная диета, основанная на индивидуальных диетических рекомендациях; 2 группа – персонализированная диета, основанная на индивидуальных диетических рекомендациях и фенотипических данных; 3 группа – персонализированная диета, основанная на индивидуальных диетических рекомендациях, фенотипических и генетических данных). По истечении срока у участников оценивали антропометрические показатели, биохимию крови через 3 месяца. Несмотря на положительные изменения пищевого поведения, не были получены доказательства о влиянии на антропометрические, биохимические показатели персонализированных рекомендаций в большей или меньшей степени.

В исследовании R. Fallaize *et al.* [47] затрагивается проблема снижения мотивации к ведению здорового образа жизни при получении генетических результатов о минимальных рисках развития заболеваний. Однако наличие мотивации не всегда побуждает потребителей к активным действиям. При интерпретации результатов необходимо учитывать возможность снижения мотивации к здоровому образу жизни. Это подчеркивает важность индивидуального подхода и контроля со стороны квалифицированного медицинского специалиста.

В ходе проведения обзора авторами установлено, что в научной сфере преобладают обзорные статьи, а не те, которые описывают доклинические и клинические испытания о пользе персонализированных рационов и биологически активных добавок, а также найдено ограниченное количество публикаций, посвященных клиническим испытаниям персонализированного питания.

Пример внедрения персонализированного питания в России – проект «Персонализированная медицина», осуществленный учеными из ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи» и АО «Сибирская угольная энергетическая компания» [14, 48].

В работе G. Bianchetti *et al.* [49] удалось доказать, что персонализированный подход к питанию, основанный на анализе генетических и антропометрических особенностей, уровня физической активности и данных микробиома, эффективен для оздоровления организма и микробиоты участников исследования.

Персонализированные рекомендации (тип диеты с определенным содержанием макро- и микронутриентов) приводили к изменениям в потреблении пищи, весе, индексе массы тела, частоте сердечных сокращений, режиме сна и бодрствования, а также в составе микробиома испытуемых. Исследование подтвердило влияние продуктов (лимонный сок, зеленый чай, какао), богатых антиоксидантами, на борьбу с окислительным стрессом.

Несмотря на все преимущества персонализированного питания, в научной литературе отсутствуют работы, напрямую сравнивающие стратегии правильного и персонализированного питания. Также не были найдены результаты социологических исследований, изучающих мотивацию и изменения в организме лиц, длительно придерживающихся персонализированного питания, или причины отказа от него. Предположительно, причины несоблюдения персонализированного питания схожи с причинами несоблюдения правильного питания: отсутствие привычки, времени [50].

Компании, занимающиеся генетическим тестированием и персонализацией рациона. Количество компаний, оказывающих услуги генетического тестирования (в частности нутригенетического тестирования), растет. Данное явление связано со снижением затрат на генотипирование, секвенирование и с информированностью населения о важности персонализации для здоровья [8]. Выделяют несколько типов генетического тестирования [51–53]: тесты для выявления моногенных заболеваний; тесты для оценки рисков развития социально-значимых заболеваний (нейродегенеративные, онкологические и сердечно-сосудистые) – многофакторных заболеваний; тесты на установление этнического происхождения и генетическую родословную; нутригенетические тесты, изучающие влияние генетических особенностей на потребность организма в определенных нутриентах; фармакогенетическое тестирование.

Особую популярность приобрели услуги генетического тестирования, предоставляемые напрямую потребителю (direct-to-consumer, DTC – в англоязычной литературе; прямое потребительское генетическое тестирование (ППГТ) – в российской) [54]. Данные услуги осуществляются без назначения, помощи и прочего взаимодействия со специалистом в сфере медицины, т. е. в интерпретации результатов не принимает участие человек с медицинским и / или образованием в области генетики.

Для получения услуги по генетическому тестированию потребителю необходимо [55]: оформить онлайн-заказ на услугу через сайт; получить набор для сбора биоматериала (буккального эпителия или слюны) – конверт, в котором находится стерильный зонд-тампон; соблюдая инструкцию, собрать биоматериал и отправить его компании; получить результаты (готовый отчет).

Компании по персонализации рациона осуществляют свою деятельность онлайн через сайт. В основном



Рисунок 4. Документы, составляющие нормативно-правовую основу генетических исследований в России [59, 60]

Figure 4. Legal regulation of genetic research in Russia [59, 60]

данные компании изучают SNP – изменения одного нуклеотида по отношению к референсной последовательности генома человека [8]. Услуга по генетическому, в частности нутригенетическому, тестированию не имеет общепринятого протокола и отсутствует контроль за качеством оказываемых услуг. Следовательно, не установлен определенный перечень генетических маркеров, интерпретация которых является основой персонализированных рекомендаций по питанию [4]. Однако выделяют три критерия, которым должны соответствовать генетические тесты [56] – аналитическая валидность, клиническая валидность, клиническая полезность.

В научной литературе описаны ограничения применения методов генетического тестирования, используемых в формате DTC [57]: ограниченная клиническая обоснованность генетических ассоциаций с заболеваниями; имеющиеся различия в оценках генетического риска; неопределенная клиническая значимость для некоторых SNP.

Концепция DTC – предоставление потребителям результатов без консультации со специалистом – может привести к неправильной интерпретации полученных результатов, ненадлежащей корректировке питания, физической активности и др. Данные ограничения могут повлиять на формирование у потребителей негативного мнения о генетическом тестировании и его роли в обеспечении здорового состояния организма. Интерес представляет изучение психологи-

ческого воздействия результатов генетического тестирования на потребителя. В исследованиях показано, что получение результатов, отражающих высокий риск развития определенного заболевания, может привести к возникновению тревоги и депрессии у потребителя, неблагоприятно влиять на сферу медицинских услуг и угрожать конфиденциальности информации [32, 37, 53, 58]. В последнее время актуальна концепция генетической исключительности – вся генетическая информация должна иметь правовую защиту. Однако в России отсутствует правовое регулирование генетического тестирования компаниями DTC. Законы и нормативные акты, принятые на территории страны, регулирующие область генетики и геномики, отражены на рисунке 4 [59].

В работе М. Д. Логачевой с соавторами [54] рассматривается правовое регулирование DTC в США, ряде европейских стран и стран Азии (рис. 5).

Преобладающее количество компаний, оказывающих нутригенетическое тестирование, находится в США [54]. По данным Mordor Intelligence™ Industry Reports (Индия), США занимает лидирующие позиции по темпу роста рынка потребительской геномики. В перечне ведущих мировых компаний, занимающихся генетическим тестированием (рис. 6), находятся компании из США: 23andMe, Ancestry и Helix OpCo LLC.

Компания 23andMe является одной из самых конкурентоспособных в США. В 2015 г. она стала первой, чья услуга (носительство синдрома Блума), доступная

США

Федеральные законы – контролируют действия с генетической информацией

- HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act – закон о мобильности и подотчетности медицинского страхования);
- GINA (Genetic Information Nondiscrimination Act – закон о недискриминации на основании генетической информации)

Нормативные акты федеральных агентств – коррелируют деятельность компаний

- FDA (Food and Drug Administration – Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов);
- CMS (Centers for Medicare and Medicaid Services);
- FTC (Federal Trade Commission – Федеральная торговая комиссия)

Законы отдельных штатов – дополняют регулирование федерального законодательства и нормативных актов

Решения судебных органов

Германия

Закон генетической диагностики (Gendiagnostiksgesetz)

- любое генетическое тестирование для медицинских целей требует медицинское сопровождение;
- обязательна консультация специалиста после прохождения генетического теста (в случае выявления неизлечимого заболевания);
- обязательная утилизация всех биообразцов после осуществления тестирования

Сингапур

Стандарты оказания услуг клинических генетических / геномных тестов и клинических лабораторных генетических / геномных тестов (Code of Practice on the Standards for the Provision of Clinical Genetic / Genomic Testing Services and Clinical Laboratory Genetic / Genomic Testing Services)

- услуги, связанные со здоровьем, могут оказываться только лицензированными медицинскими учреждениями;
- услуги, связанные со здоровьем, не могут предлагаться или предоставляться производителями или поставщиками генетических тестов напрямую потребителям

Австралия

Генетическое тестирование может осуществляться только лабораториями, аккредитованными в Национальной Лабораторной Ассоциации (National Association of Testing Authorities)

Израиль

Закон о генетической информации (Genetic Information Law)

- тестирование осуществляется только в генетическом отделении медицинской клиники или генетической лаборатории (исключение – научные исследования);
- деятельность DTC (direct-to-consumer) под запретом;
- выдача результатов сопровождается консультацией специалиста в сфере генетики;
- генетические тесты, целью которых является установление материнства или отцовства, могут осуществляться только на основании судебного решения

Рисунок 5. Правовое регулирование DTC [54, 56, 61]

Figure 5. Legal regulation of direct-to-consumer services: foreign experience [54, 56, 61]

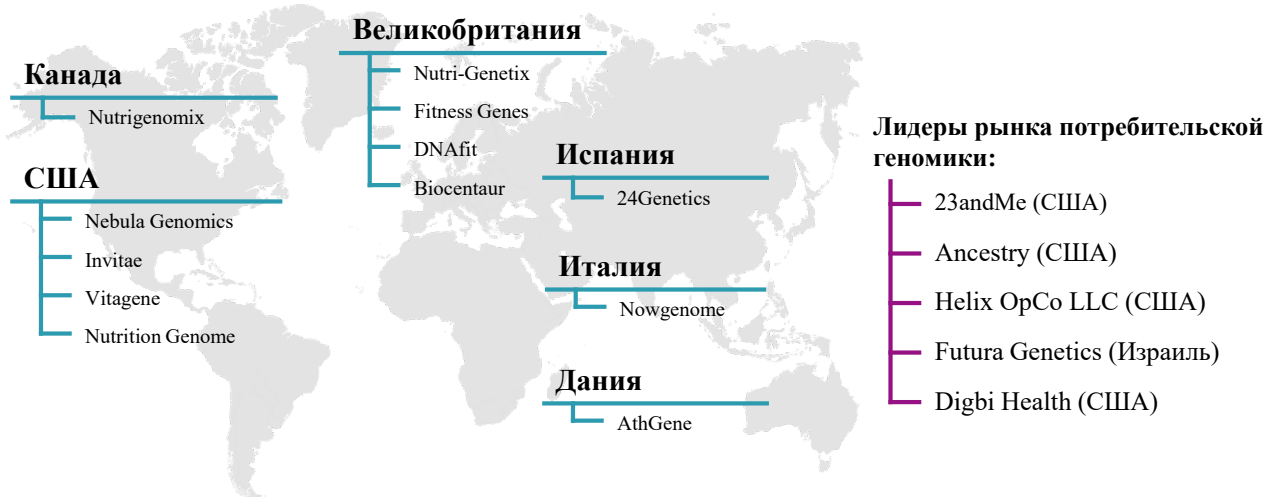


Рисунок 6. Ряд зарубежных компаний, занимающихся генетическим тестированием

Figure 6. Foreign genetic testing providers

напрямую населению США, соответствовала требованиям FDA по научной и клинической валидности. В 2017 г. компания получила разрешение FDA на тестирование на болезнь Альцгеймера, Паркинсона, Гоше, наследственную тромбофилию и дефицит альфа-1-антитрипсина, а в 2018 г. – на оценку генетических рисков рака и в сфере фармакогенетики [62].

По данным В. В. Шилова и др. [20], ключевую роль в области мирового персонализированного питания играют компании:

– Habit (США) составляет персонализированный рацион питания и индивидуально подбирает рецепты, а Amazon Fresh (США) предоставляет потребителю необходимые ингредиенты;

– DayTwo (Израиль) и Viome (США) разрабатывают персонализированные диеты, опираясь на индивидуальные данные микробиома потребителей;

– Nutrigenomix (Канада), DNAFit (Великобритания), Fitness Genes (Великобритания), Thome (США) составляют рекомендации по физической нагрузке и персонализированные рационы питания, опираясь на данные генетического тестирования и анализа микробиома потребителей;

– Nestle (Швейцария) в 2018 г. запустила в Японии программу персонализированного питания Nestle Wellness Ambassador, используя разработки в сфере искусственного интеллекта и генетического тестирования.

Российские компании, занимающиеся генетическим тестированием, представлены в таблице 2. Большая часть компаний находится в европейской части страны, преимущественно в г. Москве. Помимо данного города сильным центром генетических исследований является г. Новосибирск. Перечень услуг практически идентичен среди российских компаний. В области персонализированного питания (нутригенетики) наиболее популярными являются Genotek (г. Москва), MyGenetics (г. Новосибирск).

Выводы

Рост заболеваемости социально-значимыми болезнями (диабет, ожирение, сердечно-сосудистые заболевания и др.) указывает на необходимость модернизации профилактических мероприятий. Поэтому эффективным подходом к профилактике метаболических заболеваний является правильное питание. Благодаря omics-технологиям его можно составлять с учетом индивидуальных особенностей потребителей. Персонализированное питание – более эффективное профилактическое средство, по сравнению с традиционными общепринятыми и универсальными диетическими рекомендациями.

Индивидуальный подход для потребителей стал более доступным благодаря развитию науки и техники в области генетики человека. Фундаментом развития послужили открытие технологии секвенирования, полимеразная цепная реакция, проект «Геном человека». На сегодняшний день потребительская геномика, проявляющаяся в виде direct-to-consumer, востребована среди потребителей в виде нутригенетического тестирования, оценки генетических рисков развития моногенных и полигенных заболеваний, фармакогенетического тестирования, установления этнического происхождения и родословной, а также при подготовки к беременности. Для обеспечения потребителей данными услугами и интерпретации результатов используются методы биоинформатики, искусственного интеллекта и машинного обучения. Это подтверждает необходимость междисциплинарного подхода к профилактике социально значимых заболеваний.

В рамках проведенной работы установлено, что результаты генетического тестирования и полученные персонализированные рекомендации, по сравнению с общепринятыми, универсальными рекомендациями, в большей степени мотивируют потребителей изменять свои пищевые привычки, образ жизни. Использование персонализированных рекомендаций должно осуществляться под надзором компетентного специалиста (врача, врача-диетолога и др.), чтобы избежать снижение мотивации и халатного отношения потребителя к своему образу жизни при получении информации о минимальных рисках развития различных заболеваний.

Для разработки грамотных персонализированных рекомендаций по питанию необходимо изучать взаимодействие между индивидуальными особенностями потребителя и влиянием различных нутриентов. Omics-технологии позволяют получить необходимую базу знаний. Расширение этой базы в области исследования микробиоты, эпигенетики и генетики питания обеспечит понимание взаимосвязи окружающей среды (в том числе и питания) с развитием и патогенезом ряда заболеваний, а также расширит перечень нутриентов, биологически активных добавок и функциональных продуктов питания профилактической направленности.

Критерии авторства

А. Ю. Просеков – сбор и систематизация данных, руководство проектом, написание – оригинальный черновик. А. Д. Веснина – визуализация, написание – оригинальный черновик, обзор и редактирование. Н. А. Любимова – визуализация, написание – обзор и редактирование. Д. Ю. Чекушкина – написание – оригинальный черновик, обзор и редактирование. Е. С. Михайлова – руководство проектом, методология, написание – обзор и редактирование.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.Yu. Prosekov collected and analyzed the data, managed the project, and drafted the manuscript; A.D. Vesnina provided the visualization, drafted the manuscript, and proofread the final version; N.A. Lyubimova provided the visualization and proofread the final version; D.Yu. Chekushkina drafted the manuscript and proofread the final version; E.S. Mikhailova supervised the project, developed the methodology, and proofread the final version.

Conflicts of interest

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

Таблица 2. Российские компании, реализующие услуги по генетическому тестированию

Table 2. Russian genetic testing providers

Название	Местоположение	Тестирование	Источник
ООО «Геноаналитика» – сервис «Мой ген» (на рынке с 2009 г.)	Москва	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; установление этнического происхождения и генетической родословной; нутригенетические тесты; фармакогенетическое тестирование; спортивная генетика; полный генетический паспорт	[63, 64]
ООО «Аллея Центр Инновационных Биотехнологий» (на рынке с 2007 г.)	Москва	Выявление моногенных заболеваний; установление этнического происхождения и генетической родословной; фармакогенетическое тестирование; полный генетический паспорт; установление причин бесплодия	[65]
Genetico (ПАО «Артген биотех») (на рынке с 2018 г.)	Москва	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; онкогенетический тест; подготовка к беременности	[66]
EVOGEN (ООО «ЭВОГЕН») на рынке с 2018 г.)	Москва	Онкогенетический тест; подготовка к беременности	[67]
ООО «Атлас» (на рынке с 2013 г.)	Москва	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; установление этнического происхождения и генетической родословной; нутригенетические тесты; полный анализ микрофлоры кишечника; полный генетический паспорт	[68]
ООО «Генотек» (Genotek) (на рынке с 2010 г.)	Москва	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; установление этнического происхождения и генетической родословной; нутригенетические тесты; фармакогенетическое тестирование; спортивная генетика; полный генетический паспорт	[69]
ООО «Инлаб Генетикс» (на рынке с 2018 г.)	Санкт-Петербург	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; нутригенетические тесты; фармакогенетическое тестирование; спортивная генетика; полный генетический паспорт	[70]
ООО «Медицинский Центр «Здоровье» (Bonne Clinique) (на рынке с 2012 г.)	Санкт-Петербург	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; нутригенетические тесты; фармакогенетическое тестирование; полный анализ микрофлоры кишечника; полный генетический паспорт; пренатальная диагностика	[71]
ООО «НПФ Хеликс» (на рынке с 2002 г.)	Санкт-Петербург	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; нутригенетические тесты; фармакогенетическое тестирование	[72]
ООО «СЕРБАЛАБ» (на рынке с 2015 г.)	Санкт-Петербург	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; подготовка к беременности; полный анализ микрофлоры кишечника; полный генетический паспорт	[73]
ООО «ТестГен» (на рынке с 2012 г.)	Ульяновск	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; подготовка к беременности	[74]
ООО «Национальный Центр Генетических Исследований» (MyGenetics) (на рынке с 2011 г.)	Новосибирск	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; нутригенетические тесты; фармакогенетическое тестирование	[75]
ООО «Базис Геномик» (Basis Genomic Group) (на рынке с 2016 г.)	Новосибирск	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; нутригенетические тесты; фармакогенетическое тестирование	[76]
ООО «ЦНМТ» (на рынке с 2013 г.)	Новосибирск	Выявление моногенных заболеваний; выявление многофакторных заболеваний; нутригенетические тесты; фармакогенетическое тестирование	[77]

Список литературы / References

1. Celis-Morales C, Livingstone KM, Marsaux CFM, Macready AL, Fallaize R, *et al.* Effect of personalized nutrition on health-related behaviour change: Evidence from the Food4Me European randomized controlled trial. *International Journal of Epidemiology*. 2017;46(2):578–588. <https://doi.org/10.1093/ije/dyw186>
2. Заболеваемость населения социально-значимыми заболеваниями. Федеральная служба государственной статистики. [Incidence of socially significant diseases. Federal State Statistics Service. [cited 2025 Mar 12]. (In Russ.)] Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721>
3. Jinnette R, Narita A, Manning B, McNaughton SA, Mathers JC, *et al.* Does personalized nutrition advice improve dietary intake in healthy adults? A systematic review of randomized controlled trials. *Advances in Nutrition*. 2021;12(3):657–669. <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa144>
4. Guasch-Ferré M, Dashti HS, Merino J. Nutritional genomics and direct-to-consumer genetic testing: An overview. *Advances in Nutrition*. 2018;9(2):128–135. <https://doi.org/10.1093/advances/nmy001>
5. Литвяк В. В., Шилов В. В., Кузина Л. Б., Росляков, Ю. Ф. Способ персонализации питания с учетом генетически детерминированных факторов. *Food Metaengineering*. 2023. Т. 1. № 1. С. 27–62. [Litvyak VV, Shylau VV, Kuzina LB, Roslyakov YuF. The method of personalized nutrition considering genetically determined factors. *Food Metaengineering*. 2023;1(1):27–62. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37442/fme.2023.1.5>
6. Жакова К. И., Миронова Н. П. Современные тенденции развития технологий пищевых производств. Пищевая промышленность: наука и технологии. 2022. Т. 15. № 3. С 6–12. [Zhakova KI, Mironova NP. Modern trends in the development of food production technologies. *Food Industry: Science and Technology*. 2022;15(3):6–12. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/JDCVYT>
7. Батурин А. К., Сорокина Е. Ю., Погожева А. В., Тутельян В. А. Генетические подходы к персонализации питания. Вопросы питания. 2012. Т. 81. № 6. С.4–11. [Baturin AK, Sorokina EYu, Pogozheva AV, Tutelyan VA. Genetic approaches to nutrition personalization. *Problems of Nutrition*. 2012;81(6):4–11. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PUTCUD>
8. Vesnina A, Prosekov A, Kozlova O, Atuchin V. Genes and eating preferences, their roles in personalized nutrition. *Genes*. 2020;11(4):357. <https://doi.org/10.3390/genes11040357>
9. Vesnina A, Prosekov A, Atuchin V, Minina V, Ponasenko A. Tackling atherosclerosis via selected nutrition. *International journal of Molecular Sciences*. 2022;23(15):8233. <https://doi.org/10.3390/ijms23158233>
10. Livingstone KM, Ramos-Lopez O, Pérusse L, Kato H, Ordovas JM, *et al.* Precision nutrition: A review of current approaches and future endeavors. *Trends in Food Science & Technology*. 2022;128:253–264. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.017>
11. Torres N, Tovar AR. The present and future of personalized nutrition. *Revista de Investigación Clínica*. 2021;73(5):321–325. <https://doi.org/10.24875/RIC.21000346>
12. Ульянов Ю. А., Зарипова Э. М., Мингазова Э. Н. От пациентоориентированной медицины к 4П-медицине: Семантический аспект тренда. 2020. № 9. С. 26–29. [Ulyanov Yu A, Zaripova EM, Mingazova EN. From patient-centered medicine to 4P-medicine: The semantic aspect of the trend. 2020;(9):26–29. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37690/1811-0185-2020-9-26-29>
13. Lagoumintzis G, Patrinos GP. Triangulating nutrigenomics, metabolomics and microbiomics toward personalized nutrition and healthy living. *Human genomics*. 2023;17(1):109. <https://doi.org/10.1186/s40246-023-00561-w>
14. Мирошина Т. А., Резниченко И. Ю. Значение нутригеномики и нутригенетики в пищевой науке. Индустрия питания. 2023. Т. 8. № 2. С. 105–115. [Miroshina TA, Reznichenko IYu. Nutrigenomics and nutrigenetics importance in the food science. *Food Industry*. 2023;8(2):105–115. (In Russ.)] <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-2-11>
15. Cecchin E, Stocco G. Pharmacogenomics and personalized medicine. *Genes*. 2020;11(6):679. <https://doi.org/10.3390/genes11060679>
16. Madeo G, Donato K, Micheletti C, Cristoni S, Miertus S, *et al.* Nutrigenomics: SNPs correlated to lipid and carbohydrate metabolism. *La Clinica Terapeutica*. 2023;174(Suppl. 2):200–208. <https://doi.org/10.7417/CT.2023.2488>
17. Voruganti VS. Precision nutrition: Recent advances in obesity. *Physiology*. 2023;38(1):42–50. <https://doi.org/10.1152/physiol.00014.2022>
18. Хусаинова Р. И., Хуснутдинова Э. К. Молекулярно-генетические основы остеопороза. Биомика. 2014. Т. 6. № 1. С. 24–51. [Khusainova RI, Khusnutdinova EK. Genetics of osteoporosis. *Biomics*. 2014;6(1):24–51. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/UANPCJ>
19. Reddy VS, Palika R, Ismail A, Pullakhandam R, Reddy GB. Nutrigenomics opportunities & challenges for public health nutrition. *Indian Journal of Medical Research*. 2018;148(5):632–641. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1738_18
20. Шилов В. В., Батын А. Н. История и стратегии персонализированного питания. Пищевая промышленность: наука и технология. 2023. Т. 16. № 2. С. 49–55. [Shilov VV, Batyan AN. History and strategies for personalized nutrition. *Food Industry: Science and Technologies*. 2023;16(2):49–55.] <https://elibrary.ru/CJMMZC>

21. Прогнозирующее генетическое тестирование и рынок геномики потребителей/здоровья. VMR. [Predictive genetic testing on the consumer market of health genomics. VMR. [cited 2025 Mar 22]. (In Russ.)] Available from: <https://www.verifiedmarketreports.com/ru/download-sample/?rid=472815>
22. Персональное генетическое тестирование: краткосрочный хайп или перспективный рынок? Магазин исследований. [Personal genetic testing: Short-term hype or reliable market prospects? Research store. [cited 2025 Mar 22]. (In Russ.)] Available from: <https://marketing.rbc.ru/articles/13176/>
23. Генетические тесты в России: игроки, проблемы и тенденции. Русбейс. [The genetic testing market in Russia: Key players, challenges, and trends. Rusbase. [cited 2025 Mar 22]. (In Russ.)] Available from: <https://rb.ru/longread/dnatech/>
24. Анализ российского и международного рынка медицинской генетики: технологические и рыночные тренды. Healthnet. [Analysis of the Russian and international medical genetics market: Technological and market trends. Healthnet. [cited 2025 Feb 20]. (In Russ.)] Available from: https://healthnet.academpark.com/wp-content/uploads/2023/12/bio_medicine.pdf
25. Bashiardes S, Godneva A, Elinav E, Segal E. Towards utilization of the human genome and microbiome for personalized nutrition. *Current Opinion in Biotechnology*. 2018;51:57–63. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.11.013>
26. Corella D, Ordovás JM. Papel de las ómicas en la nutrición de precisión: Fortalezas y debilidades. *Nutricion Hospitalaria*. 2018;35(4):10–18. [Corella D, Ordovás JM. The role of omics in precision nutrition: Strengths and weaknesses. *Nutricion Hospitalaria*. 2018;35(4):10–18. (In Spanish.)] <https://doi.org/10.20960/nh.2119>
27. Напольский И. Н., Попова П. В. Персонализированное питание для профилактики и лечения метаболических заболеваний: возможности и перспективы. *Российский журнал персонализированной медицины*. 2022. Т. 2. № 1. С. 15–34. [Napolsky IN, Popova PV. Personalized nutrition for the prevention and treatment of metabolic diseases: Opportunities and perspectives. *Russian Journal for Personalized Medicine*. 2022;2(1):15–34 (In Russ.)] <https://doi.org/10.18705/2782-3806-2022-2-1-15-34>
28. Vernocchi P, Del Chierico F, Putignani L. Gut microbiota metabolism and interaction with food components. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020;21(10):3688. <https://doi.org/10.3390/ijms21103688>
29. Кузнецов М. А., Жученко Н. А., Никитин И. А. Разработка методики проектирования персонализированных рационов питания на основе метагеномного анализа микробиоты человека. Трактории технологического развития. 2024. Т. 3. № 11. С. 13–22. [Kuznetsov MA, Zhuchenko NA, Nikitin IA. Development of a methodology for designing personalized diets based on metagenomic analysis of human microbiota. *Trajectories of technological development*. 2024;3(11):13–22. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/CMRRPP>
30. Uchendu IK, Ikebunwa OA, Okpagu CB. Cardiorenal protective effects of extracts of bitter leaf (*Vernonia amygdalina* L.) in animal model of metabolic syndrome. *Foods and Raw Materials*. 2024;12(2):264–272. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2024-2-607>
31. Фокина А. Д., Веснина А. Д., Фролова А. С., Чекушкина Д. Ю., Проскурякова Л. А. и др. Биоактивные вещества геропротекторной направленности. Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 2. С. 423–435. [Fokina AD, Vesnina AD, Frolova AS, Chekushkina DYU, Proskuryakova LA, *et al.* Bioactive anti-aging substances: Geroprotectors. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(2):423–435. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2517>
32. Bonetti G, Kiani AK, Donato K, Kaftalli J, Herbst KL, *et al.* Polymorphisms, diet and nutrigenomics. *Journal of Preventive Medicine and Hygiene*. 2022;63(Suppl. 3):E125–E141. <https://doi.org/10.15167/2421-4248/jpmh2022.63.2S3.2754>
33. Mullins VA, Bresette W, Johnstone L, Hallmark B, Chilton FH. Genomics in personalized nutrition: Can you “Eat for your genes”? *Nutrients*. 2020;12(10):3118. <https://doi.org/10.3390/nu12103118>
34. Elhawary NA, AlJahdali IA, Abumansour IS, Elhawary EN, Gaboon N, *et al.* Genetic etiology and clinical challenges of phenylketonuria. *Human Genomics*. 2022;16:22. <https://doi.org/10.1186/s40246-022-00398-9>
35. Смирнова Н. В., Елмуратов А. У. Перспективы применения полигенного индекса риска (PRS) для оценки риска развития рака молочной железы. Вестник СурГУ. Медицина. 2019. № 4. С. 74–78. [Smirnova NV, Elmuratov AU. Prospects of applying the polygenic risk scores (PRS) to estimate the risk of breast cancer development. *Vestnik SurGU. Medicina*. 2019;(4):74–78. (In Russ.)] <https://doi.org/10.1234/10.34822/2304-9448-2019-4-74-78>
36. Forzano F, Antonova O, Clarke A, de Wert G, Hentze S, *et al.* The use of polygenic risk scores in pre-implantation genetic testing: An unproven, unethical practice. *European Journal of Human Genetics*. 2022;30:493–495. <https://doi.org/10.1038/s41431-021-01000-x>
37. Кибитов А. О., Мазо Г. Э., Ракитко А. С., Касьянов Е. Д., Рукавишников Г. В. и др. Полигенные шкалы риска развития депрессии на основе GWAS с клинической валидацией: методология и дизайн исследования в российской популяции. Журнал неврологии и психиатрии имени С. С. Корсакова. 2020. Т. 120. № 11. С. 131–140. [Kibitov AO, Mazo GE, Rakitko AS, Kasyanov ED, Rukavishnikov GV, *et al.* GWAS-based polygenic risk scores for depression with clinical validation: Methods and study design in the Russian population. *S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry*. 2020;120(11):131–140. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17116/jnevro202012011131>
38. Panacer KS. Ethical issues associated with direct-to-consumer genetic testing. *Cureus*. 2023;15(6):e39918. <https://doi.org/10.7759/cureus.39918>

39. Секисова В. Е., Воробьев А. С., Николаев К. Ю., Урванцева И. А., Донников М. Ю. и др. Генетические детерминанты острых и хронических коронарных синдромов. Вестник СурГУ. Медицина. 2023. Т. 16. № 1. С. 56–63. [Sekisova VE, Vorobyov AS, Nikolaev KYu, Urvantseva IA, Donnikov MYu, et al. Genetic determinants of acute and chronic coronary syndromes. Vestnik SurGU. Meditsina. 2023;16(1):56–63. (In Russ.)] <https://doi.org/10.35266/2304-9448-2023-1-56-63>
40. Singar S, Nagpal R, Arjmandi BH, Akhavan NS. Personalized nutrition: Tailoring dietary recommendations through genetic insights. Nutrients. 2024;16(16):2673. <https://doi.org/10.3390/nu16162673>
41. Zeevi D, Korem T, Zmora N, Israeli D, Rothschild D, et al. Personalized nutrition by prediction of glycemic responses. Cell. 2015;163(5):1079–1094. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.11.001>
42. Zenun Franco R, Fallaize R, Weech M, Hwang F, Lovegrove JA. Effectiveness of web-based personalized nutrition advice for adults using the eNutri web app: Evidence from the EatWellUK randomized controlled trial. Journal of Medical Internet Research. 2022;24(4):e29088. <https://doi.org/10.2196/29088>
43. Barrett EM, Shi P, Blumberg JB, O’Hearn M, et al. Food compass 2.0 is an improved nutrient profiling system to characterize healthfulness of foods and beverages. Nature Food. 2024;5:911–915. <https://doi.org/10.1038/s43016-024-01053-3>
44. Vesnina AD, Milentyeva IS, Le VM, Fedorova AM, et al. Quercetin isolated from *Hedysarum neglectum* Ledeb. as a preventer of metabolic diseases. Foods and Raw Materials. 2025;13(1):192–201. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-1-633>
45. Gallardo-Escribano C, Buonaiuto V, Ruiz-Moreno MI, Vargas-Candela A, Vilches-Perez A, et al. Epigenetic approach in obesity: DNA methylation in a prepubertal population which underwent a lifestyle modification. Clinical Epigenetics. 2020;12:144. <https://doi.org/10.1186/s13148-020-00935-0>
46. Bloss CS, Wineinger NE, Darst BF, Schork NJ, Topol EJ. Impact of direct-to-consumer genomic testing at long term follow-up. Journal of Medical Genetics. 2013;50:393–400. <https://doi.org/10.1136/jmedgenet-2012-101207>
47. Fallaize R, Macready AL, Butler LT, Ellis JA, Lovegrove JA. An insight into the public acceptance of nutrigenomic-based personalised nutrition. Nutrition Research Reviews. 2013;26(1):39–48. <https://doi.org/10.1017/S0954422413000024>
48. Шипилов И. В., Бетехтина В. А., Цай Л. В., Пилипенко В. И., Богданов А. Р. Персонализированная медицина в СУЭК. Уголь. 2021. № 7. С. 45–51. [Shipilov IV, Betehtina VA, Tsay LV, Pilipenko VI, Bogdanov AR. Personalized medicine at SUEK. Ugol’. 2021;(7):45–51. (In Russ.)] <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-7-45-51>
49. Bianchetti G, de Maio F, Abeltino A, Serantoni C, Riente A, et al. Unraveling the gut microbiome-diet connection: Exploring the impact of digital precision and personalized nutrition on microbiota composition and host physiology. Nutrients. 2023;15(18):3931. <https://doi.org/10.3390/nu15183931>
50. Покида А. Н., Зыбуновская Н. В. Культура питания российского населения (по результатам социологического исследования). Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. 2022. Т. 30. № 2. С. 13–22. [Pokida AN, Zybunovskaya NV. Food culture of the Russian population: Results of a sociological survey. Zdorov’e. Naseleniya i Sreda Obitaniya. 2022;30(2):13–22. (In Russ.)] <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-13-22>
51. Horton R, Crawford G, Freeman L, Fenwick A, Wright CF, et al. Direct-to-consumer genetic testing. BMJ. 2019;367:l5688. <https://doi.org/10.1136/bmj.l5688>
52. Oh B. Direct-to-consumer genetic testing: Advantages and pitfalls. Genomics & Informatics. 2019;17(3):e33. <https://doi.org/10.5808/GI.2019.17.3.e33>
53. Гребенщикова Е. Г. Потребительская геномика и генетизация общества: переосмысление идентичности, социальных связей и ответственности. Социологические исследования. 2020. № 2. С. 13–19. [Grebenshchikova EG. Direct-to-consumer genomics and genetization of society: Rethinking identity, social relations and responsibility. Sotsiologicheskie issledovaniya. 2020;(2):13–19. (In Russ.)] <https://doi.org/10.31857/S013216250008490-2>
54. Логачева М. Д., Пушкарев В. С. Зарубежный опыт правового регулирования прямого потребительского генетического тестирования. Актуальные проблемы российского права. 2021. Т. 16. № 8. С. 103–117. [Logacheva MD, Pushkarev VS. Foreign experience in the legal regulation of direct consumer genetic testing. Aktualnye problemy rossiyskogo prava. 2021;16(8):103–117. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2021.129.8.103-117>
55. Floris M, Cano A, Porru L, Addis R, Cambedda A, et al. Direct-to-consumer nutrigenetics testing: An overview. Nutrients. 2020;12(2):566. <https://doi.org/10.3390/nu12020566>
56. Regulation of genetic tests. National Human Genome Research Institute. [cited 2025 Mar 03]. Available from: <https://www.genome.gov/about-genomics/policy-issues/Regulation-of-Genetic-Tests>
57. Egglestone C, Morris A, O’Brien A. Effect of direct-to-consumer genetic tests on health behaviour and anxiety: A survey of consumers and potential consumers. Journal of Genetic Counseling. 2013;22(5):565–575. <https://doi.org/10.1007/s10897-013-9582-6>
58. Basch CH, Hillyer GC, Samuel L, Datuowei E, Cohn B. Direct-to-consumer genetic testing in the news: A descriptive analysis. Journal of Community Genetics. 2023;14:63–69. <https://doi.org/10.1007/s12687-022-00613-z>
59. Лозовицкая Г. П., Краевская А. Г. Генетическая медицина: Регулирование генетических исследований и конфиденциальность генетической информации. Вестник Восточно-Сибирской открытой академии. 2024;(52). [Lozovickaya GP, Kraevskaya AG. Genetic medicine: Regulation of genetic research and confidentiality of genetic information. Vestnik Rossiyskoj otkrytoj akademii. 2024;(52). (In Russ.)] <https://elibrary.ru/VJQUMG>

60. Кубышкин А. В., Гринь О. С., Шилюк Т. О. Законодательство Российской Федерации в сфере защиты геномной и генетической информации в рамках медицинской диагностики. *Общая реаниматология*. 2024. Т. 20. № 3. С. 65–74. [Kubyshkin AV, Grin OS, Shilyuk TO. Legislation of the Russian Federation in the field of protection of genomic and genetic information in the framework of medical diagnostics. *General Reanimatology*. 2024;20(3):65–74. (In Russ.)] <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2024-3-2395>
61. Манзенюк И. Н., Шипулин Г. А. Регулирование обращения медицинских изделий для генетического тестирования *in vitro*. *Инновационные тесты*. 2018. С. 70–79. [Manzeniuk IN, Shipulin GA. Legal regulation of medical devices for *in vitro* genetic testing. *Innovative tests*. 2018:70–79. (In Russ.)]
62. 23andMe and the FDA. [cited 2025 Mar 23]. Available from: <https://customercare.23andme.com/hc/en-us/articles/211831908-23andMe-and-the-FDA>
63. ДНК-тесты и генетические исследования любой сложности. Геноаналитика. [DNA tests and genetic research of any complexity. *Genoanalytics*. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://www.genoanalytica.ru/>
64. Онлайн-консультация генетика. Мой ген. [Online consultation with a geneticist. My gene. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://i-gene.ru>
65. Генетические исследования. Аллель™. [Genetic research. Allele™. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://corp.alleltech.com/>
66. Генетические анализы в центре Genetico. Future inside Genetico. [Genetic tests at Genetico. Future inside Genetico. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://geneticon.ru/>
67. О компании. Evogen. [About us. Evogen. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <http://www.evogenlab.ru/>
68. Что вы узнаете из тестов Атласа. Atlas. [What Atlas tests can tell you. Atlas. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://atlas.ru/>
69. Закажите ДНК-тест с доставкой на дом по России и Беларуси. Genotek. [Order a DNA test with home delivery in Russia and Belarus. Genotek. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://www.genotek.ru/b>
70. ДНК-тесты в Санкт-Петербурге. InLab genetics. [DNA tests in Saint Petersburg. InLab genetics. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://inlab-genetics.ru/>
71. Услуги в Bonne Clinique. Bonne Clinique. [Bonne Clinique services. Bonne Clinique. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://bn-cl.ru/>
72. Медицинские анализы Helix в Санкт-Петербурге. Helix. [Helix medical tests in Saint Petersburg. Helix. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://helix.ru>
73. Центр геномных технологий. Сербалаб. [Center for genomic technologies. Serbalab. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://cerbalab.ru/>
74. Компания. ТестГен. [Company. TestGen. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <http://www.testgen.ru>
75. Национальный центр генетических исследований MyGenetics. MyGenetics. [MyGenetics national center for genetic research. MyGenetics. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://mygenetics.ru/>
76. Кому и зачем нужны генетические тесты. Basis Genomic Group. [Who needs genetic tests and why. Basis Genomic Group. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://basisgg.ru/>
77. Направления деятельности центра. Центр новых медицинских технологий. [Our activities. Center for new medical technologies. [cited 2025 Mar 23]. (In Russ.)] Available from: <https://www.cnmt.ru>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2580>
<https://elibrary.ru/EBVKYA>

Оригинальная статья
<https://fptt.ru>

Анализ бренда сети по торговле локальными фермерскими продуктами



И. А. Ганиева¹, В. Г. Шадрин^{2,*}, М. А. Шемчук²

¹ Научно-образовательный центр «Кузбасс», Кемерово, Россия

² Кемеровский государственный университет , Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 08.10.2024

Принята после рецензирования: 15.11.2024

Принята к публикации: 01.04.2025

*В. Г. Шадрин: vladii@mail.ru,

<https://orcid.org/0000-0001-7145-6775>

И. А. Ганиева: <https://orcid.org/0000-0002-3991-4374>

М. А. Шемчук: <https://orcid.org/0000-0003-3903-9298>

© И. А. Ганиева, В. Г. Шадрин, М. А. Шемчук, 2025



Аннотация.

В настоящее время все больше потребителей стремится к здоровому образу жизни, правильному питанию и поддержке местного производства. Бренды по продаже локальных фермерских продуктов имеют большую актуальность в современном обществе. Покупатели стремятся выбрать продукты с честной и прозрачной цепочкой поставок. Цель данной работы – проанализировать бренд предприятия розничной торговли фермерскими продуктами питания «Калина-Малина» и разработать рекомендации для его совершенствования.

Объектом исследования являлось отношение потребителей к бренду «Калина-Малина» (г. Кемерово, Кемеровская область – Кузбасс) как розничной сети по торговле локальными фермерскими продуктами питания. В работе применялись: комплексный метод Д. В. Соловьевой и С. В. Афанасьевой для анализа позиции бренда на рынке; экспертный и стандартизированный опрос потребителей; анализ документации и информации об организации; статистико-экономический и графический анализ данных.

Выявлено, что основные заявляемые брендом характеристики понимаются потребителями и ассоциируются с брендом. Однако, бренд не ассоциируется у потребителей с уникальностью и прогрессивностью. Большинство опрошенных знают, как выглядит бренд компании, считают «голос» бренда дружелюбным и вспоминают о бренде, когда речь заходит о натуральных продуктах. Респонденты не имеют четкого представления о визуальном оформлении магазинов розничной торговой сети «Калина-Малина». Экспертный опрос показал, что сфера продвижения, частью которой является бренд, находится на высоком уровне. Стандартизированный опрос потребителей в торговых точках компании показал, что 70 % опрошенных считают бренд лидером в своем сегменте, более половины опрошенных имеют положительное отношение к бренду, удовлетворены его продукцией, являются постоянными потребителями и проявляют лояльность к бренду. Потребителю не совсем понятен слоган бренда «Калина-Малина» и большинство считает его несоответствующим бренду.

Проведенный комплексный анализ позиции бренда предприятия розничной торговли фермерскими продуктами питания «Калина-Малина» позволил выявить его слабые стороны и разработать рекомендации по его совершенствованию. Предложены варианты слоганов бренда, соответствующие принципам и ценностям компании, учитывающие современные тренды в области брендинга. С целью повышения узнаваемости бренда рекомендовано развивать работу с амбассадорами и блогерами-инфлюенсерами.

Ключевые слова. Бренд, маркетинг, инфлюенс-маркетинг, торговая сеть, фермерские продукты питания

Для цитирования: Ганиева И. А., Шадрин В. Г., Шемчук М. А. Анализ бренда сети по торговле локальными фермерскими продуктами. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 416–428. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2580>

Local Farm Food Network: Brand Analysis



Irina A. Ganieva¹, Vladislav G. Shadrin^{2,*},
Maria A. Shemchuk²

¹ Research and Academic Centre Kuzbass, Kemerovo, Russia

² Kemerovo State University , Kemerovo, Russia

Received: 08.10.2024
Revised: 15.11.2024
Accepted: 01.04.2025

Vladislav G. Shadrin: vladii@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7145-6775>
Irina A. Ganieva: <https://orcid.org/0000-0002-3991-4374>
Maria A. Shemchuk: <https://orcid.org/0000-0003-3903-9298>

© I.A. Ganieva, V.G. Shadrin, M.A. Shemchuk, 2025



Abstract.

As more and more consumers choose a healthy lifestyle, local farm product stores become more popular. However, people prefer brands with an honest and transparent supply chain. The article introduces a brand analysis of the farm food retail chain Kalina-Malina, Kemerovo, Russia, with a set of improvement recommendations.

The research focused on the consumers' assessment of the Kalina-Malina brand as a retail chain selling local farm food products. The analysis relied on D.V. Solovieva and S.V. Afanasyeva's comprehensive method of market brand analysis, an expert and standardized consumer survey, an analysis of documents and open-access information, and a statistical, economic, and graphical data analysis.

The main characteristics incorporated into the brand by its developers proved transparent to the consumers. However, they did not associate the brand with uniqueness and progressiveness. While most respondents recognized the brand and evaluated it as friendly and natural, they had no clear idea of the visual interior design. The experts evaluated the promotion as the highest level. A standardized survey of consumers *in situ* showed that 70% considered the brand a leader in its segment and $\geq 50\%$ proved to be loyal customers with a positive attitude towards the brand and a high satisfaction level. However, they did not quite understand the slogan and found it inconsistent with the brand.

The comprehensive brand analysis of the local farm food chain Kalina-Malina revealed its weaknesses and made it possible to develop a set of recommendations, e.g., to develop a new slogan that would broadcast the company values, to engage brand ambassadors and influencer bloggers to increase brand awareness, etc.

Keywords. Brand, marketing, influencer marketing, retail chain, farm foods

For citation: Ganieva IA, Shadrin VG, Shemchuk MA. Local Farm Food Network: Brand Analysis. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):416–428. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2580>

Введение

В настоящее время одним из главных факторов, влияющих на конкурентоспособность компании, является узнаваемость ее бренда. Через фирменный стиль, позиционирование и способы продвижения бренд создает уникальный образ, отличающий его от конкурентов и способный донести до потребителей миссию, идеологию и ключевые ценности компании.

Процесс создания конкурентоспособного бренда предполагает проведение анализа рынка, изучение конкурентов, определение уникальных характеристик продукта и разработку маркетинговой стратегии [1]. Уникальные характеристики бренда привлекают внимание потенциальных клиентов, повышают его узнаваемость и формируют положительный имидж на рынке. В условиях жесткой конкуренции, когда

на рынке представлено множество однотипной продукции (по качеству, цене и др.), успех гарантирован только брендам, обладающим данными характеристиками. Сильный бренд вызывает доверие у потребителей, формирует лояльность целевой аудитории и является основным фактором успеха компании на современном рынке.

Актуальность разработки, управления и последующей оценки эффективности бренда в торговле фермерскими локальными продуктами можно обосновать двумя причинами. Во-первых, бренд позволяет выстраивать систему дифференцированных маркетинговых коммуникаций с различными сегментами потребителей, что особенно важно в условиях развития электронной коммерции. Во-вторых, он создает четкое позиционирование фермерских продуктов,

что приносит пользу как конечным потребителям, так и поставщикам и местным производителям, снижая их логистические и транзакционные издержки.

В процессе торгово-технологических операций с фермерскими продуктами питания важно использовать бренд для акцентирования внимания на локальности, экологичности и натуральности ассортимента, что обеспечивает возможность самостоятельного развития вне сетевых розничных структур, предлагающих аналогичные продукты.

Бренд – не только название, логотип или упаковка товара, но и комплексная система ценностей. Все эти элементы отражаются во всем, что делает компания. Основная цель брендинга заключается в разработке узнаваемого имиджа компании или продукта, который будет вызывать у потребителей позитивные эмоции и ассоциации [2]. Одной из важнейших задач брендинга является создание лояльной клиентской базы. Она обеспечивает стабильный спрос и конкурентное преимущество, поскольку потребители отдают предпочтение продукции знакомой компании, а не аналогам. Формирование лояльности потребителей – длительный процесс, требующий постоянного взаимодействия с целевой аудиторией и удовлетворения ее потребностей [3]. Еще одна задача брендинга – повышение узнаваемости продукта или компании на рынке. Увидев знакомый логотип, потребитель автоматически ассоциирует его с качественными продуктами и надежной фирмой. Данные факторы влияют на доверие потребителей и повышают конкурентоспособность компании [4]. Брендинг является важным инструментом для управления репутацией компании [5]. Он подразумевает контроль за использованием логотипа и других элементов бренда, а также регулирование общественного мнения о компании. Успешные бренды, как правило, отличаются высокой узнаваемостью и безупречной репутацией среди потребителей.

Таким образом, брендинг заключается в создании уникального образа компании, продукта или услуги, который будет дифференцировать их от конкурентов, повышать узнаваемость и лояльность клиентов, управлять репутацией компании и, как следствие, увеличивать прибыль и рост бизнеса [6].

Подчеркивая важность брендинга для современных компаний, стоит отметить растущий интерес к брендированию региональных производителей со стороны местных стейкхолдеров. Для поддержки и продвижения региональных брендов в Кемеровской области – Кузбассе на базе научно-образовательного центра «Кузбасс» осуществляется деятельность патентного офиса. Проводя бесплатные консультации по вопросам оформления и подачи заявок на регистрацию географического указания и наименования места происхождения товара, товарного знака и других охраняемых документов, он оказывает неоценимую помощь предпринимателям в защите их интеллектуальной собственности. Ключевую роль в развитии региональных брен-

дов играют образовательные программы, семинары, вебинары и др. Например, в ноябре 2024 г. патентный офис совместно с Роспатентом и ФИПС организовали и провели семинар «Региональные бренды – новые точки роста». В нем приняли участие более 140 человек, в том числе представители органов власти, вузов, научно-исследовательского института и бизнес среды. Обмен опытом между успешными участниками и новичками не только укрепляет бизнес-сообщество, но и обеспечивает передачу ценных знаний и навыков, необходимых для развития предпринимательской экосистемы региона.

Для выявления лучших региональных брендов среди субъектов предпринимательской деятельности, организаций и муниципалитетов по итогам маркетинговой политики Правительство Кемеровской области совместно с Союзом Кузбасской торгово-промышленной палаты и научно-образовательным центром «Кузбасс» ежегодно организует региональный конкурс «Бренд Кузбасса». Победители получают право маркировать свою продукцию изображением памятного знака «Бренд Кузбасса». С целью поддержки и продвижения региональных брендов проводятся выставочно-ярмарочные мероприятия, которые повышают узнаваемость производителей Кемеровской области и их продукции. Ярмарки, формируя определенную социокультурную среду, увеличивают привлекательность и комфортность региона как для туристов, так и для его жителей.

Поддержка региональных брендов в Кемеровской области – не просто экономическая задача, но и важный шаг в формировании уникальной идентичности, требующий активного участия органов власти и всего общества. Комплексный подход, включающий семинары, выставки, конкурсы и образовательные инициативы, создает эффективную платформу для развития уникальных торговых марок и товаров, способствуя экономическому росту и социальной устойчивости. Для достижения поставленной задачи необходимо проводить систематический анализ локальных брендов, выявляя их сильные и слабые стороны, чтобы в стратегической перспективе оказывать поддержку наиболее перспективным и конкурентоспособным предприятиям [7]. Важно акцентировать внимание на социальной функции торговли при реализации фермерских продуктов, чтобы обеспечить физическую доступность локальных товаров на потребительском рынке [8].

Цель данной работы – проанализировать бренд предприятия розничной торговли фермерскими продуктами питания «Калина-Малина» и разработать рекомендации для его совершенствования.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – отношение потребителей к бренду «Калина-Малина» (г. Кемерово, Кемеровская область – Кузбасс) как розничной сети по торговле локальными фермерскими продуктами питания.

Анализ бренда проводился с применением комплексного метода, разработанного Д. В. Соловьевой и С. В. Афанасьевой [9], который заключается в оценке положения бренда на рынке и анализе его восприятия потребителями.

Метод шкалирования применялся в ходе анализа показателей представления о бренде (шкала Лайкерта). Изучение положения бренда на рынке осуществлялось с использованием экспертного опроса для оценки показателей предложения бренда и стандартизированного опроса потребителей для оценки показателей реакции рынка на бренд. Экспертный опрос составлен для показателей предложения бренда в соответствии с моделью комплекса маркетинга 4Р. Опрос помог выявить уровень воспринимаемого качества брендированного товара и его запас, ценовую политику бренда, широту географического охвата рынка, интенсивность коммуникационного воздействия и широту коммуникации.

Для анализа показателей реакции рынка на бренд «Калина-Малина» использовались следующие методы: стандартизированный опрос потребителей в г. Кемерово (объем выборки – 130 респондентов), анализ документации и информации об организации, а также статистико-экономический и графический анализ данных.

Результаты и их обсуждение

Торговое пространство как стратегическая платформа для взаимодействия с клиентами имеет большое значение для успеха розничной концепции. На сегодняшний день малый бизнес организует сбыт своей продукции самостоятельно и локально. Опыт работы оптово-распределительных центров страны показал, что для малого бизнеса их услуги недоступны. Эти центры могут работать с малыми поставщиками только через особое торговое пространство, например агрегаторы фермерской продукции [10].

Это пространство, создавая определенную атмосферу, способно вызывать у посетителей широкий спектр эмоций – от чувства вовлеченности и притяжения до ощущения дискомфорта и отторжения, что определяет восприятие бренда потребителями. Каждое взаимодействие с клиентом в торговом пространстве становится неотъемлемой частью знаний о бренде и формирует его образ [11].

Брендинг в сфере розничной торговли фермерскими продуктами является ключевым элементом в привлечении и удержании клиентов. Он должен отражать ценности и уникальность компании, а также восприниматься потребителями как надежный и качественный бренд [12], что обусловлено его особенностями в данной сфере, среди которых:

1. Уникальная идентичность бренда. Она подразумевает элементы фирменного стиля: логотип, цветовое оформление и упаковку товара.

2. Последовательность действий во всех маркетинговых каналах и точках соприкосновения. Она га-

рантирует, что клиенты узнают про бренд и запомнят его, а также укрепят свое доверие и лояльность со временем.

3. Ценностное предложение. Успешный бренд в розничной торговле продуктами питания должен иметь четкое ценностное предложение, которое выделяет его среди аналогов. Такое предложение может фокусироваться на качестве, экологичности, географическом происхождении, уникальных характеристиках или других аспектах (важных для целевой аудитории).

4. Эмоциональная связь. Брендинг может обращаться к эмоциям и чувству ностальгии покупателей для создания значимой связи с ними, например, компания молочных продуктов может ассоциироваться с образом семейной фермы или апеллировать к знакомому с детства вкусу.

5. Выбор упаковки. Интересная упаковка привлекает покупателей, наглядно представляет вариант приготовления продукта и акцентирует внимание на натуральности и экологичности.

Необходимо учитывать все составляющие бренда, чтобы успешно взаимодействовать с целевой аудиторией, опираясь на эффективное сегментирование и локальное позиционирование [13, 14]. В сфере розничной торговли фермерской продукцией брендинг оказывает влияние на то, как покупатели оценивают качество и значимость товара. Не имеющие бренда (ноунейм) продукты питания благодаря маркетинговым инструментам сегодня превращаются в товарную единицу, а сама торговая сеть транслирует имидж бренда и эмоциональную связь с покупателями [15].

Бренд «Калина-Малина» – фермерский кооператив, который является частью группы компаний «Волков А. П.», в который на данный момент входят пять компаний: Крестьянское хозяйство А. П. Волков; Фермерский кооператив «Калина-Малина»; Кузбасский бройлер; Заринский мясоперерабатывающий завод; эко-пункт «Точка сбора».

Несмотря на сокращение числа фермерских хозяйств в России, включая Сибирь, с 223 тыс. в 2014 г. до 162 тыс. в конце 2022 г., спрос на фермерскую продукцию за тот же период вырос на 60 %. Прибыль предприятий выросла на 2,5 млрд руб. Стоимость фермерской продукции в среднем на 30 % превышает стоимость обычной. Натуральность, качество и лояльность помогают потребителю отдать предпочтение бренду «Калина-Малина».

К 2023 г. компания насчитывала три завода (Кемерово, Новокузнецк и Заринск) и имела оборот свыше 6,75 млрд руб. и более 2000 товаров собственного производства. В фирменную розничную сеть входят 115 магазинов «Калина-Малина», 48 из них работают по франшизе в Кемеровской, Новосибирской, Томской областях, Красноярском и Алтайском краях. Во всех магазинах представлена фермерская продукция местных производителей под брендом «Калина-Малина», что накладывает определенные требования к форми-

рованию ассортиментной матрицы на основе позиционирования. Уже к 2025 г. компания планирует достичь выручки в 10,5 млрд руб/г.

Сеть «Калина-Малина» относится к типу розничных торговых предприятий FMCG, или предприятий товаров повседневного спроса. В данном сегменте конкуренция находится на высшем уровне и для товара / магазина важно каждый раз «выигрывать» в уникальности перед огромным множеством конкурентов. Она может стать тем важным элементом, который привлечет потребителя, а в дальнейшем сделает его лояльным и введет в ряды постоянных покупателей.

«Калина-Малина» – это сеть магазинов, характеризующаяся высокой частотой повторных посещений покупателей. Функциональными особенностями данной сети являются ориентация на предоставление хорошего сервиса и реализация продуктовой натуральной линейки, отвечающей критериям качества. Доходность сети розничных магазинов соответствует прогнозируемым значениям. На основе этого успеха владельцы разработали экономически привлекательную франшизу, востребованную среди предпринимателей, разделяющих ценности и цели бренда. В каждом регионе создана своя франчайзинговая сеть из местных предпринимателей, для которой основными поставщиками являются найденные и / или профинансированные фермеры. Связь франшизы и фермеров является достаточно важным элементом при реализации миссии компании, так как потребители приобщаются к продукции местных производителей, и в стране становится больше предпринимателей на локальном уровне.

В сети магазинов «Калина-Малина» представлены натуральные продукты, произведенные в соответствии с принципами компании:

1. Наши фермеры замечательные люди, которые живут и трудятся в Сибири!

2. Мы работаем только с мелкими фермерами, в рядах наших поставщиков нет холдингов.

3. Мы равнодушны к проблеме экологии, поэтому в наших рядах только те фермеры, которые применяют экологические технологии, не наносят вред окружающей среде.

4. Покупая наши продукты, вы не просто покупаете еду, вы участвуете в развитии конкретного фермера из конкретного района, о чем мы пишем на этикетках.

5. Доверие – главный принцип кооператива! Мы доверяем своим фермерам, именно поэтому, мы не регулируем цену фермера, а считаем ее справедливой и адекватной. Мы доверяем своим покупателям – поэтому принимаем все жалобы на качество продукции и возвращаем деньги даже без чека.

Кооператив называется фермерским, так как он поддерживает и развивает мелкие фермерские хозяйства Сибири. Отделы с продукцией «Калины-Малины» предлагают ассортимент, состоящий исключительно

из продуктов небольших фермерских хозяйств, которые поставляют продукцию специально для данной сети.

Анализ бренда «Калина-Малина» направлен на определение его рыночного позиционирования и особенностей восприятия потребителями в контексте розничной сети. При этом анализе важно учесть посылы и смыслы, миссию бренда, которые закладывает компания, а также понимают ли все это потребители. Если ожидания компании и отношение потребителей сходятся, то бренд можно считать успешным и продаваемым [16].

Как и все бренды, «Калина-Малина» имеет свою миссию – «Приобщая людей к натуральным продуктам, мы возрождаем хозяев своей земли». Акцент сделан на осознанном потреблении натуральных продуктов, поддержке местных фермеров, развитии сельского хозяйства региона.

Big idea бренда «Калина-Малина» – центр его коммуникационной стратегии; это главная креативная идея, заложенная в основе всех рекламных активностей и мероприятий в разных каналах коммуникации. Коммуникация – важная составляющая бренда, которая напрямую связана с продажами в торговом пространстве, и она должна: быть простой и понятной для целевой аудитории; соответствовать ключевому сообщению и платформе бренда (Tone of Voice), «личности» бренда, ценностям, выгоде и т. д.); вызывать интерес и надолго оставаться в памяти покупателей; легко реализовываться в любом канале коммуникации и задавать единый стиль бренда; помочь выделить бренд среди конкурентов; существовать на рынке длительное время и поддерживать бренд независимо от географии его присутствия.

Как указано в корпоративном брендбуке компании, посыл «Калины-Малины» заключается во фразе – «Продаем натуральные продукты местных фермеров для осознанных людей, для людей, думающих о том, что именно они едят, и помогаем фермерам развиваться и предлагать свои натуральные продукты большому количеству людей, развиваем сельское хозяйство в Сибири». Слово «натуральность» является самым часто употребляемым и значимым в брендинге данной компании.

Одним из важных элементов при разработке бренда является Tone of Voice («голос» бренда) – правила общения с аудиторией через разные каналы коммуникации и фирменный стиль. У «Калины-Малины» есть четкая инструкция поведения Tone of Voice (табл. 1).

«Калина-Малина» обладает набором собственных характеристик (табл. 2), которые помогают специалистам в его продвижении и развитии, а потребителям – в понимании и восприятии его ценностей. Акцент, как и ранее, сделан на натуральности, экологичности, заботе, локальности продуктов и их производителей.

В визуальном оформлении «Калины-Малины» используются преимущественно – светло-бордовый (#E51C4C) и темно-зеленый (#5A3B27) цвета, а также

Таблица 1. Описание Tone of Voice «Калина-Малина»

Table 1. Tone of voice of Kalina-Malina brand

Голос бренда	Любит говорить о...	В бренде не упоминается	Потому что...
Понятен простому потребителю	О конкретных фермерах Сибири из конкретных районов	Информация о скидках на продукты	Потому что мы не хотим обесценивать наш продукт. Лучше мы сделаем подарок нашему покупателю, чем снизим цену на продукт
Если обычный потребитель не понимает содержания, значит это не язык «Калины-Малины»	Об уникальности, натуральности и экологичности своих продуктов	Научная терминология	Не подходит бренду
Забота о потребителе и его здоровье	О возможности поучаствовать в развитии конкретных фермеров из конкретных районов	Информация о технологиях и сложных процессах	«Калина-Малина» построена вокруг людей, она про людей и для людей
Старается звучать по-сибирски, с упором на локальность	О том, что «Калина-Малина» – это бренд Агрохолдинга Крестьянского хозяйства «Волков»	О крупных фермерах / производителях	Потому что любит и помогает мелким местным фермерам

Таблица 2. Характеристика бренда «Калина-Малина»

Table 2. Characteristics of Kalina-Malina brand

Характеристика	Описание	Значение
Местный / природный	Наши продукты выращены и изготовлены на сибирской земле локальными мелкими фермерами. Мы гордимся, что вот уже 8 лет сохраняем натуральность наших продуктов, оставаясь актуальными для своих гостей	Относящийся только к определенной местности, не общий; тот, кто живет в данной местности; не завезенный, произведенный в данной местности; здешний, не привозной
Уникальный	Продукты производятся в Сибири местными фермерами и поставляются напрямую в магазины «Калина-Малина». Ассортимент продукции достаточно широкий и продается только в данной сети. Уникальность продуктовой линейки выгодно отличает нас от других магазинов	Редкий, единственный в своем роде, исключительный, неповторимый, существующий в единственном экземпляре
Экологичный	Мы – экологически ответственная компания, которая выстраивает свою работу на основе сохранения экологического равновесия. Наша деятельность направлена на гармоничное развитие человека и природы	Не оказывающий вредного влияния на природу
Прогрессивный	При всей нашей приверженности традициям – мы современны, развиваемся в профессиональном и личном плане и задаем тренды. Мы нацелены на поиск новых решений и лояльны ко всем изменениям	Способствующий прогрессу, проникнутый передовыми идеями, настроениями. Отличающийся передовым мышлением и взглядами. Постепенно возрастающий
Гостеприимный / дружелюбный	Мы предлагаем гостям качественный сервис (находим механику распознавания предпочтений гостей, предугадываем, что еще можно предложить, рассказываем о новинках; любим дарить подарки и устраивать дегустации наших продуктов). Мы отзывчивы и приветливы; не оцениваем гостя и рады каждому!	Отличающийся гостеприимством, радушный к гостям

некоторые дополнительные оттенки натуральных текстур. Они символизируют естественность и натуральность, лаконично вписываются в интерьер торговых точек, который выполнен из дерева и ткани, но в редких случаях – из камня и металла.

Бренд – это не просто название, а ментальный образ, который формируется в сознании потреби-

лей. Для бренда «Калина-Малина» этот образ создается с помощью системы символов, позволяющих идентифицировать и отличать компанию от конкурентов. Но главное – его восприятие потребителями. Необходимо выявить, что в их отношении отличается от задуманного компанией для разработки дальнейших рекомендаций.

В рамках анализа позиции бренда на рынке применен комплексный метод [9], включающий две подсистемы показателей: положения бренда на рынке и представления о бренде. Для анализа показателей представления о бренде применен метод шкалирования. Ввиду невозможности использования семантического дифференциала выраженность характеристик бренда, четкость его образа, узнаваемость и его понимание (через ассоциации) оценивались при помощи шкалы Лайкерта.

С целью исследования уровня выраженности характеристик бренда для потребителей в г. Кемерово посредством современных коммуникационных технологий проведен опрос 300 респондентов, которые минимум один раз совершили покупку в розничной сети «Калина-Малина». Результаты шкалирования (рис. 1) показали, что заявляемые брендом характеристики потребители понимают и ассоциируют с ним, однако при вопросе о представлении бренда как уникального и прогрессивного у покупателей возникают сомнения.

Осведомленность потребителей о логотипе компании является важным показателем при анализе узна-

ваемости бренда, поскольку он выполняет функцию визитной карточки и ключевого визуального идентификатора [17]. На вопрос «Я знаю, как выглядит логотип бренда “Калина-Малина”?» 84,5 % опрошенных дали утвердительный ответ (рис. 2).

Не менее важным является ассоциативный ряд с одним из элементов бренда – коммуникацией. Tone of Voice «Калины-Малины» детально прописан и активно используется компанией. На рисунке 3 представлен уровень узнаваемости Tone of Voice как дружелюбного бренда. Более половины опрошенных (69,9 %) считают его дружелюбным, что подтверждает соответствие заявленным характеристикам бренда. Лишь незначительное меньшинство (3,4 %) не разделяет этой точки зрения.

На рисунке 4 показан уровень узнаваемости бренда через ассоциацию с натуральными продуктами. Более 70 % опрошенных вспоминают о бренде, когда заходит речь о натуральных продуктах.

Результаты, полученные на вопрос «Я знаю, как выглядят магазины сети “Калина-Малина”», показывают, что у респондентов нет четкого представления

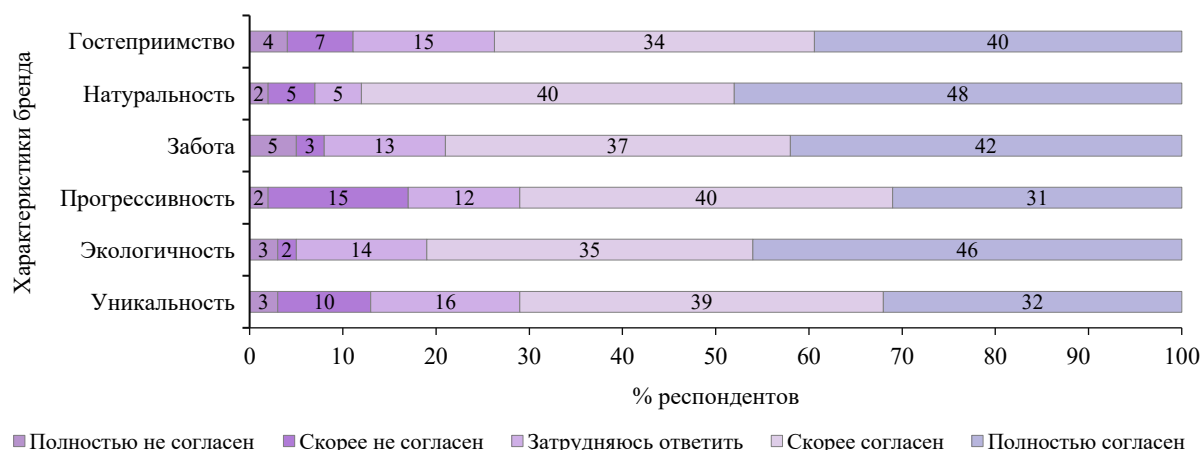


Рисунок 1. Результаты анализа характеристик бренда

Figure 1. Analysis of brand characteristics

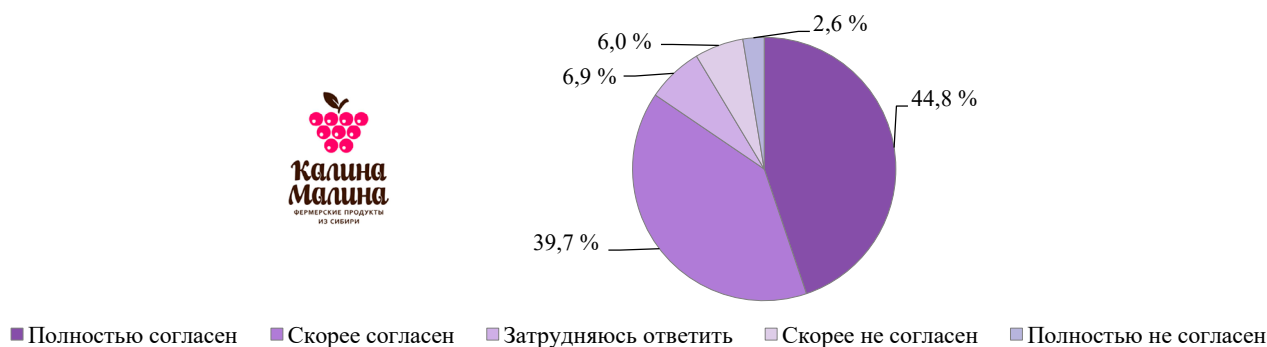


Рисунок 2. Узнаваемость логотипа «Калина-Малина»

Figure 2. Logo awareness of Kalina-Malina brand

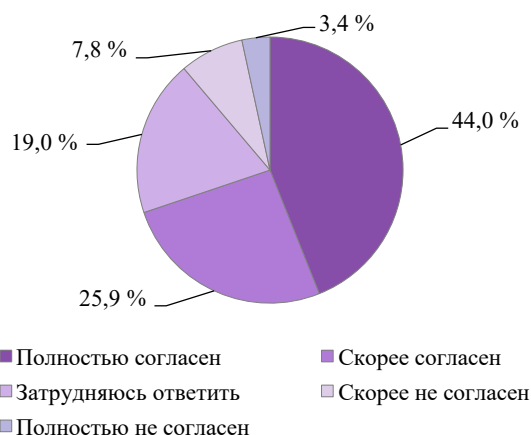


Рисунок 3. Уровень узнаваемости Tone of Voice «Калина-Малина» как дружелюбного

Figure 3. Kalina-Malina's tone of voice as friendly

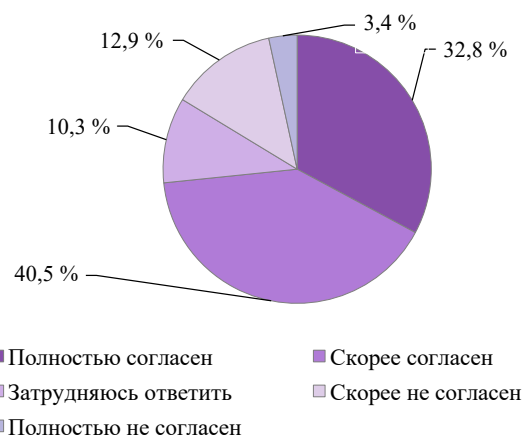


Рисунок 4. Ассоциация бренда «Калина-Малина» с натуральными продуктами у потребителей

Figure 4. Kalina-Malina's link with natural products



Рисунок 5. Узнаваемость визуального оформления торговых точек «Калины-Малины»

Figure 5. Visual design awareness of Kalina-Malina outlets

о визуальном оформлении магазинов данной розничной торговой сети (рис. 5). Эта проблема может быть связана с тем, что 4 % торговых точек компании работают по франшизе. Недостаточный контроль за соблюдением единого визуального стиля во франчайзинговых точках снижает узнаваемость бренда и подрывает его ценность для потребителей.

Для изучения положения бренда на рынке использованы методы – экспертный опрос для показателей предложения бренда и стандартизированный опрос потребителей для показателей реакции рынка на бренд.

Экспертный опрос составлен в соответствии с моделью комплекса маркетинга 4Р. В результате его проведения выявлены: уровень воспринимаемого качества брендированного товара, запас брендированного товара, ценовая политика бренда, широта географического охвата рынка, интенсивность комму-

никационного воздействия и широта коммуникации. Результаты и содержание экспертного опроса представлено в таблице 3. В нем приняли участие пять экспертов (специалисты сферы маркетинга и потребители продукции «Калина-Малина»).

По итогам опроса следует, что эксперты высоко оценивают состояние маркетинга компании, важной составляющей которого напрямую является бренд.

С целью анализа реакции рынка на бренд показатели, полученные в ходе стандартизированного опроса потребителей, были классифицированы по четырем подгруппам:

1. Показатели реакции потребителей – исследование осведомленности потребителей о бренде, уровня удовлетворенности и частоты совершения покупок (первичные и повторные).

2. Показатели партнеров – изучение доли партнеров бренда, доли партнеров, удовлетворенных сотрудничеством с компанией, и доли партнеров, заинтересованных в долгосрочном сотрудничестве.

3. Показатели реакции конкурентов – оценка восприятия конкурентами бренда. В частности, определяется доля компаний, считающих данный бренд своим конкурентом.

4. Показатели реакции контактных аудиторий – оценка доли контактных аудиторий, лояльных к бренду и заинтересованных в сотрудничестве с ним.

При помощи анализа документации и информации организации получены данные по показателям реакции партнеров, конкурентов и контактных аудиторий (табл. 4).

Для исследования показателей реакции потребителей проведен стандартизированный опрос потребителей, в котором приняли участие 130 потребителей «Калины-Малины». Опрос проходил в торговых точках г. Кемерово по адресам: ул. Сарыгина, 36; бульвар Строителей, 42.

Таблица 3. Результаты экспертного опроса, балл

Table 3. Expert survey

Вопрос	Балл	Эксперт					Средняя оценка
		I	II	III	IV	V	
Товар							
Как вы оцениваете качество представленного товара?	0 – низкое 1 – среднее 2 – высокое	2	2	1	2	2	1,8
На сколько баллов вы оцените широту ассортимента бренда «Калина-Малина»?	0 – узкий 1 – средний 2 – широкий	1	1	2	2	2	1,6
Цена							
Считаете ли вы цены «Калины-Малина» завышенными?	0 – да 2 – нет	2	2	0	1	2	1,4
Являются ли, по-вашему мнению, цены конкурентоспособными?	0 – нет, цены высоки 2 – да, цены конкурентоспособны	2	2	1	1	2	1,6
Распределение							
Оцените широту охвата рынка г. Кемерово в сегменте фермерской продукции брендом «Калина-Малина»	0 – узкий 1 – средний 2 – широкий	2	1	1	1	2	1,4
Продвижение							
Оцените интенсивность коммуникационного воздействия бренда «Калина-Малина»	0 – низкая 1 – средняя 2 – высокая	2	2	2	2	2	2,0

Таблица 4. Реакция партнеров, конкурентов и контактных аудиторий на бренд

Table 4. Reactions of partners, competitors, and contact audiences to Kalina-Malina brand

Показатель		%	Вывод
Реакция партнеров	Партнеры, сотрудничающие с брендом	80	Из 100 % фермеров Кемеровской области с брендом сотрудничает 80 % хозяйств. Все партнеры бренда удовлетворены сотрудничеством и 80 % из них продолжают его в долгосрочной перспективе
	Партнеры, удовлетворенные сотрудничеством с компанией	100	
	Партнеры, заинтересованные в долгосрочном сотрудничестве	80	
Реакция конкурентов	Компании, расценивающие бренд как конкурента	90	Для выявления данных опрошены продавцы фермерской продукции и представители рынков / базаров. 100 % опрошенных убеждены, что бренд «Калина-Малина» – сильный игрок в сегменте
	Компании, оценивающие бренд как сильного игрока на рынке	100	
Реакция контактных аудиторий	Лояльные к бренду контактные аудитории	100	Фермеры, спонсоры и предприниматели города Кемерово лояльны к «Калине-Малине», но лишь 70 % из них готовы к сотрудничеству
	Контактные аудитории, готовые сотрудничать с брендом	70	

Бренд «Калина-Малина» обладает исключительно высокой узнаваемостью – 99,1 % потребителей знают о его существовании. Лишь незначительная часть (0,9 %) не знакома с ним, что свидетельствует об эффективности коммуникационной стратегии бренда.

На вопрос «Считаете ли вы, что фраза “Приобщая людей к натуральным продуктам, мы возрождаем хозяев своей земли” соответствует бренду?» 50,5 % респондентов дали отрицательный ответ. Это говорит о том, что слоган недостаточно понятен потребителям и его считают несоответствующим.

69,8 % респондентов положительно ответили на вопрос «Считаете ли вы бренд “Калина-Малина” лидером в сфере торговли фермерскими продуктами?», однако

30,2 % не поддержали данное утверждение, что указывает на необходимость дальнейшего анализа факторов, влияющих на формирование мнения о бренде.

Анализ полученных ответов потребителей об отношении к бренду «Калина-Малина» выявил преобладание положительных оценок (56,5 %). Значительная часть респондентов (35,8 %) продемонстрировала нейтральное отношение, а негативные были зафиксированы лишь у малой части опрошенных (7,5 %), что свидетельствует о преимущественно хорошем имидже бренда.

На вопрос «Насколько вы удовлетворены продукцией и услугами бренда “Калина-Малина”?», где 1 – не удовлетворен(а) совсем, 5 – полностью удовлет-

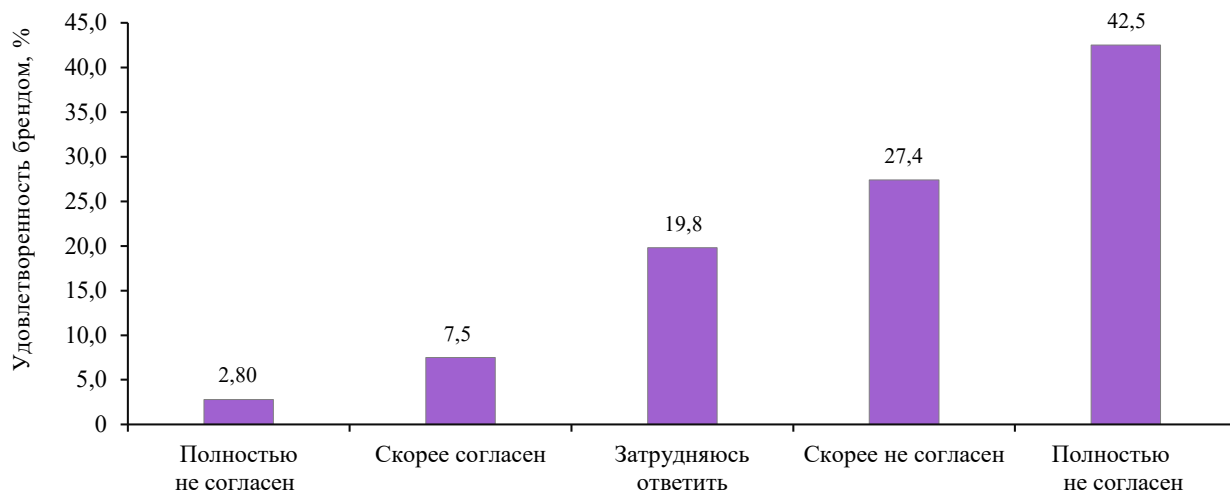


Рисунок 6. Доля потребителей, удовлетворенных брендом «Калина-Малина»

Figure 6. Consumers' satisfaction with Kalina-Malina brand

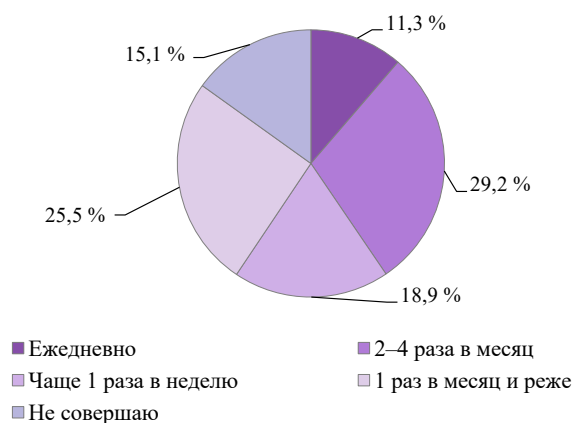


Рисунок 7. Частота покупок в фирменных магазинах «Калина-Малина»

Figure 7. Purchase frequency in Kalina-Malina outlets

ворен(а), 45 % опрошенных ответили, что полностью удовлетворены брендом, 2,8 % выразили полную неудовлетворенность (рис. 6).

Стоит отметить, что большинство опрошенных являются постоянными потребителями «Калины-Малины». Данные о частоте покупок представлены на рисунке 7.

Разработанные компанией характеристики бренда, его поведение и позиционирование на рынке признаны успешными. Партнеры относятся к бренду положительно и считают его привлекательным для сотрудничества, потребители понимают задумки бренда и проявляют к нему лояльность, эксперты высоко оценивают маркетинг «Калина-Малина». Несмотря на положительные аспекты, нельзя отрицать наличие проблем, которые связаны с непониманием слогана компании и отсутствием восприятия «Калины-Малины»

как уникального бренда на рынке большинством потребителей. На данный момент слоган звучит как: «Приобщая людей к натуральным продуктам, мы возрождаем хозяев своей земли». Часть – «Приобщая людей к натуральным продуктам» – отражает один из принципов торговой сети – натуральность – и утверждает, что «Калина-Малина» в своей деятельности работает над желанием людей покупать только натуральные продукты. А в продолжении – «мы возрождаем хозяев своей земли» – речь идет о фермерах, поставщиках, которым компания помогает продвигать и продавать товары, подталкивает новых фермеров расширять свои пределы и хозяйства, а также стимулирует интерес потребителей к открытию собственного производства. Но акцент делается именно на местности – локально, так как «своей» земли. Следовательно, слоган передает основные принципы и ценности «Калины-Малины» (натуральное, фермерское, локальное).

Опрос показал, что слоган недостаточно понятен потребителю и не вызывает ассоциаций с компанией, что препятствует эффективной маркетинговой коммуникации с целевой аудиторией [18]. Вероятнее всего, потребители не воспринимают значение фразы. Сложный слоган вызывает у людей недоверие, и наблюдается отсутствие ассоциации с брендом.

Для решения данной проблемы предложены несколько вариантов слогана, разработанные с помощью современных цифровых технологий, которые отвечают требованиям: сохранение принципов и ценностей компании – натуральное, фермерское, локальное; понятность для потребителя; вирусность – слоган должен быть запоминающимся, тогда бренд становится более узнаваемым; использование в слогане названия компании. По данным Millward Brown (международная исследовательская группа) такой прием делает слоган более запоминающимся для потребителей [19].

Для разработки слоганов применялись современные цифровые технологии, в которые были внесены необходимые требования, затем определены наиболее подходящие варианты:

1. «Калина Малина» – продукты для настоящих хозяев!
2. Возродим землю вместе с «Калиной-Малиной».
3. Свежесть прямиком с земли от «Калины-Малины».
4. Природа в каждом блюде от «Калины-Малины».
5. Натуральность – это наше призвание, «Калина-Малина».
6. Команда «Калины-Малины»: от фермера до стола.
7. Сделайте выбор в пользу здорового питания с «Калиной-Малиной».
8. «Калина-Малина» – домашний вкус и забота о здоровье.
9. Полезные продукты ближе, чем кажутся, с «Калиной-Малиной».
10. Качество продуктов начинается с «Калины-Малины».
11. Свежесть из наших полей – на вашем столе с «Калиной-Малиной»!
12. Продукты от фермера – здоровье от природы в каждом кусочке!
13. Лучшие фрукты и овощи рядом с вами – Будьте здоровы с «Калиной-Малиной»!
14. Натуральный вкус и качество – это забота «Калины-Малины»!
15. Лучшее из своего региона – «Калина-Малина» со вкусом родного дома!
16. От фермы к вашему столу – с «Калиной-Малиной» всегда свежие продукты!
17. Покупайте прямо от производителя – с «Калиной-Малиной» вкус и качество гарантированы!
18. Фермерское очарование – в каждом кусочке продукта от «Калины-Малины»!
19. Местное производство – забота о природе и качестве продукции с «Калиной-Малиной»!
20. Выбирай свои продукты от местного фермера – выбирай «Калину-Малину»!

Слоганы были сформулированы простым и понятным для потребителя языком и смогут послужить альтернативой слогану, который используется компанией в настоящее время. Среди предложенных вариантов есть слоганы, ориентированные на разные возрастные группы.

Недостаточное восприятие уникальности бренда потребителями – важная проблема для «Калины-Малины», поскольку уникальность является ключевым принципом ее работы. Для ее повышения рекомендуется: определить уникальное торговое предложение, создать узнаваемый фирменный стиль, активно использовать социальные сети, тестировать различные форматы рекламы, сегментировать рынок, привлекать блогеров-инфлюенсеров и улучшать качество обслуживания. Важно, чтобы уникальность проявлялась не только в продукте, но и в сервисе.

Следуя вышеперечисленным пунктам, «Калине-Малине» следует развивать работу с инфлюенсерами. Разобьем аудиторию торговой сети на две части: широкая и постоянная – люди старше 30 лет с доходом выше среднего; потенциальная – люди до 30 лет со средним и низким доходом. В качестве инфлюенсеров для аудитории старше 30 лет могут выступить блогеры г. Кемерово, с аудиторией, подходящей под обозначенное описание.

Система амбассадоров не только поспособствует увеличению продаж, но и решает две ключевые проблемы «Калины-Малины»: отсутствие узнаваемого «лица» бренда и ограниченность целевой аудитории более старшим поколением. Амбассадорство позволит привлечь молодую аудиторию, для которой прежний образ бренда был недостаточно привлекательным и понятным.

Выводы

Примененный метод анализа выявил две ключевые проблемы бренда: непонимание слогана и сомнения в уникальности. Решение этих проблем через смену слогана и развитие работы с амбассадорами и блогерами-инфлюенсерами позволит не только повысить узнаваемость, подчеркнуть уникальность, создать «лицо» бренда, но и эффективно транслировать ценности и смыслы компании, донося их до потребителей и потенциальных покупателей. Это, в свою очередь, будет положительно сказываться на лояльности потребителей и эффективности работы маркетинговой стратегии компании.

Благодаря анализу был выявлен потенциал бренда «Калины-Малины» для укрепления связи с потребителями и повышения их лояльности. Устранение выявленных недочетов и акцент на раскрытии ценностей, едином стиле и уникальности позволят компании занять лидирующие позиции в сфере торговли фермерскими продуктами в г. Кемерово, что положительно отразится на росте продаж.

В данном исследовании приведены современные подходы к решению проблем, которые помогут повысить лояльность потребителей и передать обществу ценности компании в доступном виде, что повлечет за собой повышение продаж. Предложенные варианты решения проблем можно использовать и для других предприятий в других сферах торговли продуктами питания.

Критерии авторства

Все авторы принимали равное участие в исследовании, обработке данных, написании текста рукописи и несут равную ответственность за плагиат. В. Г. Шадрин руководил работой.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

V.G. Shadrin supervised the project. All authors participated equally in the research, data processing, and writing.

Conflict of interest

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

Список литературы / References

1. Алиева А. Х. Основные этапы и содержание бренд-стратегии торгового предприятия. *Индустриальная экономика*. 2021. № 5–7. С. 621–626. [Alieva AH. The main stages and content of the brand strategy of the trading enterprise. *Industrial Economics*. 2021;(5–7):621–626. (In Russ.)] https://doi.org/10.47576/2712-7559_2021_5_7_621
2. Капустина Л. М., Миколенко А. С., Сысоева Т. Л. Бренд-менеджмент на рынке продовольственных товаров. *Вестник академии знаний*. 2022. № 53. С. 421–424. [Kapustina LM, Mikolenko AS, Sysoeva TL. Brand management in the food market. *Bulletin of the Academy of Knowledge*. 2022;(53):421–424. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/NRPDRG>
3. Keller KL, Lehmann DR. Brands and branding: Research findings and future priorities. *Marketing Science* 2006; 25(6):740–759. <https://doi.org/10.1287/mksc.1050.0153>
4. Maurya UK, Mishra P. What is a brand? A perspective on brand meaning. *European Journal of Business and Management*. 2012;4(3):122–133.
5. Бычкова С. М., Жидкова Е. А., Швец О. В. Роль Дью Дилидженс в формировании «портрета» контрагента в условиях цифровизации. *Техника и технология пищевых производств*. 2023. Т. 53. № 3. С. 475–485. [Bychkova SM, Zhidkova EA, Shvets OV. Due Diligence in Digital profiling of a counterparty. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(3):475–485. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2450>
6. Постникова А. А. К вопросу управления брендом торгового предприятия на развивающемся рынке. *Менеджмент: теория и практика*. 2020. № 1–3. С. 194–198. [Postnikova AA. To the question of managing a brand enterprises in a developing market. *Management: Theory and practice*. 2020;(1–3):194–198. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/TGJMXV>
7. Demakova EA, Butova TG, Ulina SL, Klimovich NV, Danchenok LA. Food products branding as a new vector for improving state support for local producers. *IOP Conf. Series: Earth and Environ. Sci.* 2021;(677):022039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/2/022039>
8. Никишин А. Ф., Карашук О. С., Майорова Е. А., Большаков А. И. Анализ социальных функций торговли продуктами молочного производства. *Молочная промышленность*. 2024. № 3. С. 95–104. [Nikishin AF, Karaschuk OS, Mayorova EA, Boldiasov AI. Social functions of dairy trade. *Dairy industry*. 2024;(3):95–104. (In Russ.)] <https://www.doi.org/10.21603/1019-8946-2024-3-7>
9. Соловьева Д. В., Афанасьева С. В. Маркетинговый анализ позиции бренда на рынке: комплексный метод. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент*. 2013. № 1. С. 31–68. [Solovieva DV, Afanasieva SV. Marketing analysis of brand position: Complex method. *Vestnik of Saint Petersburg University. Management*. 2013;(1):31–68. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PXXQNJ>
10. Гриценко Г. М. Комплексный подход к развитию инфраструктуры сбыта продукции аграрного малого и микро-бизнеса. *Техника и технология пищевых производств*. 2024. Т. 54. № 3. С. 610–620. [Gritsenko GM. Agricultural marketing in small and micro businesses: An integrated approach to infrastructural development. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(3):610–620. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-3-2531>
11. Ver Ploeg M, Larimore E, Wilde P. The influence of food store access on grocery shopping and food spending. *U.S. Department of Agriculture*. 2017;(180):1–26. <http://doi.org/10.22004/ag.econ.264600>
12. Шадрин В. Г. Особенности брендинга в сфере розничной торговли фермерскими продуктами. *Journal of Agriculture and Environment*. 2024. № 1. С. 20. [Shadrin VG. Specifics of branding in the sphere of retail sales of farm products. *Journal of Agriculture and Environment*. 2024;(1):20. (In Russ.)] <https://doi.org/10.23649/JAE.2024.41.12>
13. Grujić S, Grujić M. Factors affecting consumer preference for healthy diet and functional foods. *Foods and Raw Materials*. 2023;11(2):259–271. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-2-576>
14. Tellström R, Gustafsson IB, Mossberg L. Consuming heritage: The use of local food culture in branding. *Place Brand*. 2006;2:130–143. <https://doi.org/10.1057/palgrave.pb.5990051>
15. Маюрникова Л. А., Кокшаров А. А., Крапива Т. В., Петкович А. И., Мешков В. О. Анализ и перспективы инновационного развития предприятий общественного питания. *Техника и технология пищевых производств*. 2023. Т. 53. № 1. С. 140–149. [Mayurnikova LA, Koksharov AA, Krapiva TV, Petkovich AI, Meshkov VO. Public catering enterprises: Analysis and prospects of innovative development. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2023;53(1):140–149. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2421>
16. Бекузарова З. В. Влияние покупательской вовлеченности в бренд на удовлетворенность и лояльность потребителей. *Экономические исследования и разработки*. 2022. № 3. С. 23–29. [Bekuzarova ZV. The impact of brand engagement on customer satisfaction and loyalty. *Economic Development Research Journal*. 2022;(3):23–29. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/CAGXWU>

17. Старов С. А., Черенков В. И., Гладких И. В., Кирюков С. И. Собственная торговая марка как бренд. Маркетинг и маркетинговые исследования. 2020. № 2. С. 104–118. [Starov SA, Cherenkov VI, Gladkikh IV, Kiryukov SI. Private label as a brand. Marketing i marketingovye issledovania. 2020;(2):104–118. (In Russ.)] <https://doi.org/10.36627/2074-5095-2020-2-2-104-118>
18. Шемчук М. А., Комарчева О. С., Шадрин В. Г. Барьеры маркетинговых коммуникаций и пути их преодоления. Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 294–308. [Shemchuk MA, Komarcheva OS, Shadrin VG. Marketing communication barriers and how to overcome them. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):294–308. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/20749414-2023-2-2433>
19. Фролов Д. Измерения брендов: значимые отличия. Research and trends. [Frolov D. Brand dimensions: Major differences. Research and trends. [cited 2024 Sept 25]. (In Russ.)] Available from: https://www.r-trends.ru/news/news_921.html
20. Писарева Е. В. Инфлюенс-маркетинг как инструмент эффективной коммуникации в цифровой среде. Beneficium. 2023. № 4. С. 85–91. [Pisareva EV. Influencer marketing as a tool for effective communication in the digital environment. Beneficium. 2023;(4):85–91. (In Russ.)] [https://doi.org/10.34680/BENEFICIUM.2023.4\(49\).85-91](https://doi.org/10.34680/BENEFICIUM.2023.4(49).85-91)
21. Краснов А. С. Влияние инфлюенс-маркетинга на трансформацию модели принятия решения о покупке. Маркетинг и маркетинговые исследования. 2024. № 2. С. 128–134. [Krasnov AS. Impact of influencer's marketing on the transformation of the purchase decision model. Marketing i marketingovye issledovania. 2024;(2):128–134. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/ALHOLK>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2583>
<https://elibrary.ru/GTPUFE>

Оригинальная статья
<https://fppt.ru>

Влияние препарата Юнигель Плантум на качество урожая листового салата



**Ф. К. Арипова^{1,2}, Е. П. Гончарова¹, В. А. Рябинина³,
В. И. Коркина⁴, К. О. Плотников³, А. В. Корель¹,
Г. А. Душанова⁵, Е. А. Литвинова^{1,*}**

¹ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³ ООО «Фитодиагностика», Новосибирск, Россия

⁴ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Россия

⁵ Самаркандский государственный университет имени Шарафа Рашидова, Самарканд, Узбекистан

Поступила в редакцию: 01.04.2025

Принята после рецензирования: 20.05.2025

Принята к публикации: 03.06.2025

*Е. А. Литвинова: e.litvinova@corp.nstu.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-6398-7154>

В. А. Рябинина: <https://orcid.org/0000-0002-5800-208X>

В. И. Коркина: <https://orcid.org/0000-0002-9472-5787>

К. О. Плотников: <https://orcid.org/0000-0001-9049-9156>

А. В. Корель: <https://orcid.org/0000-0002-2945-3658>

Г. А. Душанова: <https://orcid.org/0000-0003-0971-5160>

© Ф. К. Арипова, Е. П. Гончарова, В. А. Рябинина, В. И. Коркина, К. О. Плотников,
А. В. Корель, Г. А. Душанова, Е. А. Литвинова, 2025



Аннотация.

Тепличное земледелие – это инновационная модель сельского хозяйства и инструмент для достижения устойчивого производства овощной продукции. В современных тепличных комплексах с применением гидропоники овощи и салаты выращивают даже в регионах Крайнего Севера и на острове Сахалин. Для повышения качественных и количественных показателей зеленого салата необходимо разработать структуру аналога почвы при использовании технологии выращивания на субстрате минеральной ваты в условиях гидропоники. Биодegradируемый гель для стабилизации и пролонгированного эффекта внесенных органоминеральных комплексов в сочетании с почвенными микроорганизмами может быть оптимальным решением.

Объектом исследования выбран салат сорта Афицион, выращиваемый на системе гидропоники в тепличном комплексе «Сады Гиганта». Контрольную группу растений выращивали по принятой на комбинате технологии: четырехкратная листовая обработка комбинацией препаратов Экогель и Агроцен с периодичностью 1 раз в неделю при дозировке 0,5 и 0,15 % соответственно. Опытную группу растений выращивали на субстрате, в который однократно был внесен препарат Юнигель Плантум в дозировке 0,03 г на горшок. Массу листовых розеток салата без корневой системы контрольной и опытной групп определяли после срезки путем взвешивания на весах. Влажность листьев салата определяли высушиванием до постоянного веса. Качество листового салата оценивали по содержанию сухого вещества, сырого протеина и по аминокислотному составу.

Исследовано влияние препарата Юнигель Плантум на качественные и количественные показатели, такие как срок созревания, масса, развитие корневой системы, развитость корневых волосков, содержание влаги, белка и процент аминокислот салата сорта Афицион. Оценили эффект препарата с тремя разными концентрациями гуминовых и фульвовых кислот (препарат Берес-8) для выращивания салата на гидропонике в минеральной вате в условиях тепличного комплекса. Подобрана оптимальная концентрация гуминовых и фульвовых кислот в составе препарата для выращивания салата в системе гидропоники. Применение препарата Плантум_12 повысило урожайность и скорость роста на 20 % благодаря обильно развитой корневой системы растений. Это позволило растению эффективно получать питательные вещества и привело к повышению количества незаменимых аминокислот в составе салата.

Таким образом, препарат Юнигель Плантум можно использовать в тепличных комплексах для повышения урожайности и улучшения потребительских качеств салата за счет увеличения его питательной ценности.

Ключевые слова. Листовой салат, биоудобрение, урожайность, аминокислотный состав, гидропоника

Финансирование. Работа была выполнена в рамках Соглашения о предоставлении гранта в форме субсидий из областного бюджета Новосибирской области в соответствии с п. 4 статьи 78.1 Бюджетного кодекса РФ от 26.10.2023 № 000000540699599823 5121722/№ МЛ-3, заключенным между Министерством науки и инновационной политики Новосибирской области и НГТУ (проект Сиббионоц).

Для цитирования: Арипова Ф. К., Гончарова Е. П., Рябинина В. А., Коркина В. И., Плотников К. О. и др. Влияние препарата Юнигель Плантум на качество урожая листового салата. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 429–438. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2583>

Effect of Unigel Plantum on Lettuce Quality



Farida K. Aripova^{1,2}, Elena P. Goncharova¹, Valeriya A. Ryabinina³,
Valentina I. Korkina⁴, Kirill O. Plotnikov³, Anastasya V. Korel¹,
Gavhar A. Dushanova⁵, Ekaterina A. Litvinova^{1,*}

¹ Novosibirsk State Technical University^{ROR}, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State Agrarian University^{ROR}, Novosibirsk, Russia

³ OOO Fitodiagnostika, Novosibirsk, Russia

⁴ Siberian Federal Scientific Center for Agrobiotechnologies, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

⁵ Samarkand State University^{ROR}, Samarkand, Uzbekistan

Received: 01.04.2025

Revised: 20.05.2025

Accepted: 03.06.2025

*Ekaterina A. Litvinova: e.litvinova@corp.nstu.ru,

<https://orcid.org/0000-0001-6398-7154>

Valeriya A. Ryabinina: <https://orcid.org/0000-0002-5800-208X>

Valentina I. Korkina: <https://orcid.org/0000-0002-9472-5787>

Kirill O. Plotnikov: <https://orcid.org/0000-0001-9049-9156>

Anastasya V. Korel: <https://orcid.org/0000-0002-2945-3658>

Gavhar A. Dushanova: <https://orcid.org/0000-0003-0971-5160>

© F.K. Aripova, E.P. Goncharova, V.A. Ryabinina, V.I. Korkina,
K.O. Plotnikov, A.V. Korel, G.A. Dushanova, E.A. Litvinova, 2025



Abstract.

Greenhouse farming is an innovative model of agriculture that promotes sustainable production. Advanced greenhouse complexes use hydroponics, which makes it possible to grow vegetables and salads as far north as in Russia's polar regions and on Sakhalin Island. To improve the yield and quality of lettuce, local farmers need an efficient mineral wool substrate and hydroponics. Biodegradable gels in combination with soil microorganisms are known to stabilize and prolong the effect of organic and mineral complexes.

The research featured Aficion green lettuce grown hydroponically in a greenhouse. The control plants were grown in line with the industrial technology, which involved a four-fold weekly foliar treatment with a combination of Ecogel and Agrocen at 0.5 and 0.15%, respectively. The experimental samples were grown on substrate treated with Yunigel Plantum at 0.03 g per pot. The weight of lettuce leaves without roots was determined after cutting; their moisture content was determined after drying to a constant weight. The quality of leaf lettuce was assessed by the content of solids (State Standard GOST 31640-2012), crude protein (GOST 13496.4-2019), and amino acids (M 04-87-2009).

The effect of Yunigel Plantum on quality and yield was evaluated by the ripening period, weight, root development, root hair development, moisture content, protein, and amino acids. The study also involved the effect of three different concentrations of humic and fulvic acids (Beres-8) to identify the optimal concentration.

Yunigel Plantum₁₂ increased the yield and growth rate by 20%: as it boosted the root development, the experimental lettuce absorbed nutrients and became rich in essential amino acids. Yunigel Plantum can be recommended for greenhouse lettuce farming since it proved able to increase the yield and improve the nutritional value of lettuce.

Keywords. Lettuce, biofertilizer, yield, amino acid, composition, hydroponics

Funding. The work was supported by the Government of the Novosibirsk Region (Article 78.1, 4 of the Budget Code of the Russian Federation, October 26, 2023, No. 0000005406995998235121722/No. ML-3) as part of agreement between the Ministry of Science and Innovation Policy of the Novosibirsk Region and the Novosibirsk State Technical University (Project Sibbionots).

For citation: Aripova FK, Goncharova EP, Ryabinina VA, Korkina VI, Plotnikov KO, et al. Effect of Unigel Plantum on Lettuce Quality. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):429–438. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2583>

Введение

Рост населения мира и проблемы, с которыми сталкивается сектор производства продуктов питания, включая урбанизацию, сокращение пахотных земель и экстремальные климатические явления, требуют

инновационных решений для устойчивого развития сельского хозяйства. Развитие биологических наук и высоких технологий в области защищенных культур позволило в несколько раз увеличить урожайность и улучшить качество продукции. В настоящее

время овощи и салаты выращивают даже в регионах Крайнего Севера и на острове Сахалин в современных тепличных комплексах с использованием гидропоники. Данный способ применяется не только для производства овощных культур, но и для культивирования и ускорения развития сои в регионах с ограниченным периодом вегетации в открытом грунте [1]. Субстратные технологии позволяют получать значительный урожай с небольших площадей, по сравнению с классическими грунтовыми вариантами, которые имеют целый ряд ограничений, включая потребность в большом объеме субстрата, и высокий риск заражения грунта различными вредителями. В промышленных тепличных комплексах отдается предпочтение таким субстратам, как минеральная вата, торф и кокосовое волокно, обладающим высокой влагоудерживающей способностью, у которых отсутствуют токсичные соединения, семена сорных растений и патогенные микроорганизмы.

При оптимизации агротехнических процессов с целью повышения скорости роста посредством современных технологий важно сохранить качество и товарный вид продукта при транспортировке. Гидропонная технология обеспечивает возможность стандартизации состава питательных растворов, а многократное (от 5 до 50 раз в сутки) внесение последних способствует интенсивному росту и развитию растений. Однако в таких условиях полива субстраты не способны сохранить все важные компоненты (полезные микроорганизмы, гуминовые и фульвовые кислоты, хелатные комплексы и аминокислоты), которые обычно присутствуют в почве. Следовательно, для имитации почвенных условий в гидропонных системах необходима разработка носителя для субстрата, способного сохранять, стабилизировать и постепенно высвобождать полезные компоненты.

В Новосибирском государственном техническом университете, в рамках программы «Приоритет 2030», получены модифицированные соединения на основе хитозана – безопасные биогели, способные удерживать, транспортировать и отдавать разные полезные вещества. Разработана линейка многофункциональных гелей-носителей, эффективно сорбирующих различные действующие вещества и микроорганизмы, которые подбираются под конкретную задачу. В лаборатории университета проведено изучение динамики загрузки микроорганизмов в биогели и эффективности их доставки в разные отделы кишечного тракта модельных животных [2]. В настоящее время оценивается эффективность антибактериальной терапии с применением биогеля для доставки препарата непосредственно в очаг воспаления либо максимально близко к нему, что позволяет поддерживать терапевтическую концентрацию за счет его постепенного высвобождения [3, 4]. С целью обеспечения качественной пролонгированной доставки почвенных бактерий, гуминовых и фульвовых кислот, а также микроэлементов в почву, повышения

эффективности использования питательных веществ и снижения предуборочных потерь урожая (до 40 % [5]) разработан комплекс Юнигель Плантум в рамках проекта, поддержанного министерством науки и инноваций Новосибирской области. Планируются испытания разработанного комплекса на гидропонной установке при промышленном выращивании салатов. Его использование позволит растениям лучше адаптироваться к стрессам гидропонного культивирования и повысит урожайность и качество продукции.

Листовой салат – одна из наиболее востребованных и потребляемых зеленых культур на рынке России, которая выращивается в условиях защищенного грунта. По содержанию питательных веществ он входит в десятку самых полезных растительных продуктов. Листовой салат обладает низкой калорийностью, но богат витаминами, микроэлементами, антиоксидантами и полифенолами [6]. Зеленые культуры, наряду со многими другими полезными свойствами, выступают важным источником белка. Особую ценность представляют продукты с повышенным содержанием незаменимых аминокислот. Они должны поступать в организм человека в необходимом количестве ежедневно в качестве строительного материала и для обеспечения метаболических потребностей [14]. Аргинин играет важную роль в организме, так как он способствует синтезу оксида азота, который улучшает кровоток и питание мышц, потенциально влияет на выработку инсулина и необходим для работы мозга. Гистидин – это незаменимая аминокислота, которая участвует в выработке гистамина – медиатора реакций иммунной системы – и имеет решающее значение для нормальной работы мозга, а также для поддержания здоровой барьерной функции кожного покрова. Валин необходим для осуществления обмена азота в организме, а также для процессов репарации поврежденных тканей. Треонин участвует в активации иммунитета, восстановлении тканей. Фенилаланин поддерживает здоровье центральной нервной системы, укрепляет память и поддерживает метаболизм. Триптофан участвует в выработке серотонина, витамина В3. Лизин оказывает содействие в усвоении кальция и снижении уровня сахара в крови. Лейцин и его производные способствуют правильному формированию мышечных тканей, снижению уровня сахара в крови. Метионин является антиоксидантом и участвует в синтезе гормонов.

Листовой салат быстро реагирует на внесение органических удобрений [7], поэтому он подходит для проведения испытаний подобного рода препаратов. Определение оптимальной дозировки препарата позволит не только повысить урожайность тепличных зеленых культур, но и улучшить их питательную ценность, в частности, за счет увеличения содержания незаменимых аминокислот.

Препарат Юнигель Плантум включает комплекс органических веществ и микроорганизмов, необходимых для нормального роста и развития растений:

бактерии *Bacillus* (в частности, *B. subtilis*), аминокислоты, гуминовые и фульвовые кислоты (содержащиеся в препарате Берес 8), а также различные микроэлементы. Данный состав разработан с учетом того, что тепличные хозяйства обычно добавляют эти компоненты в питательные растворы для стимуляции роста и развития растений. Однако при гидропонном выращивании частый полив снижает эффективность этих добавок, так как они вымываются и не удерживаются в зоне корней на протяжении всего вегетационного периода салата. Микроорганизмы рода *Bacillus*, являясь эндофитами, не только оказывают ростостимулирующий эффект, но и повышают устойчивость к фитопатогенам.

Цель исследования – определить оптимальную концентрацию препарата Юнигель Плантум для повышения урожайности и улучшения качественных характеристик листового салата, культивируемого гидропонным способом на субстрате из минеральной ваты.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования выбран салат сорта Афицион (Rijk Zwaan). Он является наиболее популярным среди салатных линий светло-зеленого цвета типа Батавия. Допускается возможность выращивания в разных световых и климатических условиях. Этот сорт устойчив к отклонениям от оптимальной температуры, к краевому некрозу и цветущности, не вытягивается при повышенных температурах, отмечается характерная пластичность. У него наблюдается активный рост – при гидропонном выращивании рассадный период составляет около 17 дней, период доращивания – 20 дней, а вегетационный период – 30–35 дней. Средняя масса растения может достигать 500 г.

В июне 2024 г. исследования проводили в тепличном комплексе «Сады Гиганта» (Новосибирская область). Салат выращивали на рассадных столах, размещая 24 горшка с субстратом из минеральной ваты на 1 м². Полив производился методом подтопления с интервалом 150 мин, обеспечивая 10 поливов в день. Выращивание растений осуществлялось при естественном освещении, дополнительная подсветка не применялась. Результаты эксперимента оценивали через 28 дней после посева.

Контрольную группу растений выращивали по принятой на комбинате технологии: четырехкратная листовая обработка комбинацией препаратов Экогель и Агроцен с периодичностью 1 раз в неделю, в дозировке 0,5 и 0,15 % соответственно. Опытную группу растений выращивали на субстрате, в который однократно внесли препарат Юнигель Плантум в дозировке 0,03 г на горшок. Препарат, представляющий собой сухой порошок, добавляли в почву до посева.

Проведено три серии опытов с применением удобрения Юнигель Плантум (табл. 1). Первую серию экспериментов проводили с использованием стандартной формы препарата – дозировка согласно инструкции составляла 0,7 г препарата на 1 м². Вторая серия опытов с препаратом Юнигель Плантум проведена с целью подбора количества вносимых веществ при уменьшенной концентрации гуминовых и фульвовых кислот в 12 (Плантум_12) и 15 (Плантум_15) раз, при этом метод внесения и дозировку не изменяли. На основании анализа результатов первых двух серий для дальнейших экспериментов была выбрана форма удобрения Плантум_12 (с 12-кратным уменьшением концентрации элементов), поскольку при ее использовании количественные показатели салата оказались выше, чем при Плантум_15. Это обусловлено достижением оптимального содержания гуминовых и фульвовых кислот, которые способствуют росту и развитию корневой системы растений.

Урожайность растений вычисляли по средней массе листовых розеток без и с корневой системой. Для определения массы листовых розеток салата без корневой системы их срезали у основания и взвешивали на весах (СЕ224-С, Сартогосм, Россия). Массу растений с корневой системой измеряли на том же оборудовании путем извлечения из горшка части, которая проросла в минеральную вату. Сохранение корневой системы необходимо для оценки стойкости при транспортировке и потребительских качеств салата.

Влажность растений салата – показатель потребительских качеств – определяли измерением потери массы образца при высушивании до постоянного веса. Взвешивали свежие и высушенные образцы салата.

Качество листового салата оценивали по содержанию сухого вещества (ГОСТ 31640-2012), сырого

Таблица 1. Содержание и дозировка гуминовых и фульвовых кислот в препаратах серии Юнигель Плантум.

Table 1. Content and share of humic and fulvic acids in Yunigel Plantum.

Препарат	Содержание гуминовых и фульвовых кислот в препарате Берес 8, %	Дозировка гуминовых и фульвовых кислот на одно растение, мг
Юнигель Плантум в стандартной форме	14,3	0,43
Юнигель Плантум_12	1,2	0,04
Юнигель Плантум_15	0,9	0,03
Норма внесения препарата Берес-8*	–	0,02

Примечание: * – норма внесения взята с сайта производителя <https://beres-npk.ru/programmy-pitaniya/>

Note: * – the application rate cited originates from the manufacturer's website <https://beres-npk.ru/programmy-pitaniya/>

протеина (ГОСТ 13496.4-2019) и по аминокислотному составу (М 04-87-2009). Полученные результаты были статистически обработаны с применением непараметрического дисперсионного анализа One-way PERMANOVA с последующим сравнением между группами и Mann-Whitney тест для двух групп сравнения.

По ГОСТ 31640-2012 для определения количества сухого вещества среднюю пробу зеленой части салата измельчали на отрезки длиной от 1 до 3 см и тщательно перемешивали. Навеску испытуемой пробы (100–150 г) помещали в фарфоровую чашку, взвешивали и помещали в сушильный шкаф. Высушивание проводили при температуре 60 ± 2 °C до воздушно-сухого состояния в течение 6 ч. Пробы охлаждали на лабораторном столе в течение 1 ч и взвешивали. Для контроля полноты высушивания чашку с образцом повторно помещали в сушильный шкаф при той же температуре на 1 ч, после чего снова взвешивали. Критерием достижения постоянной массы являлось различие между двумя последовательными взвешиваниями высушенной и охлажденной пробы, не превышающее 0,5 % от ее массы после высушивания.

Массовую долю сухого вещества (y , %) в испытуемой пробе вычисляли по формуле 1:

$$y = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (1)$$

где m_1 – масса бюкса (при определении содержания сухого вещества в корнеплодах и клубнеплодах, а также жидких и пастообразных кормах масса бюкса включает и массу кварцевого песка, и стеклянной палочки), г; m_2 – масса бюкса с пробой до высушивания, г; m_3 – масса бюкса с пробой после высушивания, г.

Качество зеленой массы оценивали по содержанию сырого протеина, которое определяли методом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-2019). Средние пробы салата измельчали до прохода через сито с размером ячейки 1 мм. Далее навеску в количестве 0,7–1,0 г помещали в чистую сухую колбу Кьельдаля. Минерализацию проводили в вытяжном шкафу, добавляя в данную колбу 8 г порошкового катализатора с серноокислой медью и серноокислым калием (10:100 весовых частей). После внесения катализатора осторожно приливали 10 см³ концентрированной серной кислоты. Содержимое колбы Кьельдаля тщательно перемешивали легкими круговыми движениями, обеспечивая полное смачивание навески. Далее пробу нагревали в колбе под углом 30–45° к вертикали, в горло колбы вставляли маленькую стеклянную воронку для уменьшения улетучивания кислоты во время минерализации. Нагревание проводили умеренно, для предотвращения пенообразования, при постоянном помешивании. После исчезновения пены нагревание усиливали до появления постоянных признаков кипения. Как только жидкость в колбе обесцветилась, нагрев продолжали в течение 30 мин с последующим охлаждением минерализата. Далее его переносили в отгонную колбу с общим

объемом раствора 200 см³. Перед отгонкой аммиака минерализат разбавляли 150 см³ дистиллированной воды. Отгонку аммиака проводили в борную кислоту. Для этого в приемную колбу наливали 25 см³ раствора борной кислоты с массовой концентрацией 40 г/дм³. Отгонную колбу присоединяли к аппарату для отгонки аммиака и через капельную воронку 67 осторожно приливали раствор гидроокиси натрия с массовой долей 33 % в колбу с минерализатом. Воронку промывали трижды, порциями дистиллированной воды по 10 см³, оставляя небольшое количество воды в качестве гидрозатвора. Далее приливали гидроокись натрия не менее 3,5 см³ раствора с массовой долей 33 %. Раствор в отгонной колбе нагревали и обеспечивали равномерное кипение. По окончании отгонки использовали красную лакмусовую бумагу для определения завершения процесса. Для этого бумажку подставляли под стекающие капли дистиллята. Если она не меняла цвет, то процесс отгонки аммиака был завершен.

Массовую долю сырого протеина в испытуемой пробе (X_2 , %) высчитывали по формуле 2:

$$X_2 = 6,25 \times X_1 \quad (2)$$

где 6,25 – коэффициент пересчета общего содержания азота на сырой протеин; X_1 – массовая доля азота в испытуемой пробе, %.

Для определения количественных показателей аминокислотного состава зеленой массы салата применяли методики согласно ГОСТу М 04-87-2009 с помощью капиллярного электрофореза. В исследовании использовали систему капиллярного электрофореза с источником высокого напряжения положительной полярности, фотометрическим или спектрофотометрическим детектором «Капель». Статистическую обработку данных проводили методами непараметрической статистики Mann-Whitney тест с последующим сравнением между группами.

Результаты и их обсуждение

При проведении первой серии экспериментов оценивали количественные и качественные показатели салата. В результате визуальной оценки темпов роста растений отмечено, что при использовании стандартной формы удобрения Юнигель Плантам происходит задержка роста на основных этапах развития листьев салата. Рост растений в опытной группе отставал на 7 дней от контроля. Это связано с тем, что удобрение в стандартной форме разработано для почвогрунта, в то время как на гидропонных культурах оно проявляет ингибирующий эффект. Однако применение высокой дозировки препарата показало, что длина междоузлий была меньше, а масса салата была больше, даже при условии, что высота растения отставала от контроля. Листья салата, выращенные с применением препарата, отличались хорошей сформированностью, отсутствием повреждений и дефектов. Для того, чтобы длина междо-

узлий была оптимальной при его выращивании в системе гидропоники необходимо было оптимизировать концентрацию действующих веществ в удобрении Юнигель Плантум.

В исследовании S. Nardi *et al.* [8] показано, что превышение дозировки внесения гуминовых кислот может задерживать рост растений из-за чрезмерной хелатации микроэлементов или нарушения гормонального баланса. Содержание гуминовых и фульвовых кислот в первоначальном препарате Юнигель Плантум составляло 0,43 мг на куст салата. В соответствии с установленными нормами, препарат гуминовых кислот Берес-8, являющийся одним из активных компонентов, вносят в количестве 0,02 мг на куст. Такая концентрация гуминовых и фульвовых кислот оптимальна для выращивания салата в полевых условиях на грунте. В данной работе основной целью было определение оптимальной концентрации препарата Юнигель Плантум для повышения количественных и качественных показателей салата и разработка технологии внесения. Для этого проведены испытания препарата с разными концентрациями с целью оптимизации внесения удобрения в гидропонной системе.

Визуальная оценка темпов роста салата, выращенного с применением Плантум_12 и Плантум_15, не выявила задержек развития на основных этапах в течение 14 и 28 дней соответственно (рис. 1). Масса салата с корневой системой при добавлении препарата Плантум_12 достоверно отличалась от массы растений контрольной группы. Привес составил более 20 % относительно контроля. Также отмечено, что салат в группе Плантум_12 и Плантум_15 достиг оптимальной высоты на 5 дней раньше, по сравнению с контролем. Масса салата в группе Плантум_15 превышала значения массы растений в группе Плантум_12 и контрольной. При этом разброс данных по массе был значительным, что не позволяет считать полученные результаты достоверными (рис. 2а, табл. 2).

Таким образом, с экономической точки зрения технология выращивания салата с использованием Плантум_12 позволяет не только сократить время выращивания салата на 20 % (за счет созревания урожая на 5 дней раньше), но и увеличить урожайность более чем на 20 %. В условиях круглогодичного выращива-

ния сокращение периода вегетации на 5 дней позволит получать дополнительно 2 урожая с той же посевной площади. Урожайность салата, увеличенная на 20 %, приводит к снижению себестоимости на 10–15 % [9]. Это создает условия для более быстрой окупаемости оборудования или для внедрения современных автоматизированных технологий.

Потребительские свойства салата, такие как содержание влаги (тургор) [10] и прочность клеточных стенок, которые влияют на стойкость салата при транспортировке, являются ключевыми показателями качества [11]. Тургор в сочетании с прочностью клеточных стенок влияет также на хрусткость и свежесть салата [12]. Показано, что в экспериментальных группах разброс показателей влажности был значительным и достоверно не отличался от контрольной группы (рис. 2б, табл. 2). Таким образом, внесение препарата Плантум_12 и Плантум_15 не влияло на процент влажности. Поскольку масса куста увеличилась на 20 % без изменения процентного содержания воды, можно



Рисунок 1. Внешний вид образцов салата: а – 14 дней; б – 28 дней

Figure 1. Appearance of lettuce samples: a – 14 days; b – 28 days

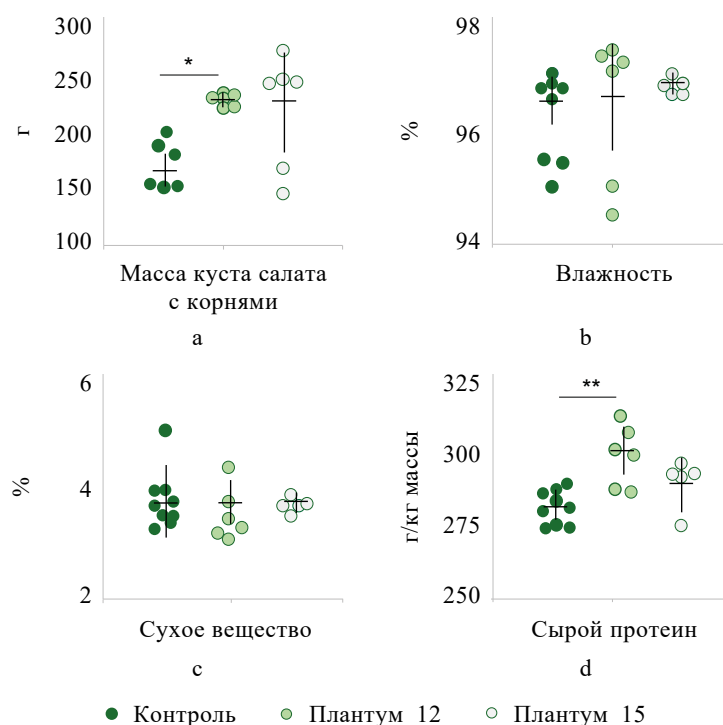
Таблица 2. Сравнительные показатели салата после выращивания на Плантум_12 и Плантум_15.

Table 2. Lettuce grown on Plantum_12 vs. Plantum_15.

Показатели	Контроль	Плантум_12	Плантум_15	PERMANOVA (F -критерий; уровень значимости p)
Масса с корнями, г	163,6 ± 18,8	214,9 ± 4,9*	207,3 ± 45,1*	$F = 8,5; p = 0,01$
Влага в зеленой части, %	96,1 ± 0,7	96,2 ± 1,2	96,5 ± 0,2	$F = 0,56; p = 0,60$
Сухое вещество, %	3,4 ± 0,8	3,3 ± 0,4	3,5 ± 0,1	$F = 0,52; p = 0,50$
Сырой протеин, г/кг	277,1 ± 4,9	292,4 ± 8,9*	283,8 ± 8,2	$F = 5,70; p = 0,02$

Примечание: Данные представлены как среднее значение ± стандартное отклонение. * – $p < 0,05$ по сравнению с контролем.

Note: The values are given as mean ± standard deviation. * – $p < 0.05$ compared to the control.



Данные представлены как индивидуальные значения, горизонтальная черта – среднее значение, вертикальная черта – стандартное отклонение в каждой группе. *, ** – достоверные отличия, $p < 0,05$, $p < 0,01$ One-way PERMANOVA

Рисунок 2. Показатели качества листового салата при внесении серии препаратов Юнигель Плантум: а – масса салата с корнями; б – влажность; с – содержание сухого вещества; д – количество сырого протеина

Figure 2. Quality indicators of lettuce grown on YuniGel Plantum: a – weight with roots; b – moisture percentage; c – solids; and d – crude protein

говорить об эффективном накоплении влаги и высоких потребительских свойствах салата, выращенного с использованием Плантум_12.

Сухое вещество, в состав которого входят клетчатка, белки, углеводы и минералы позволяет определить питательную ценность салата. Кроме того, увеличение сухой массы косвенно свидетельствует о прочности клеточных стенок из-за повышения количества клетчатки и белков. Для определения сухого вещества использовали зеленую часть салата без корневой системы. Проведенные исследования не выявили статистически значимых различий в процентном содержании сухого вещества в листьях салата между тремя группами (рис. 2с, табл. 2). В данном случае увеличение общей массы салата в группе Плантум_12, по сравнению с контролем, указывает на увеличение общей массы, в том числе и массы сухого вещества. Таким образом, применение препарата Плантум_12 способствует увеличению массы салата при сохранении его потребительских качеств, таких как тургор и состав клеточных стенок.

Сырой протеин – это общее количество азотосодержащих веществ в растениях, как органического, так и неорганического происхождения. Растения группы Плантум_12 характеризовались более высоким содержанием сырого протеина, по сравнению с группой Плантум_15, и этот показатель достоверно превы-

шал контрольные значения (рис. 2д, табл. 2). Норма содержания сырого протеина в салате составляет 2500–4500 мг/кг. В выращенном в рамках данного исследования салате этот показатель в 10 раз ниже. Поэтому, несмотря на увеличение содержания сырого протеина под воздействием Плантум_12, нельзя однозначно утверждать о повышении белковой ценности салата [13]. В связи с этим, при повторном испытании препарата Плантум_12 на салате было запланировано изучение состава аминокислот.

Для определения эффективности выбранной формы препарата Плантум_12 проведено масштабирование биотехнологического процесса выращивания салата с применением системы гидропоники в условиях тепличного хозяйства (рис. 3). На рисунке 4 продемонстрирован метод внесения препарата Плантум_12, дозировка которого составляла 3 мг на растение. Результаты эксперимента оценивали на 28 день после посева.

Показатель зеленой биомассы салата в группе Плантум_12 достоверно был выше на 16 % ($p < 0,001$) контрольной группы, что подтверждает эффективность применения и подбор оптимальной дозы удобрения Юнигель Плантум для выращивания салата сорта Афицион (рис. 5а, табл. 3).

Определение количественных показателей аминокислотного состава зеленой биомассы растений прово-

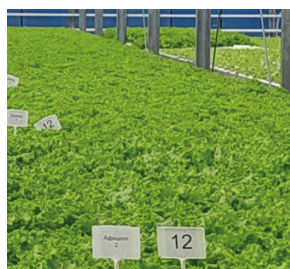


Рисунок 3. Внешний вид салата в контрольной и опытной группах

Figure 3. Appearance of control vs. experimental lettuce



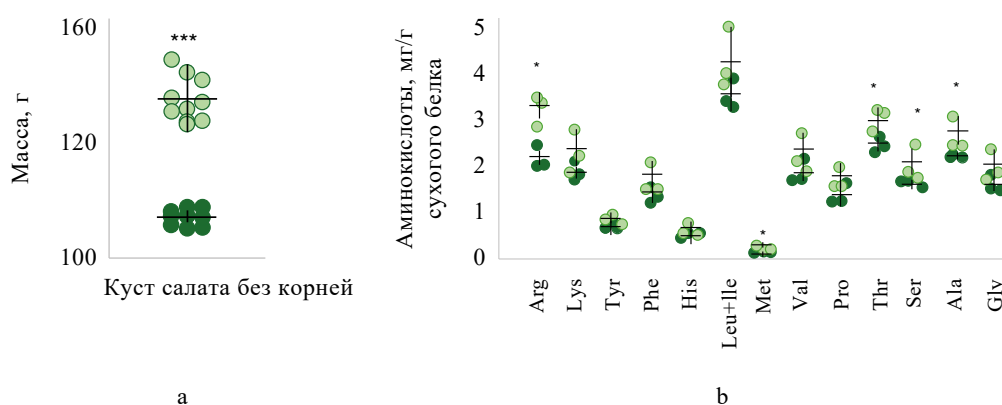
Рисунок 4. Метод допосевого внесения препарата

Figure 4. Pre-sowing application of Yunigel Plantum

Таблица 3. Масса и количество незаменимых аминокислот в зеленой части салата после выращивания на Плантум_12

Table 3. Weight and quality of essential amino acids in lettuce grown on Yunigel Plantum_12

Показатели	Контроль	Плантум_12	Mann-Whitney тест (Z-критерий и уровень значимости p)
Масса без корней, г	110,60 ± 1,90	139,80 ± 11,70	$Z = 3,7; p = 0,0002$
Аргинин, мг/г белка	1,85 ± 0,21	2,76 ± 0,28	$Z = 2,0; p = 0,05$
Лизин, мг/г белка	1,61 ± 0,17	1,96 ± 0,39	$Z = 1,5; p = 0,10$
Тирозин, мг/г белка	0,61 ± 0,07	0,73 ± 0,09	$Z = 1,5; p = 0,10$
Фенилаланин, мг/г белка	1,17 ± 0,14	1,47 ± 0,27	$Z = 1,5; p = 0,10$
Гистидин, мг/г белка	0,45 ± 0,05	0,52 ± 0,12	$Z = 0,7; p = 0,50$
Лейцин + Изолейцин, мг/г белка	3,01 ± 0,27	3,64 ± 0,57	$Z = 1,5; p = 0,10$
Метион, мг/г белка	0,12 ± 0,01	0,19 ± 0,04	$Z = 2,0; p = 0,05$
Валин, мг/г белка	1,59 ± 0,22	1,91 ± 0,36	$Z = 1,1; p = 0,30$
Пролин, мг/г белка	1,17 ± 0,19	1,46 ± 0,21	$Z = 1,1; p = 0,30$
Треонин, мг/г белка	2,09 ± 0,14	2,59 ± 0,21	$Z = 2,0; p = 0,05$
Серин, мг/г белка	1,39 ± 0,06	1,74 ± 0,33	$Z = 2,0; p = 0,05$
Аланин, мг/г белка	1,89 ± 0,03	2,27 ± 0,31	$Z = 2,0; p = 0,05$
Глицин, мг/г белка	1,37 ± 0,16	1,69 ± 0,29	$Z = 1,5; p = 0,10$



Данные представлены как индивидуальные значения, горизонтальная черта – среднее значение, вертикальная черта – стандартное отклонение в каждой группе. *,*** – достоверные отличия между двумя группами, $p < 0,05$, $p < 0,001$ Mann-Whitney test.

Рисунок 5. Исследуемые показатели листового салата при внесении препарата Юнигель Плантум_12: а – масса зеленой части салата ($n = 10$); б – содержание аминокислот в листьях салата

Figure 5. Quality indicators of lettuce grown on Yunigel Plantum_12: а – weight without roots ($n = 10$); б – amino acids

дили для оценки качественного состава белка. Увеличение содержания аминокислот свидетельствует о том, что форма удобрения Плантум_12 влияет на метаболизм растительных клеток и способствует лучшему накоплению белка. Кроме того, применение удобрения Плантум_12 достоверно увеличивало содержание незаменимых аминокислот: аргинина, метионина, треонина, серина и аланина (рис. 5b, табл. 3).

Можно отметить важность присутствия незаменимых аминокислот в зеленой массе салата. Применение препарата Плантум_12 позволяет получить большую концентрацию аминокислот в зеленой массе, что обеспечивает высокое качество салата и его повышенную питательную ценность.

Для определения эффективности подобранной формы препарата Юнигель Плантум оценивали развитие корневой системы салата, так как корневое питание играет ключевую роль в жизни растительного организма и служит основой для управления ростом и развитием растений. Увеличение массы и длины корней напрямую коррелирует с улучшением поглощения азота, фосфора и калия. Таким образом, более развитые корни повышают эффективность добавления удобрений на 20–30 % [15]. При гидропонном выращивании с использованием готовых питательных растворов хорошо развитая корневая система обеспечивает максимальное усвоение питательных веществ. В работе D. Hagassou *et al.* [16] показали, что увеличение корней на 1 см коррелировало с ростом биомассы на 4–6 %.

На рисунке 6а представлена корневая система растений из опытной и контрольной группы. Визуальная оценка позволяет сделать вывод о значительном увеличении массы корневой системы салата с применением формы биоудобрения Плантум_12. Ускорение роста на 7 дней и увеличение зеленой массы салата на 16 % при использовании препарата связаны именно с развитием корневой системы (рис. 6b, табл. 2). Его вносили вместе с семенами на поверхность кубика субстрата (рис. 4), однако этого было достаточно для стимулирования роста корневой системы. Такой эффект, скорее всего, связан с возможностью сохранения и пролонгирования действия в субстрате гуминовых кислот и полезных микроорганизмов, добавленных вместе с носителем биогелем. Но для понимания механизма действия препарата необходимо проводить лабораторные эксперименты в полностью контролируемых условиях.

Кроме того, у растений опытной группы увеличивается количество корневых волосков (рис. 6b), что указывает на расширение абсорбирующей поверхности корневой системы. В условиях гидропоники увеличение площади всасывания способствует более эффективному поглощению ионов из питательного раствора, что, в свою очередь, приводит к ускорению роста растений [17]. Таким образом, препарат Плантум_12 увеличивает не только объем корне-

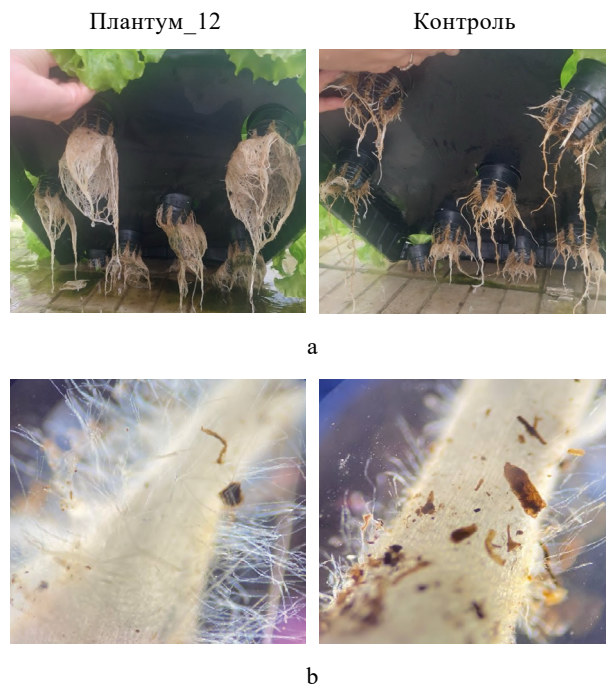


Рисунок 6. Вид корневой системы салата: а – в контрольной и опытной группе; б – с корневыми волосками салата в контрольной и опытной группе (увеличение микроскопа $\times 100$)

Figure 6. Root system: a – control vs. experimental lettuce; b – root hairs in control vs. experimental lettuce ($\times 100$ magnification)

вой системы, но и повышает ее всасывающую способность за счет увеличения плотности корневых волосков.

Выводы

Применение Юнигель Плантум_12 при выращивании салата сорта Афицион на минераловатном субстрате показало комплексный положительный эффект: повышение продуктивности до 20 % за счет улучшения морфофизиологических характеристик корневой системы растений, повышение товарных и питательных качеств продукции за счет увеличения количества сырого протеина и незаменимых аминокислот.

Полученные результаты позволяют рекомендовать данный препарат для внедрения в технологические схемы выращивания листовых овощей в условиях защищенного грунта.

Критерии авторства

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку данной статьи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors participated equally in the research, data processing, and writing.

Conflict of interest

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

Список литературы / References

1. Синеговская В. Т., Синеговский М. О. Выращивание растений сои методом гидропонии. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24. № 2. С. 194–200. [Sinegovskaya VT, Sinegovskii MO. Growing soybean plants by hydroponic method. Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):194–200. (In Russ.)] <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.194-200>
2. Samokhin A, Korel A, Blinova E, Pestov A, Kalmykova G, et al. Delivery of *B. subtilis* into animal intestine using chitosan-derived bioresorbable gel carrier: Preliminary results. Gels. 2023;9(2):120. <https://doi.org/10.3390/gels9020120>
3. Korel A, Samokhin A, Zemlyakova E, Pestov A, Blinova E, et al. A Carboxyethylchitosan gel cross-linked with glutaraldehyde as a candidate carrier for biomedical applications. Gels. 2023;9(9):756. <https://doi.org/10.3390/gels9090756>
4. Fedorov E, Samokhin A, Kozlova Yu, Kretien S, Sheraliev T, et al. Short-term outcomes of phage-antibiotic combination treatment in adult patients with periprosthetic hip joint infection. Viruses. 2023;15(2):499. <https://doi.org/10.3390/v15020499>
5. Alexander P, Brown C, Arneth A, Finnigan J, Moran D, et al. Losses, inefficiencies and waste in the global food system. Agricultural Systems. 2017;153:190–200. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.014>
6. Елисеева Л. Г., Осман А., Молодкина П. Г., Белкин Ю. Д. Сантурян Т. А. Влияние биотехнологии производства микрозелени в фитотронах городского типа на содержание функциональных ингредиентов, повышающих адаптивный иммунитет. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022. № 5. С. 28–31. [Eliseeva LG, Osman A, Molodkina PG, Belkin YuD, Santuryan TA. Influence of biotechnology of microgreen production in urban-type phytotrons on the content of functional ingredients capable to increase the adaptive immune. Izvestiya vuzov. Food Technology. 2022;(5):28–31. (In Russ.)] <http://doi.org/10.26297/0579-3009.2022.5.6>
7. Жемякин С. В., Попова Д. А. Влияние микробиологического удобрения Ризобакт на растения салата посевого в защищенном грунте. Проблемы продовольственной безопасности (EPFS 2023): материалы Международной научно-практической конференции; Горки; 2023. Ч. I. С. 168–173. [Zhemyakin SV, Popova DA. Effect of microbiological fertilizer Rizobakt on lettuce plants in greenhouse farming. Food Security Issues (EPFS 2023): Intern. Sci. Pract. Conf; Gorki; 2023. Pt I. pp. 168–173. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/WALLPT>
8. Nardi S, Schiavon M, Francioso O. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. Molecules. 2021;26(8):2256. <https://doi.org/10.3390/molecules26082256>
9. Yücel-Engindeniz D. Economic analysis of lettuce growing in greenhouse: A case study from türkiye. Journal of Global Agriculture and Ecology. 2025;17(1):1–8. <https://doi.org/10.56557/jogae/2025/v17i19039>
10. Subedi PP, Walsh KB. Non-invasive techniques for measurement of fresh fruit firmness. Postharvest Biology and Technology. 2009;51(3):297–304. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.03.004>
11. Saladić M, Matas AJ, Isaacson T, Jenks MA, Goodwin SM, et al. A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. Plant Physiology. 2007;144(2):1012–1028. <https://doi.org/10.1104/pp.107.097477>
12. Bourne MC. Texture, Viscosity, and Food. In: Bourne MC, editor. Food Texture and Viscosity (Second Edition). Food Science and Technology. Academic Press; 2002. pp. 1–32. <https://doi.org/10.1016/B978-012119062-0/50001-2>
13. Papafilippaki A, Nikolaidis NP. Comparative study of wild and cultivated populations of *Cichorium spinosum*: The influence of soil and organic matter addition. Scientia Horticulturae. 2020;261:108942. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108942>
14. Shimobayashi M, Hall MN. Making new contacts: The mTOR network in metabolism and signalling crosstalk. Nature Reviews Molecular Cell Biology. 2014;15(3):155–162. <https://doi.org/10.1038/nrm3757>
15. Qi Y, Liu X, Zhang Q, Wu H, Yan D, et al. Carotenoid accumulation and gene expression in fruit skins of three differently colored persimmon cultivars during fruit growth and ripening. Scientia Horticulturae. 2019;248:282–290. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.042>
16. Hagassou D, Francia E, Ronga D, Buti M. Blossom end-rot in tomato (*Solanum lycopersicum* L.): A multi-disciplinary overview of inducing factors and control strategies. Scientia Horticulturae. 2019;249:49–58. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.01.042>
17. Khoso MA, Hussain A, Ritonga FN, Ali Q, Channa MM, et al. WRKY transcription factors (TFs): Molecular switches to regulate drought, temperature, and salinity stresses in plants. Frontiers in Plant Science. 2022;13:1039329. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1039329>

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2567>
<https://elibrary.ru/BGILEZ>

Оригинальная статья
<https://fppt.ru>

Основные факторы, влияющие на экстракцию биологически активных соединений из клеточных культур растений



В. М. Ле*, А. А. Степанова, А. А. Шевель,
Т. А. Ларичев, С. А. Лузянин

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

Поступила в редакцию: 20.03.2025
Принята после рецензирования: 21.05.2025
Принята к публикации: 03.06.2025

*В. М. Ле: ya808@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-9546-6633>
А. А. Степанова: <https://orcid.org/0000-0001-7774-8859>
А. А. Шевель: <https://orcid.org/0009-0000-3630-2826>
Т. А. Ларичев: <https://orcid.org/0000-0003-0166-2527>
С. А. Лузянин: <https://orcid.org/0000-0001-9293-4377>

© В. М. Ле, А. А. Степанова, А. А. Шевель, Т. А. Ларичев,
С. А. Лузянин, 2025



Аннотация.

Экстракция считается начальным этапом в исследовании химического состава растительного материала. Сырые экстракты содержат биоактивные компоненты, широко используемые в фармацевтике, продуктах питания и пищевых добавках. Постоянно ведутся исследования по увеличению выхода биологически активных веществ из растительного сырья, в том числе и лекарственного, и по сокращению времени экстракции. Метод экстрагирования подбирают в зависимости от целевых веществ, которые необходимо извлечь, вида растительного сырья и строения его клеток. Оптимальные условия проведения процесса определяются в ходе эксперимента индивидуально для каждого вида растения. Цель данного исследования – выявление и оптимизация основных факторов экстракции биологически активных соединений из клеточных культур лекарственных растений с учетом технологических ограничений, обусловленных структурой и внутренним строением обрабатываемого объекта. Оптимизация процесса проводилась с помощью метода планирования эксперимента.

Исследуемые образцы – клеточные культуры *Ginkgo biloba* L., *Pulmonaria officinalis* L., *Filipendula ulmaria* L., *Scutellaria baicalensis* Georgi. Переменными для изучения оптимальных значений параметров экстракции являлись концентрация этилового спирта, температура и время экстракции. Для всех полученных экстрактов определяли оптическую плотность растворов с помощью спектрофотометрического анализа. Выполняли полный факторный эксперимент с тремя варьируемыми параметрами. Дисперсионный анализ использовали для проверки соответствия математической модели, описывающей зависимость значений количества флавоноидов от основных параметров экстракции.

С помощью метода планирования эксперимента были проведены исследования, направленные на оптимизацию основных факторов экстракции биологически активных соединений из растительных клеточных культур лекарственных растений. Объемная доля растворителя – один из выявленных параметров, обеспечивающий максимально полный выход биологически активных соединений из клеточных культур растений, оказалась одинаковой для всех образцов – 70 % этиловый спирт. Оптимальное время и температура экстракции для каллусных культур *Filipendula ulmaria* L. и *Scutellaria baicalensis* Georgi равны 5 ч и 35 °С соответственно. Самыми экономическими выгодными параметрами экстракции являлись значения времени и температуры экстрактов для каллусных культур *Pulmonaria officinalis* L.: 2 ч, 30 °С. Для экстрагирования БАВ из экстрактов культур *Ginkgo biloba* L. оптимальными параметрами определили 6 ч и 55 °С.

Установлены параметры экстрагирования биологически активных соединений из клеточных культур растений, обеспечивающих максимальное извлечение флавоноидов. Результаты эксперимента могут быть использованы в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова. Лекарственные растения, *Ginkgo biloba* L., *Pulmonaria officinalis* L., *Filipendula ulmaria* L., *Scutellaria baicalensis* Georgi, экстракция, биологически активные соединения, флавоноиды

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Разработка биологически активных добавок, состоящих из метаболитов растительных объектов *in vitro*, для защиты населения от преждевременного старения» (проект FZSR-2024-0008).

Для цитирования: Ле В. М., Степанова А. А., Шевель А. А., Ларичев Т. А., Лузянин С. Л. Основные факторы, влияющие на экстракцию биологически активных соединений из клеточных культур растений. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 2. С. 439–453. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2567>

Factors Affecting Extraction of Bioactive Substances from Plant Cell Cultures



Violeta M. Le^{*}, Anna A. Stepanova, Arina A. Shevel,
Timothy A. Larichev, Sergey L. Luzyanin

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Received: 20.03.2025
Revised: 21.05.2025
Accepted: 03.06.2025

*Violeta M. Le: ya808@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-9546-6633>
Anna A. Stepanova: <https://orcid.org/0000-0001-7774-8859>
Arina A. Shevel: <https://orcid.org/0009-0000-3630-2826>
Timothy A. Larichev: <https://orcid.org/0000-0003-0166-2527>
Sergey L. Luzyanin: <https://orcid.org/0000-0001-9293-4377>

© V.M. Le, A.A. Stepanova, A.A. Shevel, T.A. Larichev, S.L. Luzyanin, 2025



Abstract.

Extraction is the initial stage in the study of the chemical composition of plant material. Crude extracts contain bioactive components that can be used in pharmaceuticals, food products, and food additives. Advanced extraction methods produce more yield and consume less time. The choice of a perfect extraction method depends on the target substance, the type of plant material, and its cell structure. Optimal extraction conditions are determined experimentally for each plant species. In this research, we revealed the main extraction factors for cell cultures of medicinal plants, depending on the technological limitations caused by the internal structure of the raw material. The bioactive extraction procedure was optimized using the experimental planning method.

The study featured cell cultures of *Ginkgo biloba* L., *Pulmonaria officinalis* L., *Filipendula ulmaria* L., and *Scutellaria baicalensis* Georgi. The variables to be studied during the extraction experiments included ethyl concentration, temperature, and time. All the extracts were tested for optical density using spectrophotometry, with a full factorial experiment with three variable parameters. The data obtained underwent the analysis of variance (ANOVA) to check the mathematical model that defined the correlation between the flavonoid yield and the main extraction parameters.

Using the experimental planning method, we optimized the main factors that facilitated the extraction of bioactive compounds from medicinal plant cell cultures. The volume fraction of the solvent proved to be associated with the largest yield of bioactive compounds from the plant cell cultures. Its optimal amount was the same across the samples (70% ethyl alcohol). The optimal extraction time and temperature for callus cultures of *Filipendula ulmaria* L. and *Scutellaria baicalensis* Georgi were 5 h and 35°C, respectively. The callus cultures of *Pulmonaria officinalis* L. demonstrated the most economically advantageous extraction parameters, i.e., 2 h and 30°C. The optimal extraction parameters for *Ginkgo biloba* L. were 6 h and 55°C.

The study revealed the optimal parameters for the extraction of bioactive compounds from medicinal plant cell cultures with the maximal flavonoid yield. The results be used in further research.

Keywords. Medicinal plants, *Ginkgo biloba* L., *Pulmonaria officinalis* L., *Filipendula ulmaria* L., *Scutellaria baicalensis* Georgi, extraction, biologically active compounds, flavonoids

Funding. The research was part of State Assignment on the Development of biologically active anti-aging additives from plant metabolites *in vitro* (project FZSR-2024-0008).

For citation: Le VM, Stepanova AA, Shevel AA, Larichev TA, Luzyanin SL. Factors Affecting Extraction of Bioactive Substances from Plant Cell Cultures. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(2):439–453. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2567>

Введение

Лекарственные растения имеют широкий спектр применения. Сбор и обработка являются необходимыми первоначальными этапами для применения растительного сырья в различных отраслях промышленности. Например, выделенные БАВ растений могут использоваться в пищевой промышленности в качестве

биологически активных добавок для напитков, батончиков, мучных изделий и т. д.; в медицине применяются в настойках, лекарственных препаратах и др.; в сельском хозяйстве помогают бороться с вредителями и паразитами и повышать всхожесть некоторых культур [1–4]. Система подготовки лекарственных растений включает в себя правильный и своевременный сбор,

проверку подлинности, адекватную сушку и измельчение. Затем, в зависимости от целей применения биологически активного соединения, может следовать экстракция, фракционирование и его изоляция.

В вопросе исследования химического состава растительного материала экстракция считается начальным этапом, направленным на получение сырых экстрактов, в которые входят биоактивные компоненты, широко используемые в фармацевтике, продуктах питания и пищевых добавках.

Скорость процесса экстракции биоактивных веществ из растительного сырья зависит от выбранной технологии экстрагирования, формы и размера клеток, температуры и продолжительности процесса, соотношения между количеством сырья и экстрагентом. Благодаря увеличению значений температуры происходит денатурация клеточных мембран, вследствие чего осуществляется выход компонентов растительной клетки в раствор. Повышение температуры также позволяет ускорить процесс экстрагирования и повысить степень экстракции БАВ при наименьшей продолжительности процесса и меньшей концентрации экстрагента.

Продолжительность и температура экстракции являются важными параметрами, которые необходимо оптимизировать в том числе для минимизации энергетических затрат процесса [5–8]. Многие авторы сходятся во мнении, что повышение рабочей температуры способствует экстракции, повышая как растворимость обрабатываемого вещества, так и коэффициент диффузии, однако за пределами определенного значения биоактивные соединения могут быть денатурированы. Данные о продолжительности экстракции довольно противоречивы, т. к. варьируются в разных источниках [9–13]. Отмечается взаимосвязь температуры и продолжительности: в основном при максимально высоких температурах выбирают низкую продолжительность экстракции и, наоборот, при менее высоких температурах продолжительность процесса увеличивают [14–18].

Также на скорость протекания процесса экстракции влияет растворитель (экстрагент), выбор которого зависит от вида растительного объекта, природы биоактивных веществ и доступности экстрагента [11–13, 19]. Выход полярных соединений из клетки осуществляется за счет полярных растворителей. Вода, метанол и этанол – наиболее популярные из них. В то же время неполярные растворители (гексан, дихлорметан и др.) применяются с целью экстрагирования неполярных соединений [15, 20–25].

Каждый экстрагент имеет как преимущества, так и недостатки. Выбор экстрагента зависит от продукта, который планируется получить на выходе. Однако существуют факторы, которые следует учитывать при подборе растворителя: он должен быть селективным, т. е. извлекать активный компонент и оставлять остальной материал; безопасным; наименее затратным; растворитель не должен вступать в реакцию с экстрактом,

быстро отделяться от экстракта, легко проникать в клеточный материал, иметь низкую температуру кипения для предотвращения деградации под воздействием тепла [26]. Рисунки 1 и 2 показывают, что, как и параметры проведения процесса, метод экстрагирования влияет на выход искомого вещества [11–13, 19, 27–32].

Одним из перспективных растительных объектов считается гинкго двулопастный *Ginkgo biloba* L. В исследовании Ле и др. [33] методом жидкостной хроматографии в лекарственном растении были идентифицированы флавоноиды (кверцетин, кемпферол и изорамнетин), терпеноиды (билобалид и гинголиды), биофлавоноиды (гинкгетин, сциадопитизин и изогинкгетин) и органические кислоты (гинголевая кислота). За счет богатого химического состава *G. biloba* обладает широким спектром терапевтической активности.

Экстракты *G. biloba* являются одними из наиболее часто используемых в традиционной медицине. Noor-E-Tabassum *et al.* [34] описали применение листьев и других частей растения в медицинских целях. В традиционной китайской медицине листья *G. biloba* применяются для лечения неврологических заболеваний, нарушений органов кровообращения и заболеваний дыхательных путей. Экстракты листьев *G. biloba* находят применение в индустрии питания в качестве пищевых добавок. Орехи *G. biloba* употреблялись в пищу как гарнир, а также традиционно использовались для лечения кашля, мокроты, лихорадки, зубных болей, кожных заболеваний, гиперактивного мочевого пузыря. Семена *G. biloba* оказывают гипохолестеринемическое действие на липидный обмен веществ.

Pulmonaria officinalis L. – растение, обладающее различными видами биологической активности: антиоксидантной, противовоспалительной, антикоагулянтной, антибактериальной и нейропротекторной, находит широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Биологическая активность растения обуславливается наличием в составе фитоактивных компонентов (сапонины, танины, аскорбиновые кислоты, кремниевые кислоты, рутин, каротин, витамин С, аллантонины, алкалоиды и жирные кислоты). Krzyżanowska-Kowalczyk *et al.* представили состав некоторых метаболитов фенольных фракций, выделенных из *P. officinalis* [35]. В традиционной медицине траву *P. officinalis* используют в качестве смягчающего, противокашлевого, отхаркивающего, противомикробного, мочегонного, очищающего и противовоспалительного средства, а также применяют при респираторных заболеваниях и расстройствах мочевыделительной системы.

Filipendula ulmaria L. – лекарственное растение, известное своими лечебными свойствами, обусловленными содержанием полифенолов противовоспалительного, антиоксидантного и антимикробного характера. В исследовании [36] приведен компонентный состав *F. ulmaria*, состоящий из флавоноидов, фенольных гликозидов, дубильных веществ и эфирных масел.

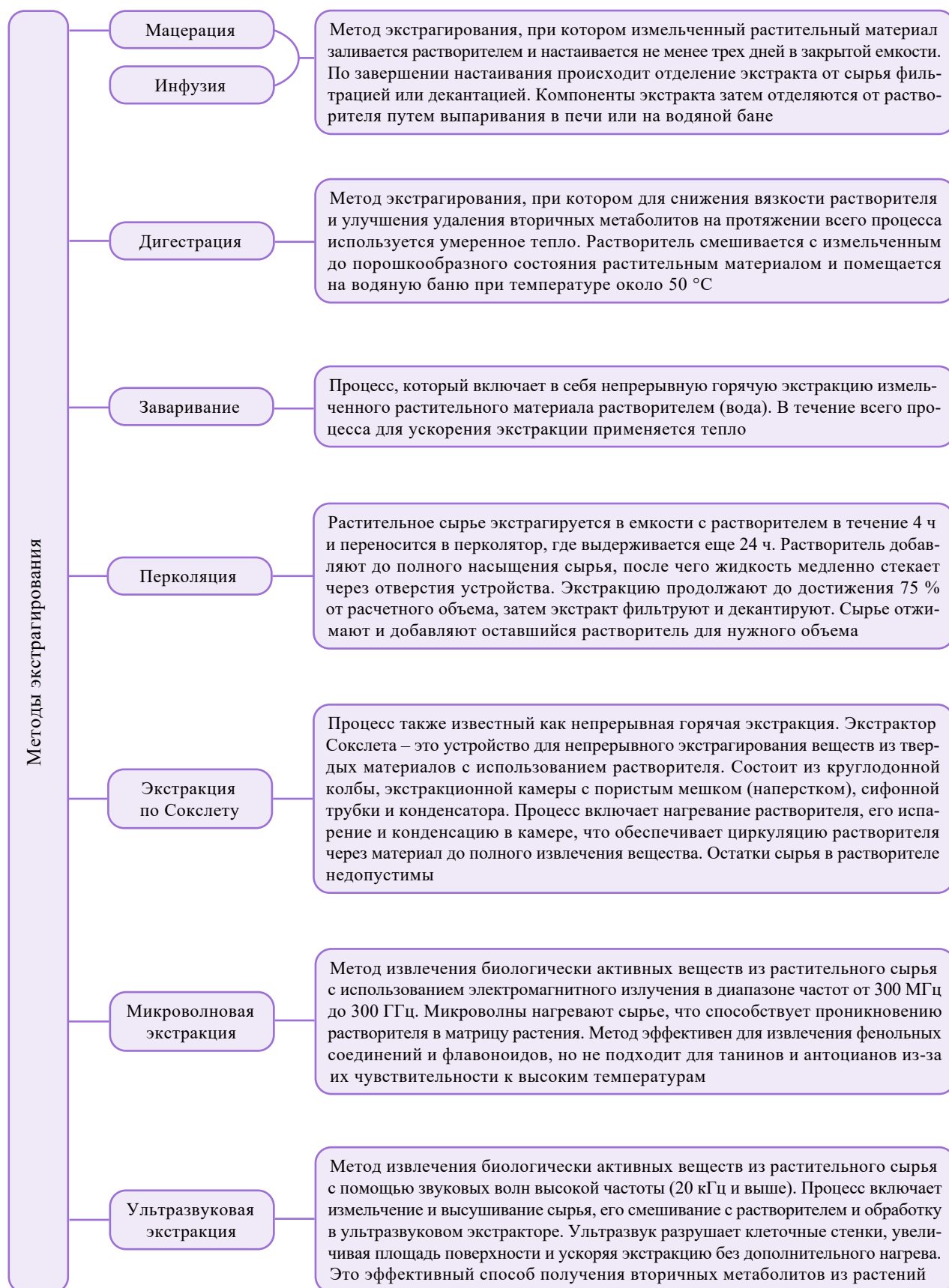


Рисунок 1. Наиболее распространенные методы экстрагирования биологически активных соединений

Figure 1. Popular methods of bioactive extraction

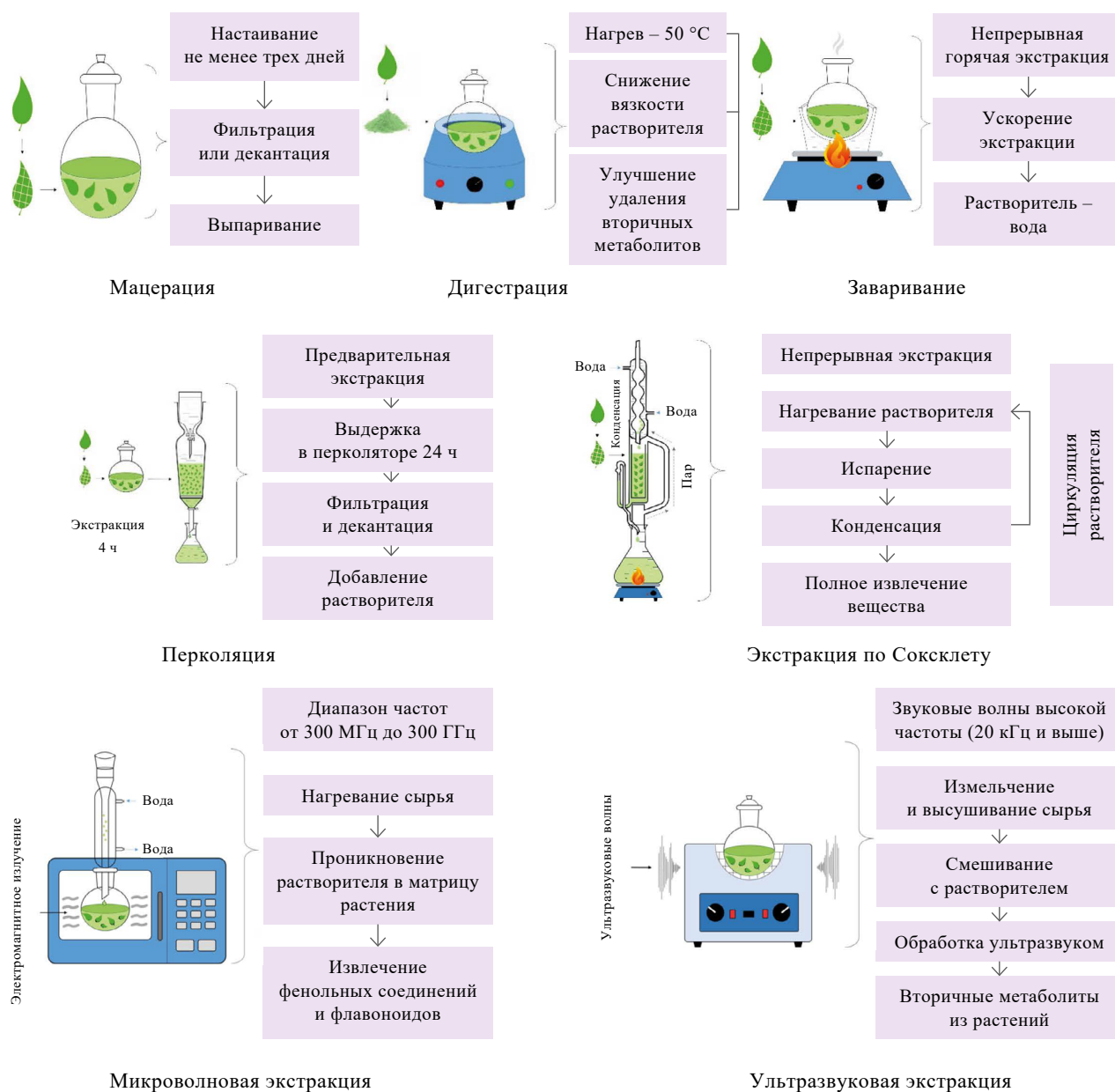


Рисунок 2. Методы экстрагирования биологически активных соединений (схемы)

Figure 2. Popular methods of bioactive extraction (schemes)

В народной медицине экстракты цветков, листьев и корней *F. ulmaria* используются в виде отваров, настоек и мазей для лечения различных заболеваний. Цветки данного растения официально рекомендованы к применению во врачебной практике из-за противовоспалительных и ранозаживляющих свойств, которые помогают справиться с ревматизмом, подагрой, простудой, лихорадкой и язвенной болезнью желудка [37].

Scutellaria baicalensis Georgi еще один представитель лекарственных трав, широко применяемых в различных отраслях промышленности благодаря биологическим и фармакологическим характеристикам. Корень растения содержит большое количество фитокомпонен-

тов – флавоноидов, гликозидов и полисахаридов [38]. *S. baicalensis* обладает высокой биологической активностью, что выражается в противовоспалительном, противовирусном, противоопухолевом, антиоксидантном и антибактериальном действии, и может бороться с инфекциями дыхательных путей, пневмонией, колитом, гепатитом и аллергическими реакциями [39].

Оптимальные условия проведения процесса определяются в ходе эксперимента индивидуально для каждого вида растения. Современные тенденции характеризуются активным развитием методик на основе математического моделирования, особенно когда перед исследователями стоят задачи по изучению большого

числа объектов с многочисленными заданными параметрами условий эксперимента.

Температура как параметр экстракции повышает эффективность процесса извлечения биологически активных соединений, потому что обеспечивает увеличение растворимости и массопереноса биологически активных соединений. Методы экстракции с применением температуры повышают проницаемость клеточных мембран и разрушают полифенольно-липопротеиновые соединения, что способствует высвобождению и извлечению биологически активных соединений. Температура влияет на быстроту кинетики экстракции и ее эффективность. Но необходимо учитывать, что биологически активные соединения могут быть термочувствительными, что ограничивает интенсификацию процесса экстрагирования за счет быстрого испарения легколетучих экстрагентов, потери некоторых летучих биологически активных соединений, а также разрушения термолабильных БАС.

Природа растворителя считается одним из важных факторов на этапе получения биологически активных соединений и имеет особое влияние на разнообразие и выход вторичных метаболитов. Отдельное внимание уделяется полярности и вязкости растворителя. В настоящем исследовании в качестве растворителя был взят этанол, т. к. он является безопасным и нетоксичным растворителем, который соответствует принципам зеленой химии, также к этой категории относятся вода и углекислый газ [40].

От выбора параметров экстракции будет зависеть конечный результат. Извлечение биологически активных соединений и их примесей имеет решающее значение, поскольку напрямую влияет на выход и чистоту соединений. Оптимальные параметры позволят провести экстракцию максимально эффективно, что может способствовать сокращению времени экстракции, получению более чистого продукта с минимальным содержанием примесей и т. д.

Цель работы – посредством метода планирования эксперимента определить и оптимизировать ключевые факторы, влияющие на процесс и скорость экстракции биологически активных соединений из клеточных культур лекарственных растений, с учетом технологических ограничений, связанных со структурой и внутренним строением обрабатываемого объекта.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись образцы растительных клеточных культур *Ginkgo biloba* L., *Pulmonaria officinalis* L., *Filipendula ulmaria* L., *Scutellaria baicalensis* Georgi.

Для исследований взяты каллусные культуры клеток семян *G. biloba* семейства *Ginkgoaceae* Engl., *P. officinalis* семейства *Boraginaceae* Juss., *F. ulmaria* семейства *Rosaceae* Juss., *S. baicalensis* семейства *Lamiaceae* Martinov, культивируемые в условиях *in vitro*. Для индукции каллусных культур клеток использовали сте-

рильные проростки с 2–4 настоящими листьями. Образование первичных каллусов наблюдали на 7–14 сутки культивирования. Для экспериментов отобраны наиболее хорошо растущие рыхлые каллусные культуры.

Пробоподготовка образцов заключалась в измельчении высушенного растительного материала клеточных культур растений в лабораторной мельнице ЛЗМ-1М (ГНУ ВНИИЗерна, Россия) и просеивании через сито с размером пор 1 мм. Далее мелкодисперсный порошок массой 3 г заливали 260 мл этилового спирта (Кемеровская фармацевтическая фабрика, Россия) и подвергали экстракции в статических условиях.

Экстракция биологически активных компонентов из растительного материала клеточных культур проводилась в двукратной повторности на водяной бане ПЭ-4310 (Экросхим, Россия) с обратным холодильником. Для определения влияния условий экстрагирования на кинетику процесса в качестве независимых переменных использовались концентрация этилового спирта, температура экстракции, время экстракции. Значения концентрации этилового спирта как выбранного параметра одной из независимых переменных для эксперимента были равны 30, 50 и 70 %.

Определение содержания общей суммы флавоноидов для всех видов образцов после экстракции проводили по оптической плотности на спектрофотометре СФ-2000 (ОКБ Спектр, Россия). Проводили как прямую, так и дифференциальную спектрофотометрию с использованием реактивов $AlCl_3$ и H_3BO_3 , позволяющих выявить флавоноиды, а также их структурные особенности, такие как положение гидроксильных групп и остатков сахаров. Для флавоноидов в УФ-спектре характерны две интенсивные полосы поглощения: в длинноволновой области 320–380 нм и в коротковолновой области 240–270 нм.

Дифференциальная спектрофотометрия, которая основана на реакции комплексообразования флавоноидов с раствором алюминия хлорида при длине волны 400 ± 5 нм, осуществлялась для определения флавоноидов в образце *P. officinalis*. Эта реакция является селективной для флавоноидов и приводит к bathochromному сдвигу в длинноволновую область, что дает возможность отделить флавоноиды от большой группы фенольных соединений (изофлавоноиды, фенолоксилоты). Количественное определение суммы флавоноидов проводили с использованием удельного показателя поглощения комплекса рабочего стандартного образца рутин с 5 % раствором алюминия хлорида в рамках исследования [41].

Значения оптической плотности применяли для проведения многофакторного эксперимента с тремя вариabельными параметрами (табл. 1). Результаты обрабатывали с использованием модуля дизайна процессов программы Statistica 7.0 (StatSoft Inc., США). Согласно предварительным исследованиям, функции отклика должны быть нелинейными, поэтому уровней варьирования три: –1, 0 и +1.

Таблица 1. Постановка многофакторного эксперимента

Table 1. Multifactorial experiment: design

Параметр	Переменная	Уровень варьирования		
		–1	0	+1
Время экстракции, ч	x_1	2	4	6
Температура, °C	x_2	30	50	70
Концентрация этилового спирта, %	x_3	30	50	70

В качестве параметров независимых переменных приняты время экстрагирования со значениями: 2, 4 и 6 ч; температура экстракции – 30, 50, 70 °C; концентрация экстрагента – 30, 50, 70 %. После определения пределов изменения факторов нижнему присвоили значение –1, среднему – 0 и верхнему пределу – 1. Данные многофакторного эксперимента по оптимизации условий проведения процесса экстракции биологически активных соединений из растительных образцов подвергали регрессионному анализу.

Результаты и их обсуждение

В таблице 2 представлены результаты влияния заданных параметров на полноту экстракции флавоноидов из экстрактов каллусных культур *Ginkgo biloba* L., *Pulmonaria officinalis* L., *Filipendula ulmaria* L. и *Scutellaria baicalensis* Georgi. Данные получены посредством спектрофотометрических исследований флавоноидов в УФ-спектре.

С увеличением времени и концентрации этилового спирта содержание флавоноидов в экстракте *G. biloba* увеличивалось почти в два раза.

Для полноты экстракции флавоноидов из *P. officinalis* достаточно 2 ч и повышенной концентрации этилового спирта. Образец экстракта из каллусных культур *F. ulmaria* показал неоднозначные результаты, однако можно предположить, что с учетом погрешности достаточно 2 ч экстракции при повышенном содержании этилового спирта. Для экстрактов каллусных культур *S. baicalensis* полноту выхода БАВ обеспечивают 70 % этиловый спирт и 6 ч экстракции.

Результаты зависимости оптической плотности, а соответственно, и количества извлеченных флавоноидов от температуры процесса экстрагирования биологически активных соединений из *G. biloba*, *S. baicalensis*, *F. ulmaria*, *P. officinalis* представлены в виде кривых на рисунке 3.

Существенное влияние на скорость процесса экстрагирования оказывала температура экстракции. По кривым зависимости процесса экстрагирования БАВ от температуры можно судить о кинетике процесса. На полноту экстракции повышение температуры оказывало влияние только в случае с образцом *Ginkgo biloba* при длительности процесса 4 и 6 ч (рис. 3).

Для рационального и логически взаимосвязанного планирования экспериментальных исследований по экстракции БАВ из культур растений был проведен многофакторный эксперимент для исследуемых образцов.

В настоящей работе набор данных был следующий: наблюдаемый отклик – оптическая плотность, Y_i – целевая функция, i – номер исследуемого образца (1 – *Ginkgo biloba* L.; 2 – *Pulmonaria officinalis* L.; 3 – *Filipendula ulmaria* L.; 4 – *Scutellaria baicalensis* Georgi). Данные многофакторного эксперимента представлены в таблице 3.

Результаты многофакторного эксперимента обрабатывали с использованием модуля дизайна процессов программы Statistica 7.0 (StatSoft Inc., США).

Согласно результатам многофакторного эксперимента, при заданных значениях оптической плотности влияние рассматриваемых факторов (время, температура и концентрация растворителя) на целевую функцию неоднозначное. Определяющим фактором выступает видовая принадлежность лекарственного растения. Поэтому при исследовании процесса экстракции необходимо учитывать влияние всех трех факторов на целевую функцию процесса. Также при статистическом анализе не стоит отбрасывать факторы, определенные как незначимые, из рассмотрения в уравнениях регрессии: они могут добавить новой информации об изучаемом явлении. Данные многофакторного эксперимента по оптимизации условий проведения процесса экстракции флавоноидов лекарственных растений подвергли регрессионному анализу. В некоторых образцах лекарственных растений влияние факторов сокращалось до одного.

Подобранные на основании выводов многофакторного эксперимента рекомендуемые параметры для каждого исследуемого образца *in vitro* лекарственного растения использовали в дальнейших исследованиях. Таким образом, в последующем для каждого растения использовали 9 экстрактов, полученных при параметрах, приведенных в таблице 4.

Дисперсионный анализ использовался для проверки соответствия математической модели, описывающей зависимость значений количества флавоноидов от основных параметров экстракции. Полученные результаты для всех образцов экстрактов культур клеток лекарственных растений свидетельствовали о соответствии полученной математической модели. По результатам проведенных исследований для извлечения наибольшего количества флавоноидов из экстрактов рекомендованы следующие значения параметров процесса экстракции (табл. 5).

Рассмотрено влияние основных факторов на выход флавоноидов в процессе экстракции из клеточных культур растений. Экспериментально обоснованы температура, концентрация и время проведения процесса экстрагирования, установлена зависимость значений количества флавоноидов от основных параметров экстракции.

Таблица 2. Влияние заданных параметров на полноту экстракции флавоноидов из экстрактов культур лекарственных растений *in vitro* ($P = 95\%$)Table 2. Effect of extraction parameters on flavonoid yield from medicinal plant extracts *in vitro* ($P = 95\%$)

<i>Ginkgo biloba</i> L.	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	30								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время, ч	2	4	6	2	4	6	2	4	6
	Содержание флавоноидов, мг/мл		0,4172 ± 0,0025	0,3698 ± 0,0036	0,4014 ± 0,0030	0,3980 ± 0,0053	0,4691 ± 0,0053	0,5029 ± 0,0033	0,3720 ± 0,0010	0,4917 ± 0,0036	0,5797 ± 0,0041
	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	50								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время	2	4	6	2	4	6	2	4	6
	Содержание флавоноидов, мг/мл		0,2163 ± 0,0010	0,4510 ± 0,0035	0,4194 ± 0,0010	0,3946 ± 0,0015	0,4059 ± 0,0010	0,5436 ± 0,0022	0,4465 ± 0,0030	0,5413 ± 0,0020	0,5278 ± 0,0029
	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	70								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время, ч	2	4	6	2	4	6	2	4	6
<i>Pulmonaria officinalis</i> L.	Содержание флавоноидов, мг/мл		0,3111 ± 0,0022	0,3630 ± 0,0010	0,5977 ± 0,0015	0,4578 ± 0,0028	0,5278 ± 0,0019	0,7896 ± 0,0031	0,4510 ± 0,0034	0,4759 ± 0,0028	0,4826 ± 0,0010
	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	30								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время, ч	2	4	6	2	4	6	2	4	6
	Содержание флавоноидов, мг/мл		0,8724 ± 0,0056	0,7467 ± 0,0030	1,4159 ± 0,0061	1,0550 ± 0,0074	1,0660 ± 0,0075	1,6016 ± 0,0077	0,7995 ± 0,0070	0,8519 ± 0,0063	1,0895 ± 0,0056
	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	50								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время, ч	2	4	6	2	4	6	2	4	6
	Содержание флавоноидов, мг/мл		1,1202 ± 0,0059	1,0279 ± 0,0036	1,2398 ± 0,0077	1,1019 ± 0,0063	1,0940 ± 0,0049	1,0825 ± 0,0070	0,9918 ± 0,0039	0,9135 ± 0,0030	1,2322 ± 0,0066
	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	70								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время, ч	2	4	6	2	4	6	2	4	6
<i>Filipendula ulmaria</i> L.	Содержание флавоноидов, мг/мл		1,5332 ± 0,0085	1,2917 ± 0,0072	1,6027 ± 0,0080	1,2884 ± 0,0074	1,2631 ± 0,0065	1,4459 ± 0,0057	1,2549 ± 0,0061	0,9313 ± 0,0060	1,4982 ± 0,0073
	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	30								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время, ч	2	4	6	2	4	6	2	4	6
	Содержание флавоноидов, мг/мл		0,7790 ± 0,0058	2,2744 ± 0,0100	3,0519 ± 0,0321	0,8832 ± 0,0066	2,5448 ± 0,0132	2,6815 ± 0,0299	0,7273 ± 0,0030	2,5281 ± 0,0126	4,0131 ± 0,0356
	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	50								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время, ч	2 ч	4 ч	6 ч	2 ч	4 ч	6 ч	2 ч	4 ч	6 ч
	Содержание флавоноидов, мг/мл		1,1514 ± 0,0051	3,1343 ± 0,0311	4,4108 ± 0,0665	1,1751 ± 0,0062	3,0207 ± 0,0226	3,8165 ± 0,0420	1,0994 ± 0,0048	3,0769 ± 0,0301	3,4617 ± 0,0310
	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	70								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время, ч	2	4	6	2	4	6	2	4	6
	Содержание флавоноидов, мг/мл		3,0916 ± 0,0225	3,5590 ± 0,0423	5,2950 ± 0,0725	2,4136 ± 0,0099	3,6098 ± 0,0459	4,1499 ± 0,0621	3,0284 ± 0,0235	4,1636 ± 0,0627	4,7847 ± 0,0632

Продолжение таблицы 2

<i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	30								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время, ч	2	4	6	2	4	6	2	4	6
	Содержание флавоноидов, мг/мл		0,3687 ± 0,0066	0,5756 ± 0,0053	0,4939 ± 0,0038	0,3238 ± 0,0032	0,3319 ± 0,0033	0,3244 ± 0,0025	0,3014 ± 0,0028	0,2637 ± 0,0014	0,2249 ± 0,0021
	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	50								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время, ч	2	4	6	2	4	6	2	4	6
	Содержание флавоноидов, мг/мл		0,6221 ± 0,0068	0,3734 ± 0,0026	0,4980 ± 0,0056	0,4199 ± 0,0057	0,3847 ± 0,0020	0,4172 ± 0,0030	0,2299 ± 0,0050	0,3420 ± 0,0010	0,3305 ± 0,0010
	Параметры экстракции	Концентрация этилового спирта, %	70								
		Температура, °C	30			50			70		
		Время, ч	2	4	6	2	4	6	2	4	6
	Содержание флавоноидов, мг/мл		0,7370 ± 0,0070	0,6417 ± 0,0065	0,6061 ± 0,0067	0,5181 ± 0,0066	0,3330 ± 0,0020	0,3899 ± 0,0029	0,3948 ± 0,0040	0,3549 ± 0,0047	0,3836 ± 0,0026

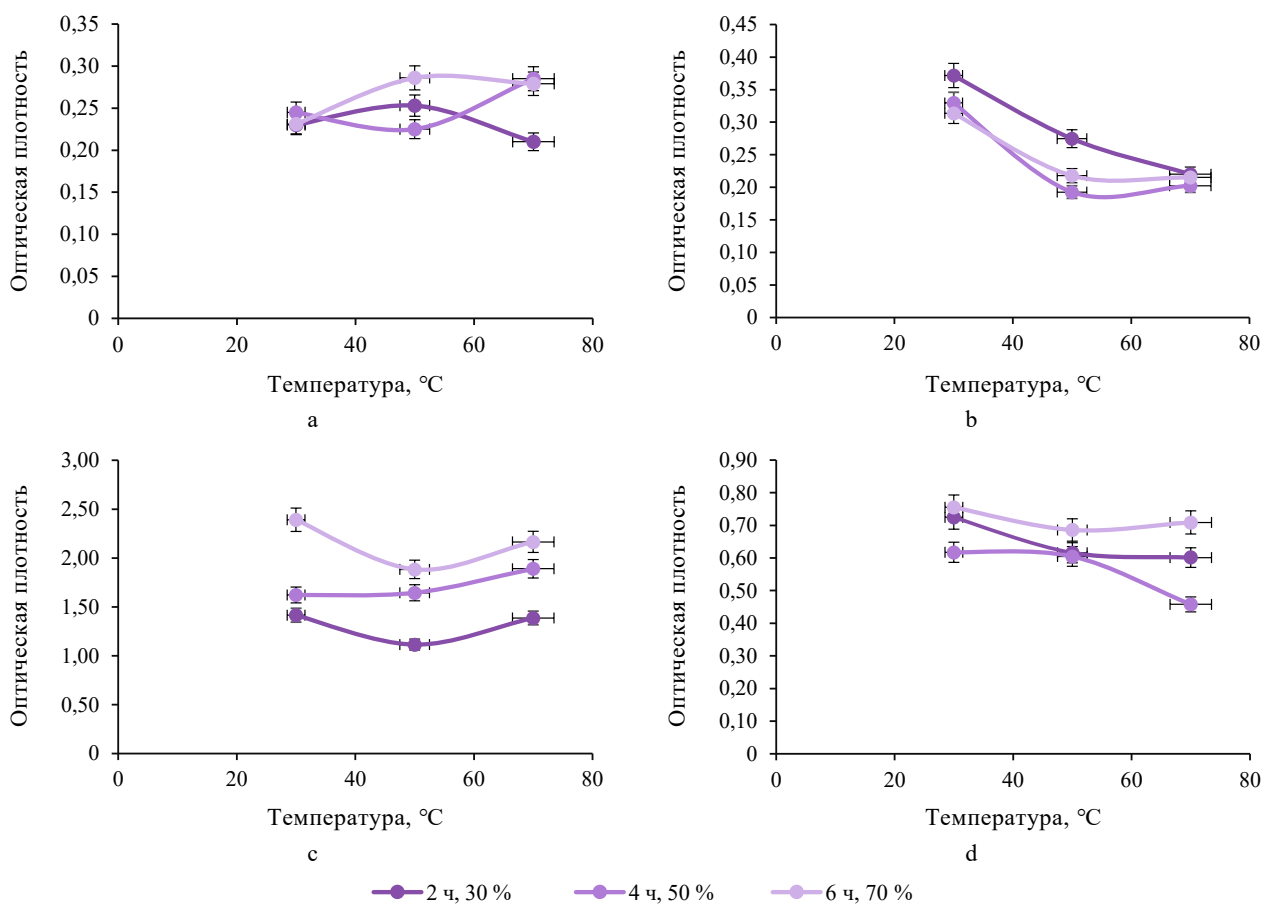


Рисунок 3. Зависимость процесса экстрагирования биологически активных соединений от температуры ($p \leq 0,05$): а – *Ginkgo biloba* L., б – *Pulmonaria officinalis* L., в – *Scutellaria baicalensis* Georgi, г – *Filipendula ulmaria* L. (Для построения кривых зависимости оптической плотности от температуры взяты результаты максимального содержания флавоноидов за 2, 4 и 6 ч)

Figure 3. Effect of extraction temperature ($p \leq 0,05$) on bioactive yield: а – *Ginkgo biloba* L., б – *Pulmonaria officinalis* L., в – *Scutellaria baicalensis* Georgi, г – *Filipendula ulmaria* L. (The dependence curves of optical density and temperature involved the maximal content of flavonoids for 2, 4, and 6 h)

Таблица 3. Данные многофакторного эксперимента

Table 3. Multifactorial experiment: data

Уровни факторов			Оптическая плотность			
x_1	x_2	x_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
2,0	30,0	30,0	0,230	0,2085	0,4317	0,3903
2,0	30,0	50,0	0,253	0,1886	0,5126	0,4365
2,0	30,0	70,0	0,210	0,1787	0,3994	0,3674
2,0	50,0	30,0	0,209	0,3002	0,3760	1,0529
2,0	50,0	50,0	0,253	0,1922	0,5175	1,1727
2,0	50,0	70,0	0,263	0,1620	0,4226	1,1653
2,0	70,0	30,0	0,223	0,2640	0,6725	1,3974
2,0	70,0	50,0	0,268	0,1889	0,7548	1,2333
2,0	70,0	70,0	0,302	0,1448	0,5279	1,8233
4,0	30,0	30,0	0,141	0,3208	0,5415	0,5553
4,0	30,0	50,0	0,22	0,2312	0,5334	0,5658
4,0	30,0	70,0	0,243	0,1470	0,4846	0,5323
4,0	50,0	30,0	0,245	0,2106	0,5006	1,4339
4,0	50,0	50,0	0,225	0,2156	0,5299	1,3836
4,0	50,0	70,0	0,285	0,1967	0,4499	1,4085
4,0	70,0	30,0	0,231	0,2658	0,5945	1,9995
4,0	70,0	50,0	0,286	0,2300	0,5248	1,7362
4,0	70,0	70,0	0,279	0,1916	0,5911	1,5790
6,0	30,0	30,0	0,183	0,3717	0,7245	1,4150
6,0	30,0	50,0	0,248	0,2747	0,6160	1,1146
6,0	30,0	70,0	0,245	0,2201	0,6012	1,3870
6,0	50,0	30,0	0,206	0,3295	0,6175	1,6221
6,0	50,0	50,0	0,279	0,1927	0,6048	1,6446
6,0	50,0	70,0	0,256	0,2024	0,4578	1,8900
6,0	70,0	30,0	0,310	0,3137	0,7553	2,3913
6,0	70,0	50,0	0,395	0,2179	0,6858	1,8839
6,0	70,0	70,0	0,259	0,2151	0,7090	2,1652

Примечание: x_1 – время экстрагирования, ч; x_2 – температура экстракции, °C; x_3 – концентрация экстрагента, %.

Note: x_1 – extraction time, hour; x_2 – extraction temperature, °C; x_3 – extractant concentration, %.

Таблица 4. Параметры выделения флавоноидов из экстрактов лекарственных растений

Table 4. Isolation parameters for flavonoids from medicinal plant extracts

Образец	Параметры экстракции	Значение параметра								
		30	30	30	50	50	50	70	70	70
<i>Ginkgo biloba</i> L.	Концентрация этилового спирта, %	30	30	30	50	50	50	70	70	70
	Температура, °C	50	70	70	50	70	70	50	50	55
	Время, ч	4	4	6	4	4	6	4	2	6
<i>Pulmonaria officinalis</i> L.	Концентрация этилового спирта, %	30	30	50	50	50	70	70	70	70
	Температура, °C	30	30	30	50	30	30	30	30	50
	Время, ч	6	4	2	2	6	2	4	6	2
<i>Filipendula ulmaria</i> L.	Концентрация этилового спирта, %	30	30	70	70	70	70	70	70	70
	Температура, °C	30	50	30	30	35	30	50	50	50
	Время, ч	6	6	2	4	5	6	2	6	6
<i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	Концентрация этилового спирта, %	30	50	50	70	70	70	70	70	70
	Температура, °C	70	30	50	30	50	50	70	70	35
	Время, ч	6	6	6	6	4	6	4	6	5

Таблица 5. Значения параметров процесса экстракции по результатам дисперсионного анализа (ANOVA)

Table 5. ANOVA extraction parameters

Образец	x_1 (ч)	x_2 (°C)	x_3 (%)
<i>Ginkgo biloba</i> L.	6	55	70
<i>Pulmonaria officinalis</i> L.	2	30	70
<i>Filipendula ulmaria</i> L.	5	35	70
<i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	5	35	70

Зависимость значений оптической плотности от технологических параметров описали уравнениями регрессий (1)–(4):

$$Y_1 = 0,0338 - 0,0408x_1 - 0,0004x_2 + 0,0096x_3 + 0,0039x_1^2 + 0,0000x_2^2 - 0,00004x_3^2 + 0,0004x_1x_2 - 0,0001x_1x_3 - 0,0000x_2x_3 \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,4498 + 0,0220x_1 - 0,0021x_2 - 0,0078x_3 + 0,0020x_1^2 + 0,0000x_2^2 + 0,0001x_3^2 - 0,0003x_1x_2 - 0,0002x_1x_3 + 0,0000x_2x_3 \quad (2)$$

$$Y_3 = 0,6112 - 0,0036x_1 - 0,0178x_2 + 0,0096x_3 + 0,0123x_1^2 + 0,0002x_2^2 - 0,0001x_3^2 - 0,0008x_1x_2 - 0,0004x_1x_3 + 0,0000x_2x_3 \quad (3)$$

$$Y_4 = -1,0125 + 0,0683x_1 + 0,0697x_2 - 0,0251x_3 + 0,0301x_1^2 - 0,0004x_2^2 + 0,0003x_3^2 - 0,0015x_1x_2 - 0,0010x_1x_3 - 0,0000x_2x_3 \quad (4)$$

Значения коэффициентов детерминации R^2 для растений *G. biloba*, *P. officinalis*, *F. ulmaria* и *S. baicalensis* составляют 0,696; 0,794; 0,934; 0,795 соответственно. Эти значения показывают, что основными факторами, влияющими на процесс экстракции БАВ, являются продолжительность, температура и концентрация растворителя, а также что уравнения регрессий (1)–(4) обеспечивают от удовлетворительной до отличной аппроксимации данных.

Особая ценность уравнений статистической регрессии заключается не столько в их точности при описании изучаемых процессов, сколько в тенденциях, которые они помогают выявить. Для образцов *S. baicalensis* и *P. officinalis* продолжительность процесса определяет прямую зависимость, т. е. с увеличением продолжительности экстракции оптическая плотность увеличивалась. Температура раствора для образцов каллусных культур *P. officinalis* и *S. baicalensis* определяет прямую зависимость (с увеличением температуры экстракции увеличивалась оптическая плотность раствора), для остальных – обратную.

Концентрация растворителя для образцов *G. biloba* и *F. ulmaria* определяет прямую зависимость. Для образцов каллусных культур растений совокупное влияние продолжительности и температуры имеет прямую зависимость, а концентрации растворителя и продолжительности, растворителя и температуры – обратную. Если учесть только значимые факторы, то из уравнений (1)–(4) получим:

$$Y_1 = 0,0338 + 0,0096x_3 - 0,0000x_3^2 \quad (1')$$

$$Y_2 = 0,4498 - 0,0078x_3 \quad (2')$$

$$Y_3 = 0,6112 - 0,0178x_2 + 0,0123x_1^2 + 0,0002x_2^2 - 0,0008x_1x_2 \quad (3')$$

$$Y_4 = -1,0125 + 0,0697x_2 - 0,0004x_2^2 \quad (4')$$

В таблице 6 приведены наибольшие значения оптической плотности экстрактов БАВ каллусных культур лекарственных растений по результатам анализа критических точек функций (1)–(4) трех независимых переменных с учетом 5 % статистической погрешности.

При данных значениях варьируемых параметров экспериментально установленные значения оптической плотности экстрактов составили от 0,1 до 1,8.

Для того, чтобы проверить работоспособность математической модели, которая описывает влияние таких контролируемых переменных факторов, как время экстракции, температура раствора и концентрация растворителя, на величину оптической плотности (1)–(4) или (1')–(4') провели дисперсионный анализ (ANOVA). Результаты проведенного анализа для каждого образца лекарственных растений свидетельствовали об адекватности полученной математической модели.

Профили желательности представляют собой зависимость между предполагаемыми откликами величины оптической плотности раствора и желательностью откликов от 0 (очень нежелательно) до 1 (очень желательно). Анализ профилей желательности показал, что максимальная оптическая плотность раствора достигается при значении технологических параметров процесса, представленных в таблице 6.

Таблица 6. Критические значения параметров функций регрессий значений оптической плотности экстрактов БАВ каллусных культур лекарственных растений

Table 6. Critical values for regression functions of optical density of bioactive extracts obtained from medicinal callus cultures

Образец	x_1 (ч)	x_2 (°C)	x_3 (%)
<i>Ginkgo biloba</i> L.	6,0 ± 0,0	30,0 ± 0,0	70,0 ± 0,0
<i>Pulmonaria officinalis</i> L.	2,0 ± 0,0	30,0 ± 0,0	69,0 ± 0,0
<i>Filipendula ulmaria</i> L.	2,5 ± 0,5	41,0 ± 2,0	45,0 ± 2,0
<i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	2,5 ± 0,1	70,0 ± 0,0	48,0 ± 2,0

Таблица 7. Рекомендуемые значения параметров процесса экстракции биологически активных соединений из образцов *in vitro* лекарственных растенийTable 7. Optimal values for bioactive extraction from medicinal plant samples *in vitro*

Образец	x_1 (ч)	x_2 (°C)	x_3 (%)
<i>Ginkgo biloba</i> L.	6	55	70
<i>Pulmonaria officinalis</i> L.	2	30	70
<i>Filipendula ulmaria</i> L.	5	35	70
<i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	5	35	70

На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований в рамках рассматриваемых выборок значений для достижения максимальной оптической плотности рекомендованы следующие рациональные значения технологических параметров процесса экстракции (табл. 7).

Два параметра процесса экстрагирования оказались различными для всех объектов исследования – время экстракции и температура.

При выборе *G. biloba* в качестве объекта обработки для достижения максимального количества экстрагируемых биологически активных соединений по результатам теоретических и экспериментальных исследований рекомендуются следующие параметры процесса экстракции: 70 % этиловый спирт, продолжительность 6 ч и температура 55 °C.

Для *F. ulmaria* и *S. baicalensis* оптимальные параметры выделения биологически активных соединений составляют 70 % этиловый спирт, продолжительность экстракции – 5 ч при 35 °C. Температура экстракции характеризуется относительно невысокими значениями для этих двух объектов, но время экстракции достаточно продолжительное, что, предположительно, обусловлено структурными особенностями расточенного материала и влияния указанной температуры экстракции.

Для образца *P. officinalis* оптимальные параметры экстракции – 70 % этиловый спирт, продолжительность 2 ч при температуре 30 °C.

От выбора как совокупности технологических параметров, так и их значений зависит эффективность технологического процесса, в том числе и экстракции биологически активных веществ из растительного сырья, которая играет важную роль в разных условиях: как в лабораторных, так и в производственных. Более того, доля успеха и подлинность полученных результатов зависят от полноты учета влияния всех параметров (вид растворителя, качественное выполнение методов экстракции, фракционирование и идентификация). Периодическое совершенствование и модификация методов извлечения биологически активных веществ из растительных клеток облегчают процессы исследования и улучшают понимание механизмов влияния на его качественные и количественные характеристики.

Выводы

С помощью метода планирования эксперимента были проведены исследования, направленные на оптимизацию основных факторов экстракции биологически активных соединений из растительных клеточных культур лекарственных растений.

Выявлены факторы, влияющие на процесс экстракции и его скорость, а также определены оптимальные значения процесса, которые обеспечивают максимальное извлечение биологически активных соединений при минимальных временных затратах и с учетом технологических ограничений, обусловленных структурными и внутренними особенностями объекта.

Объемная доля растворителя, один из выявленных параметров, обеспечивающий максимально полный выход биологически активных соединений из клеточных культур растений, оказалась одинаковой для всех образцов – 70 % этиловый спирт. Оптимальное время и температура экстракции для каллусных культур *Filipendula ulmaria* L. и *Scutellaria baicalensis* Georgi равны 5 ч и 35 °C соответственно.

Самыми экономически выгодными параметрами экстракции являлись значения времени и температуры экстрактов для каллусных культур *Pulmonaria officinalis* L.: 2 ч, 30 °C. Для экстрагирования БАВ из экстрактов культур *Ginkgo biloba* L. оптимальными параметрами определили 6 ч и 55 °C.

Критерии авторства

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The authors were equally involved in the research and bear equal responsibility for any potential cases of plagiarism.

Conflict of interest

The authors reported no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Матросова Ю. В., Овчинников А. А., Овчинникова Л. Ю., Брюханов Д. С., Ляпин О. А. и др. Использование в рационах кормления цыплят-бройлеров биологически активных веществ. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 1. С. 287–289. [Matrosova YV, Ovchinnikov AA, Ovchinnikova LYu, Bryukhanov DS, Lyapin OA, *et al.* The use of biologically active substances in the feeding diets of broiler chickens. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2022;(1):287–289. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-93-1-287-291>
2. Кузнецов Н. М. Использование биологически активных веществ из сока алоэ вера (*Aloë vera*) для производства медицинских пластырей. Природные ресурсы Земли и охрана окружающей среды. 2022. Т. 3. № 2. С. 71–73. [Kuznetsov NM. The use of biologically active substances from aloe vera (*Aloë vera*) juice for the production of medical patches. Natural resources of the Earth and environmental protection. 2022;3(2):71–73. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/CGHAEW>
3. Кох Д. А., Кох Ж. А. Пектинсодержащий порошок из замороженных выжимок мелкоплодных яблок в производстве зернового хлеба. Ползуновский вестник. 2024. № 2. С. 118–123. [Koch DA, Koch ZA. Pectin-containing powder from frozen pomace of small-fruited apples in grain bread production. Polzunovskiy vestnik. 2024;(2):118–123. (In Russ.)] <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.015>
4. Исмаилов В. Я., Пушня М. В., Родионова Е. Ю., Снесарева Е. Г. Разработка новых методов биологической защиты сои от основных вредителей: Сборник тезисов Краевой отчетной конф. грантодержателей Кубанского научного фонда. Сочи, 24–25 июня 2021 г. 2021. С. 148–150. [Ismailov VYa, Pushnya MV, Rodionova EYu, Snesareva EG. Development of new methods of biological protection of soybean against major pests: Proceedings of the Regional reporting conf. of grant holders of the Kuban Science Foundation, Sochi, June 24–25, 2021. 2021;148–150. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/PSQADF>
5. Alara OR, Abdurahman NH, Ukaegbu CI. Extraction of phenolic compounds: A review. Current Research in Food Science. 2021;4:200–214. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>
6. Grillo G, Boffa L, Binello A, Mantegna S, Cravotto G, *et al.* Cocoa bean shell waste valorisation; extraction from lab to pilot-scale cavitation reactors. Food Research International. 2019;115:200–208. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.057>
7. Титова Л. М., Алексанян И. Ю. Исследование кинетики процесса экстрагирования в технологии комплексной переработки цитрусовых. Вестник Астраханского государственного технического университета. 2013. № 1. С. 35–38. [Titova LM, Aleksanyan IYu. Study of kinetics in the process of extraction technology of complex citrus fruits processing. Vestnik of Astrakhan state technical university. 2013;(1):35–38. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/QAHLSH>
8. Abubakar A, Haque M. Preparation of medicinal plants: Basic extraction and fractionation procedures for experimental purposes. Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences. 2020;12(1):1–10. https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_175_19
9. Ingle KP, Deshmukh AG, Padole DA, Dudhare MS, Moharil MP, *et al.* Phytochemicals: Extraction methods, identification, and detection of bioactive compounds from plant extracts. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2017;6(1):32–36.
10. Azwanida NN. A review on the extraction methods use in medicinal plants, principle, strength, and limitation. Medicinal and Aromatic Plants. 2015;4(3):1–10. <http://dx.doi.org/10.4172/2167-0412.1000196>
11. Pandey A, Tripathi S. Concept of standardization, extraction and pre phytochemical screening strategies for herbal drug. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2014;2(5):115–119.
12. Chávez-González ML, Sepúlveda L, Verma DK, Luna-García HA, Rodríguez-Durán LV, *et al.* Conventional and emerging extraction processes of flavonoids. Processes. 2020;8(4):434. <https://doi.org/10.3390/pr8040434>
13. Sanz V, Flórez-Fernández N, Domínguez H, Torres MD. Clean technologies applied to the recovery of bioactive extracts from *Camellia sinensis* leaves agricultural wastes. Food and Bioproducts Processing. 2020;122:214–221. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.05.007>
14. Motikar PD, More PR, Arya SS. A novel, green environment-friendly cloud point extraction of polyphenols from pomegranate peels: A comparative assessment with ultrasound and microwave-assisted extraction. Separation Science and Technology. 2021;56(6):1014–1025. <https://doi.org/10.1080/01496395.2020.1746969>
15. Petrotos K, Giavasis I, Gerasopoulos K, Mitsagga C, Papaioannou C, *et al.* Optimization of vacuum-microwave-assisted extraction of natural polyphenols and flavonoids from raw solid waste of the orange juice producing industry at industrial scale. Molecules. 2021;26(1):246. <https://doi.org/10.3390/molecules26010246>
16. Trujillo-Mayol I, Céspedes-Acuña C, Silva FL, Alarcón-Enos J. Improvement of the polyphenol extraction from avocado peel by assisted ultrasound and microwaves. Journal of Food Process Engineering. 2019;42(6):e13197. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13197>
17. Rodríguez De Luna SL, Ramírez-Garza RE, Serna Saldívar SO. Environmentally friendly methods for flavonoid extraction from plant material: Impact of their operating conditions on yield and antioxidant properties. The Scientific World Journal. 2020;2020:6792069. <https://doi.org/10.1155/2020/6792069>
18. Majekodunmi SO. Review of extraction of medicinal plants for pharmaceutical research. Merit Research Journal of Medicine and Medical Sciences. 2015;3(11):521–527.

19. Hossain MA, Al-Hdhrami SS, Weli AM, Al-Riyami Q, Al-Sabahi JN. Isolation, fractionation and identification of chemical constituents from the leaves crude extracts of *Mentha piperita* L grown in sultanate of Oman. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. 2014;4(Suppl. 1):S368–S372. <https://doi.org/10.12980/APJTB.4.2014C1051>
20. Chemat F, Rombaut N, Sicaire AG, Meullemiestre A, Fabiano-Tixier AS, et al. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. Ultrasonics Sonochemistry. 2017;34:540–560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
21. Gil-Martín E, Forbes-Hernández T, Romero A, Cinciosi D, Giampieri F, et al. Influence of the extraction method on the recovery of bioactive phenolic compounds from food industry by-products. Food Chemistry. 2022;378:131918. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131918>
22. Chel-Guerrero LD, Oney-Montalvo JE, Rodríguez-Buenfil IM. Phytochemical characterization of by-products of habanero pepper grown in two different types of soils from Yucatán, Mexico. Plants. 2021;10(4):779. <https://doi.org/10.3390/plants10040779>
23. Велямов Ш. М., Велямов М. Т., Уразбаев Ж. З., Бакытжан Т. Н., Абитбекова А. У. Функциональные компоненты питания: технология получения концентрата, содержащего ликопин, из томатного сырья. FOOD METAENGINEERING. 2025. Т. 3. № 1. С. 33–41. [Velyamov ShM, Velyamov MT, Urazbayev ZhZ, Bakytzhan TN, Abitbekova AU. Functional components in nutrition: Technology for producing a lycopene-containing concentrate from tomato raw materials. FOOD METAENGINEERING. 2025;3(1):33–41. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37442/fme.2025.1.77>
24. Toro-Uribe S, Ibañez E, Decker EA, Villamizar-Jaimes AR, López-Giraldo LJ. Food-safe process for high recovery of flavonoids from cocoa beans: Antioxidant and HPLC-DAD-ESI-MS/MS analysis. Antioxidants. 2020;9(5):364. <https://doi.org/10.3390/antiox9050364>
25. Cassol L, Rodrigues E, Noreña CPZ. Extracting phenolic compounds from *Hibiscus sabdariffa* L. calyx using microwave assisted extraction. Industrial Crops and Products. 2019;133:168–177. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.03.023>
26. Arboleda Meija JA, Parpinello GP, Versari A, Conidi C, Cassano A. Microwave-assisted extraction and membrane-based separation of biophenols from red wine lees. Food and Bioproducts Processing. 2019;117:74–83. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.06.020>
27. Gerardi C, D'amico L, Migoni D, Santino A, Salomone A, et al. Strategies for reuse of skins separated from grape pomace as ingredient of functional beverages. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2020;8:645. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00645>
28. Chaves JO, de Souza MC, da Silva LC, Lachos-Perez D, Torres-Mayanga PC, et al. Extraction of flavonoids from natural sources using modern techniques. Frontiers in Chemistry. 2020;8:507887. <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.507887>
29. Dzah CS, Duan Y, Zhang H, Wen C, Zhang J, et al. The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. Food Bioscience. 2020;35:100547. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100547>
30. Skenderidis P, Leontopoulos S, Petrotos K, Giavasis I. Optimization of vacuum microwave-assisted extraction of pomegranate fruits peels by the evaluation of extracts' phenolic content and antioxidant activity. Foods. 2020;9(11):1655. <https://doi.org/10.3390/foods9111655>
31. Nutter J, Fernandez MV, Jagus RJ, Agüero MV. Development of an aqueous ultrasound-assisted extraction process of bioactive compounds from beet leaves: A proposal for reducing losses and increasing biomass utilization. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2021;101(5):1989–1997. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10815>
32. Кригер О. В., Шепель Е. И. Влияние способа получения экстрактов цветков бархатцев распростертых (*Tagetes patula* L.) на содержание биологически активных веществ и антимикробную активность. FOOD METAENGINEERING. 2024. Т. 2. № 2. С. 22–34. [Kriger OV, Shepel EI. The effect of the preparation method on the content of biologically active substances and antimicrobial activity of extracts of marigold flowers (*Tagetes patula* L.). FOOD METAENGINEERING. 2024;2(2):22–34. (In Russ.)] <https://doi.org/10.37442/fme.2024.2.49>
33. Le V, Sukhikh A, Larichev T, Ivanova S, Prosekov A, et al. Isolation of the main biologically active substances and phytochemical analysis of *Ginkgo biloba* callus culture extracts. Molecules. 2023;28(4):1560. <https://doi.org/10.3390/molecules28041560>
34. Noor-E-Tabassum, Das R, Lami MS, Chakraborty AJ, Mitra S, et al. *Ginkgo biloba*: A treasure of functional phytochemicals with multimedicinal applications. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2022;2022(1):8288818. <https://doi.org/10.1155/2022/8288818>
35. Krzyżanowska-Kowalczyk J, Kowalczyk M, Ponczek MB, Pecio Ł, Nowak P, et al. *Pulmonaria obscura* and *Pulmonaria officinalis* extracts as mitigators of peroxynitrite-induced oxidative stress and cyclooxygenase-2 inhibitors-in vitro and in silico studies. Molecules. 2021;26(3):631. <https://doi.org/10.3390/molecules26030631>
36. Dyshlyuk L, Vesnina AD, Dmitrieva AI, Kozlova OV, Prosekov AY. Optimization of parameters for obtaining callus, suspension, and root cultures of meadowsweet (*Filipendula ulmaria*) to isolate the largest number of biologically active substances with geroprotective properties. Brazilian Journal of Biology. 2024;84:e257074. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.257074>

37. Sukhikh SA, Astakhova LA, Golubcova YuV, Lukin AA, Prosekova EA, *et al.* Rasshchepkin functional dairy products enriched with plant ingredients. *Foods and Raw Materials*. 2019;7(2):428–438. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-2-428-438>
38. Milentyeva IS, Fedorova AM, Larichev TA, Altshuler OG. Biologically active compounds in *Scutellaria baicalensis* L. callus extract: Phytochemical analysis and isolation. *Foods and Raw Materials*. 2023;11(1):172–186. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-564>
39. Vesnina AD, Milentyeva IS, Le VM, Fedorova AM, Altshuler OG, *et al.* Quercetin isolated from *Hedysarum neglectum* Ledeb. as a preventer of metabolic diseases. *Foods and Raw Materials*. 2025;13(1):192–201. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-1-633>
40. Bubalo MC, Vidović S, Radojčić IR, Jokić S. New perspective in extraction of plant biologically active compounds by green solvents. *Food and Bioproducts Processing*. 2018;109:52–73. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.03.001>
41. Андреева В. Ю., Калинкина Г. И., Полуэктова Т. В., Гуляева В. А. Сравнительное исследование фенольных соединений видов рода клевер (*Trifolium* L.) флоры Сибири. *Химия растительного сырья*. 2017. № 1. С. 97–104. [Andreeva VYu, Kalinkina GI, Poluektova TV, Guliaeva VA. The comparative study of phenolic compounds in *Trifolium* L. species in Siberia. *Chemistry of plant raw material*. 2017;(1):97–104. (In Russ.)] <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018011846>

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» предназначен для публикации статей, посвященных проблемам пищевой и смежных отраслей промышленности.

Статья должна отвечать профилю журнала, обладать научной новизной, публиковаться впервые.

Рукопись научной статьи, поступившая в редакцию журнала, рассматривается ответственным за выпуск на предмет соответствия профилю журнала и требованиям к оформлению, проверяется оригинальность представленного текста с помощью интернет-ресурсов – <https://antiplagiat.ru>, регистрируется.

В журнале публикуются только рукописи, текст которых рекомендован рецензентами. Редакция организует «двухстороннее слепое» (анонимное) рецензирование представленных рукописей. Выбор рецензента осуществляется решением главного редактора или его заместителя. Для проведения рецензирования рукописей статей в качестве рецензентов могут привлекаться как члены редколлегии журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)», так и высококвалифицированные ученые и специалисты других организаций и предприятий, обладающие глубокими профессиональными знаниями и опытом работы по конкретному научному направлению, как правило, доктора наук, профессора. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи.

Рецензенты уведомляются о том, что присланные им рукописи являются частной собственностью авторов и относятся к сведениям, не подлежащим разглашению. Рецензентам не разрешается делать копии статей для своих нужд. Рецензирование проводится конфиденциально. Нарушение конфиденциальности возможно только в случае заявления рецензента о недостоверности или фальсификации материалов, изложенных в статье.

Срок рассмотрения статьи не должен превышать трех месяцев со дня получения статьи на рецензирование.

Оригиналы рецензий хранятся в издательстве и в редакции издания в течение пяти лет со дня публикации статей.

Если в рецензии имеется указание на необходимость ее исправления, то статья направляется автору на доработку.

Если статья по рекомендации рецензента подверглась значительной авторской переработке, то она направляется

на повторное рецензирование тому же рецензенту, который сделал критические замечания.

Редакция оставляет за собой право отклонения статей в случае неспособности или нежелания автора учесть пожелания редакции.

При наличии отрицательных рецензий на рукопись от двух разных рецензентов или одной рецензии на ее доработанный вариант статья отклоняется от публикации без рассмотрения другими членами редколлегии. Автору не принятой к публикации статьи ответственный за выпуск направляет мотивированный отказ. Фамилия рецензента может быть сообщена автору лишь с согласия рецензента.

Решение о возможности публикации после рецензирования принимается главным редактором, а при необходимости – редколлегией в целом.

С 1 августа 2024 г. для публикации статей необходимо вносить плату (АПС). Плата за публикацию одной статьи составляет 50 000 руб. независимо от объема рукописи, языка, на котором она представлена, и наличия графического материала. Оплата производится только после получения положительной рецензии и утверждения главным редактором статьи в номер. За подачу рукописи статьи в редакцию журнала, её проверку и рецензирование плата не взимается. Более подробно ознакомиться с условиями платы, скидками и привилегиями можно на <https://fptt.ru>

Редакция журнала направляет авторам представленных материалов копии рецензий или мотивированный отказ, а также обязуется направлять копии рецензий в Министерство науки и высшего образования Российской Федерации при поступлении в редакцию издания соответствующего запроса.

Редакция журнала «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» не хранит рукописи, не принятые к печати.

Рукописи печатаются, как правило, в порядке очередности их поступления в редакцию. В исключительных случаях, редакционная коллегия имеет право изменить очередность публикации статей.

Журнал «Техника и технология пищевых производств (Food Processing: Techniques and Technology)» является журналом открытого доступа (open access). Все материалы журнала распространяются на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЬИ

Объем статьи должен быть не менее 30–35 тыс. знаков (не включая списки литературы на русском и английском языках). Объем обзорной рукописи – более 35 тыс. знаков.

Оформление текста (форматирование): поля по 20 мм, одинарный интервал без переносов, лишних пробелов и абзацных интервалов, шрифт Times New Roman, 10 кегль. Следует избегать перегрузки статей большим количеством формул, дублирования одних и тех же результатов в таблицах и графиках.

Графики, диаграммы и т. п. (желательно цветные), созданные средствами Microsoft Office и Corel Draw, должны допускать возможность редактирования и направляются в редакцию отдельными файлами в форматах tiff, jpeg, cdr, excel.

Каждая таблица, график, диаграмма и т. п. должны иметь заголовки и порядковые номера, в тексте статьи должны присутствовать ссылки на каждую из них.

Структура статьи:

1. Тип статьи;
2. Название статьи;
3. Инициалы и фамилии всех авторов;
4. Официальное полное название учреждения;
5. E-mail автора, с которым следует вести переписку;
6. Аннотация (разбивается на разделы: «Введение», «Объекты и методы исследований», «Результаты и их обсуждение», «Выводы»);
7. Ключевые слова;
8. Финансирование;

9. Текст статьи (обязательные разделы: «Введение», «Объекты и методы исследований», «Результаты и их обсуждение», «Выводы»);

10. Критерий авторства;

11. Конфликт интересов;

12. Благодарности;

13. Список литературы;

14. References;

15. Сведения об авторах (на русском и английском языках).

Подать рукопись можно на сайте журнала <https://fptt.ru> или отправив на e-mail fptt98@gmail.com

В редакцию предоставляются:

1. Электронная версия статьи в программе MSWord. Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – ПетровГП.doc. Не допускается в одном файле помещать несколько документов;
2. Сканированная электронная версия статьи, подписанная всеми авторами, в программе PDF. Файл статьи следует назвать по фамилии первого автора – ПетровГП.pdf. Не допускается в одном файле помещать несколько документов;
3. Гарантийное письмо (скан-копия) на имя главного редактора журнала на бланке направляющей организации с указанием даты регистрации и исходящего номера, с заключением об актуальности работы и рекомендациями к опубликованию, с подписью руководителя учреждения;
4. Издательский лицензионный договор.

Более подробная информация на <https://fptt.ru>

FOR AUTHORS

Food Processing: Techniques and Technology reports pioneering research in the food industry and all branches of agricultural science. We publish scientific papers, reviews, and brief scientific reports in such spheres of food science as food systems, biotechnology, food production technology, sanitation and hygiene, ecology, biosafety, zootechnics, agro-industrial machinery, etc.

Before submitting your manuscript, please make sure you have not submitted it elsewhere. Your research topic should correspond to the profile of the Journal and be relevant for the scientific community.

First, we check if your manuscript complies with the Journal's profile and formatting. Then, we check it for unattributed borrowings from open sources (plagiarism) at antiplagiat.ru.

After that, your manuscript undergoes a double-blind peer review by specialists appointed by the Chief Editor or the Deputy Editor. The peer review can be conducted by the members of the Editorial Board or by acknowledged academic experts in the area of research who have recent publications on the related topic.

The Reviewers are notified about the manuscripts being the authors' private owner rights that cannot be subject to public disclosure. The Reviewers are not allowed to copy them. Reviewing is strictly confidential. Violation of confidentiality is impossible unless the Reviewer reports unreliability or counterfeiting.

Usually, reviewing does not exceed three months from the day the Reviewer receives the manuscript.

All reviews are disposed of five years after the publication.

Based on the results, the Reviewer produces a reasoned opinion: the manuscript can be recommended for publication; the manuscript can be recommended for publication after

some improvement; the manuscript cannot be recommended for publication (reasons for rejection).

If the article underwent a considerable follow-on revision, it is again sent to the same Reviewer who gave the critical remarks.

We reserve the right to reject the manuscript if the Author is unable or unwilling to follow the recommendations.

In case of two negative initial reviews or one negative review on the revised variant, the manuscript is rejected without considering by other members of the Editorial Board.

The Author of the rejected article receives the reviews and a motivated refusal. The Reviewer's name may be reported to the Author provided that the former gives consent to it.

After reviewing, the Chief Editor and the Editorial Board make the final decision.

All articles submitted after August 1, 2024, require a publishing charge of 50,000 rubles per article, regardless of volume, language, graphic material, etc. Submission and peer review are free of charge, which means that you pay the article publishing charge only after you have received a positive review and your manuscript have been accepted for publication by the Chief Editor. More information is available at fptt.ru/en

We are obliged to provide review copies to the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation upon request, but we do not retain rejected articles. Accepted manuscripts are not returned. The manuscripts with negative reviews are not published and not returned to the Author, either.

Manuscripts are usually published in the order we receive them. In exceptional cases, the Editorial Board maintains the right to change the order of publication.

All papers published in the *Food Processing: Techniques and Technology* fall under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).

FORMATTING

The article body should be 30.000–35.000 characters with spaces (abstract, figures, and tables included). Reviews have an unlimited wordage.

Format instructions:

- 20 mm margins;
- single line spacing without automatic hyphenation;
- no extra interspaces between words or gaps between paragraphs;
- Times New Roman, size 10;
- editable and colored Microsoft Office or Corel Draw figures and diagrams attached separately as tiff, jpeg, cdr, or excel files.

Please, do not overload your text with unnecessary formulae; do not illustrate the same results with both a table and a graph. Give each table or figure a header and a number, which you will use in the text to introduce them.

Structure:

1. Type of manuscript (research paper/review/report)
2. Title
3. Initials and last names of the authors
4. Affiliations
5. Email of the author responsible for correspondence
6. Abstract (Introduction; Study Objects and Methods; Results and Discussion; Conclusions)
7. Keywords
8. Funding

9. Article body (Introduction; Study objects and methods; Results and discussion; Conclusions)

10. Contribution

11. Conflict of Interests

12. Acknowledgements

13. References

14. About the authors

You can submit your manuscript and all accompanying documents on our site fptt.ru/en or email them to fptt98@gmail.com

Documents:

We expect to receive the following documents as separate files:

1. an MSWord e-version of your article named by the first author's last name (e.g., Smith.doc);
2. a scanned PDF version of your article, the first page signed by all the authors (Smith.pdf);
3. a scanned PDF version of a cover letter to the Chief Editor from your organization with the conclusion about the relevance of the research and recommendations for its publishing. It should contain the date, reference number, and the signature of the head of the organization;
4. a standard copyright agreement.

For more information, please, visit us at fptt.ru/en

СОДЕРЖАНИЕ

Сурай Н. М., Черкасский А. И., Таточенко А. Л., Теплая Н. А., Корнева Г. В., Терехова А. А. «Сырная проблема»: попытка объективного количественного анализа в региональном аспекте	226	Приходько Д. В., Карпухина П. А., Красноштанова А. А. Получение ингредиентов на основе смеси яичного и растительных белков с высокими функциональными и технологическими свойствами	342
Серба Е. М., Римарева Л. В., Крючкова Е. Р., Оверченко М. Б., Игнатова Н. И., Матросова Н. В. Влияние состава гречишно-кукурузного сусла на динамику генерации дрожжей и синтез этанола	244	Крылова И. В., Доморощенкова М. Л., Демьяненко Т. Ф., Федоров А. В. Получение белкового ингредиента с повышенной водоудерживающей способностью из подсолнечного шрота	352
Лебедева С. Н., Щёкотова А. В., Атласова Д. В., Аюшеева Р. Б., Хамагаева И. С., Котова Т. И. Получение обогащенного белкового концентрата на основе молочной сыворотки	257	Подорожня И. В., Ветохин С. С. Сравнение некоторых физико-химических показателей ряженок промышленного производства и лабораторного ряженового продукта	364
Купин Г. А., Першакова Т. В., Тягуцева А. А., Семиряжко Е. С. Влияние обработки моркови и капусты электромагнитным полем крайне низкой частоты перед сушкой на показатели продукции	272	Лисицын А. Б., Чернуха И. М., Оганесянц Л. А., Панасюк А. Л., Свиридов Д. А., Ганин М. Ю. Применение метода изотопной масс-спектрометрии для идентификации мясной продукции	381
Агеева Н. М., Ширишова А. А., Ульяновская Е. В., Щеглов С. Н., Храпов А. А., Чернуцкая Е. А. Сравнительный анализ биогенных аминов в винах и сидрах	284	Коваль Д. Д., Хан А. В., Лазарева Е. Г., Фоменко О. Ю. Сравнительный анализ методов выделения бактериальной ДНК из козьего молока и продуктов на его основе	390
Романова М. В., Макеев Ф. Д., Мирзалиева Н. А., Евдокимова С. А., Белодед А. В. Активность и состав секретируемых гидролаз термофильного штамма <i>Bacillus</i> sp. при культивировании на средах с растительной мукой	300	Просяков А. Ю., Веснина А. Д., Любимова Н. А., Чекушкина Д. Ю., Михайлова Е. С. Потребительская геномика: роль в персонализации питания	400
Рожнов Е. Д., Школьников А. М. Н., Аббазова В. Н. Оптические характеристики и индивидуальные каротиноиды пюре из мякоти тыквы в зависимости от сорта сырья и способа получения	315	Ганиева И. А., Шадрин В. Г., Шемчук М. А. Анализ бренда сети по торговле локальными фермерскими продуктами	416
Косовский Г. Ю., Шумилина А. Р., Абрамов О. И., Попов Д. В., Глазко Т. Т., Скобель О. И., Леонов А. В. Поллиморфизм 8 и 13 экзонов меланофилина кролика у родительских пород и межпородного кросса Родник	331	Арипова Ф. К., Гончарова Е. П., Рябинина В. А., Коркина В. И., Плотников К. О., Корель А. В., Душанова Г. А., Литвинова Е. А. Влияние препарата Юнигель Плантам на качество урожая листового салата	429
		Ле В. М., Степанова А. А., Шевель А. А., Ларичев Т. А., Лузянин С. Л. Основные факторы, влияющие на экстракцию биологически активных соединений из клеточных культур растений	439

CONTENTS

Suray N. M., Cherkassky A. I., Tatochenko A. L., Teplaya N. A., Korneva G. V., Terekhova A. A. "The Cheese Issue": An Attempt at an Objective Quantitative Analysis in the Regional Perspective	227	Prikhodko D. V., Karpukhina P. A., Krasnoshtanova A. A. Obtaining Ingredients Based on Egg and Plant Protein Mixtures with High Functional and Technological Properties	341
Serba E. M., Rimareva L. V., Kryuchkova E. R., Overchenko M. B., Ignatova N. I., Matrosova N. V. Effect of Buckwheat-Corn Wort Mix on Yeast Generation and Ethanol Synthesis	245	Krylova I. V., Domoroshchenkova M. L., Demianenko T. F., Fedorov A. V. Protein with High Water-Binding Capacity from Sunflower Meal	353
Lebedeva S. N., Shchekotova A. V., Atlasova D. V., Ayusheeva R. B., Khamagaevarina I. S., Kotova T. I. Fortified Protein Concentrate Based on Milk Whey	258	Padarozhniaya I. V., Vetokhin S. S. Physical and Chemical Properties of Commercial Baked Milk vs. Experimental Samples	365
Kupin G. A., Pershakova T. V., Tyagusheva A. A., Semiryazhko E. S. Pre-Drying Treatment of Carrots and Cabbage with Extremely Low Frequency Electromagnetic Field	273	Lisitsyn A. B., Chernukha I. M., Oganesyants L. A., Panasyuk A. L., Sviridov D. A., Ganin M. Yu. Isotope Mass Spectrometry in Meat Identification	382
Ageyeva N. M., Shirshova A. A., Ulyanovskaya E. V., Shcheglov S. N., Khrapov A. A., Chernutskaya E. A. Comparative Analysis of Biogenic Amines in Wines and Ciders	285	Koval D. D., Khan A. V., Lazareva E. G., Fomenko O. Yu. Isolating Bacterial DNA from Goat Milk and Its Products: Comparative Analysis	391
Romanova M. V., Makeev F. D., Mirzalieva N. A., Evdokimova S. A., Beloded A. V. Activity and Composition of Hydrolases Secreted by Thermophilic Strain <i>Bacillus</i> sp. Grown on Plant Flour Media	301	Prosekov A. Yu., Vesnina A. D., Lyubimova N. A., Chekushkina D. Yu., Mikhailova E. S. Consumer Genomics in Personalized Nutrition	401
Rozhnov E. D., Shkolnikova M. N., Abbazova V. N. Effect of Production Process and Raw Material Quality on Carotenoid Content in Pumpkin Pulp and Its Optical Properties	316	Ganieva I. A., Shadrin V. G., Shemchuk M. A. Local Farm Food Network: Brand Analysis	417
Kosovsky G. Yu., Shumilina A. R., Abramov O. I., Popov D. V., Glazko T. T., Skobel O. I., Leonov A. V. Melanophilin Polymorphism of Exons 8 and 13 in Rabbits: Parent Breeds and Interbreed Cross Rodnik	332	Aripova F. K., Goncharova E. P., Ryabinina V. A., Korkina V. I., Plotnikov K. O., Korel A. V., Dushanova G. A., Litvinova E. A. Effect of Unigel Plantum on Lettuce Quality	430
		Le V. M., Stepanova A. A., Shevel A. A., Larichev T. A., Luzyanin S. L. Factors Affecting Extraction of Bioactive Substances from Plant Cell Cultures	440