

Разработка биотехнологических подходов к созданию ферментированных напитков из пермеата с прогнозируемым углеводным составом

М. И. Шрамко, Д. М. Назаренко, И. А. Евдокимов, А. Д. Лодыгин*,
Е. А. Абакумова, И. С. Родионов, Т. В. Нерсесян

*Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Россия;
e-mail: allodygin@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8460-2954>

Информация о статье

Поступила
в редакцию
28.08.2025;

получена
после доработки
08.10.2025;

принята
к публикации
10.11.2025

Ключевые слова:

пермеат,
молочная сыворотка,
 β -галактозидаза,
кефирная закваска,
ферментированный
напиток

Для цитирования

Реферат
Создание высокотехнологичных производств в молочной промышленности базируется на применении мембранных методов фракционирования и концентрирования, что приводит к образованию значительных объемов новых видов вторичного молочного сырья – пермеатов. Пермеаты, получаемые при ультрафильтрации обезжиренного молока и подсырной сыворотки, содержат до 6 % сухих веществ молока, из которых до 4,6 % приходится на лактозу. Основным продуктом, получаемым из молочного пермеата, является сухой порошок с содержанием лактозы до 90 %. С целью расширения ассортимента продуктов из молочного пермеата предложено разработать биотехнологию ферментированных напитков с регулируемым углеводным составом. Предложены методологические принципы, которые базируются на двухстадийной биотехнологической обработке молочного пермеата. На 1 стадии осуществляется гидролиз лактозы ферментным препаратом β -галактозидазы до степени гидролиза не ниже 50 %. На 2 стадии проводится ферментация гидролизованного пермеата с использованием закваски кефирных грибков. В результате исследований доказана возможность использования пермеатов молочного сырья для производства ферментированных напитков. Установлено, что применение биотехнологических приемов позволяет прогнозировать углеводный состав и обеспечивает формирование характерных органолептических показателей ферментированного напитка: внешний вид – прозрачная жидкость, цвет желтовато-зеленый, приятный кисломолочный вкус и аромат, сладковатый с нотками остроты, консистенция однородная с присутствием мелких пузырьков газа, образующегося за счет естественной газации. Применение биотехнологических подходов в предлагаемой технологии дает возможность минимизировать содержание лактозы до 0,1 %. Это позволяет отнести ферментированный напиток к низколактозным продуктам и расширить круг его потребления за счет людей, страдающих лактазной недостаточностью.

Шрамко М. И. и др. Разработка биотехнологических подходов к созданию ферментированных напитков из пермеата с прогнозируемым углеводным составом. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 4/2. С. 643–653. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-4/2-643-653>.

Development of biotechnological approaches to creation of fermented permeate drinks with a predictable carbohydrate composition

Maryia I. Shramko, Dmitry M. Nazarenko, Ivan A. Evdokimov, Aleksey D. Lodygin*,
Elena A. Abakumova, Ivan S. Rodionov, Tigran V. Nersesyan

*North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia;

e-mail: ievdkimov@ncfu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5396-1548>

Article info

Received
28.08.2025;

received
in revised form
08.10.2025;

accepted
10.11.2025

Key words:

пермеат,
 whey,
 β -галактозидаза,
kefir starter culture,
fermented drink

For citation

Abstract
The creation of high-tech manufacturing of dairy products is based on the application of membrane fractionation and concentration methods, which leads to the formation of significant volumes of new types of secondary dairy raw materials – permeates. Permeates obtained by ultrafiltration of skim milk and whey contain up to 6 % of milk solids, among which up to 4.6 % is lactose. The main product manufactured from dairy permeates is a dry powder with a lactose content of up to 90 %. It is proposed to develop a biotechnology of fermented drinks with a regulated carbohydrate composition in order to expand the range of dairy permeate products. Methodological principles based on two-stage biotechnological processing of dairy permeate have been proposed. At the first stage, lactose is hydrolysed to hydrolysis degree at least 50 % using β -galactosidase enzyme preparation. At the second stage, fermentation of hydrolysed permeate using kefir grains starter culture is carried out. Based on the research results, the possibility of dairy raw materials permeates application for the production of fermented drinks has been established. It has been proven that the application of biotechnological techniques makes it possible to predict the carbohydrate composition and ensures the formation of fermented drink characteristic organoleptic parameters: appearance – transparent liquid with yellowish-green colour, pleasant sour-milk taste and aroma, sweet with hints of strength, homogeneous consistency with the presence of small gas bubbles formed due to natural gassing. The use of biotechnological approaches for the proposed technology development makes it possible to minimize the lactose content to 0.1 %. It makes possible to classify a fermented drink as a low-lactose product and expand its range of consumption at the expense of people suffering from lactase deficiency.

Shramko, M. I. et al. 2025. Development of biotechnological approaches to creation of fermented permeate drinks with a predictable carbohydrate composition. *Vestnik of MSTU*, 28(4/2), pp. 643–653. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-4/2-643-653>.

Введение

В последние десятилетия вопросам создания высокотехнологичных производств в нашей стране уделяется повышенное внимание (Постановление Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 "О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального сектора экономики в целях реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств"¹). В современной молочной промышленности России существуют особенности создания высокотехнологичных производств, которые связаны, в первую очередь, с широким применением мембранных техники и технологий – микрофильтрации, ультрафильтрации, нанофильтрации, обратного осмоса (*Reig et al., 2021*).

Следует отметить, что создание высокотехнологичного производства в молочной отрасли преимущественно направлено на получение целевого инновационного продукта и не всегда обеспечивает комплексность и завершенность полного технологического цикла переработки молочного сырья. Особенно это касается производства высокомаржинальных высокобелковых продуктов, например, свежих сыров типа Queso Fresco, творожных сыров, мягкого творога, молочно-белковых концентратов (МБК), концентратов мицеллярного казеина (КМК), концентратов сывороточных белков (КСБ), изолятов сывороточных белков (ИСБ), пептидов и др. (*Валодин и др., 2022; Bogdanova et al., 2020*). При организации таких высокотехнологичных производств с получением инновационных молочных продуктов и ингредиентов (сыра, творога, белков молока) образуются колоссальные объемы новых видов побочного молочного сырья – пермеатов мембранныго разделения (*Мельникова и др., 2022*). Динамика роста объемов производства пермеатов сладкой (подсырной) сыворотки в мире, которая фигурирует в международной статистике за последние 5 лет, составила около 19 % (*Мельникова и др., 2020*). В пермеат переходит от 5,0 до 5,5 % сухих веществ молока, причем главенствующую роль играет лактоза, на которую приходится свыше 85 %, а также незначительное количество азотистых соединений – менее 0,17 %.

Анализ современных технических решений в молочной промышленности России показывает, что широкое внедрение мембранных методов на крупных и средних молокоперерабатывающих предприятиях приводит к получению аналогичных ультрафильтрационных пермеатов подсырной сыворотки (ПС) и обезжиренного молока (ОМ), а также творожной сыворотки (ТС), динамика роста которых значительно превышает зарубежную статистику, хотя по объемам занимает относительно меньший сегмент молочного рынка (*Мельникова и др., 2020*). Следует отметить, что основной объем новых видов вторичного сырья приходится на пермеаты ПС и ОМ, получаемые методом ультрафильтрации при высокотехнологичном производстве КМБ и КСБ.

Исследование пермеатов ПС и ОМ (*Kravtsov et al., 2021; Lodygin et al., 2024*) показало, что по своему составу они достаточно близки по содержанию сухих веществ – $4,94 \pm 0,39\%$ и $4,94 \pm 0,37\%$, большая часть которых приходится на лактозу – $4,39 \pm 0,43\%$ и $4,73 \pm 0,26\%$, по содержанию золы $0,40 \pm 0,05\%$ и $0,44 \pm 0,02\%$ и по содержанию общего азота от 0,19 до 0,25 %. Что касается свойств пермеатов ПС и ОМ, то они близки по показателям активной кислотности (pH) – $6,04 \pm 0,29$ и $6,72 \pm 0,21$, титруемой кислотности $10,0 \pm 2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $10,6 \pm 2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ и удельной электропроводности, значения которой идентичны $5,23 \pm 0,34$, mCm/cm (*Kravtsov et al., 2021*).

Учитывая состав пермеатов молочного сырья, зарубежные и отечественные производители используют ряд простых технологических решений с минимальными экономическими затратами. Это касается сухих продуктов – сухого пермеата и кристаллической лактозы (*Evdokimov et al., 2021; Halfwerk et al., 2023*), на производство которых направляется более 60 % мировых объемов пермеата, сухих кормовых продуктов, концентратов и продуктов биотехнологического направления – производство спирта, биогаза, спортивных (*Drežek et al., 2021; Hattem et al., 2010*), сквашенных, вино- и пивоподобных напитков (*Арсеньева и др., 2015*), в том числе из сыворотки сухой и натуральной (*Антипова и др., 2023; Елисеева и др., 2023; Rodionov et al., 2023*), с наполнителями и растительным сырьем (*Воронова и др., 2014; Мерзликина и др., 2019*).

Известен ряд разработок, посвященных изучению гидролиза лактозы и белков во вторичном молочном сырье (*Поротова и др., 2015; Родионова и др., 2021; Рязанцева и др., 2022*), а также исследования эффективности применения различных ферментов в кислой и сладкой молочной сыворотке (*Duan et al., 2022; Скворцов и др., 2014; Блиадзе и др., 2023*). Изучение априорной информации в области применения пермеатов молочного сырья показало, что ниша производства освежающих, спортивных, ферментированных, низколактозных напитков с использованием биотехнологических подходов заполнена слабо и занимает незначительный сегмент рынка напитков. Поэтому создание биотехнологии ферментированных напитков из пермеата ПС является актуальной социально значимой задачей для расширения ассортимента продуктов функционального питания, в том числе для потребителей, страдающих непереносимостью лактозы.

¹ URL: <https://base.garant.ru/12174931/?ysclid=mi5qgf78mw300645842>.

Цель работы – разработка методологических принципов и биотехнологических подходов для производства ферментированных напитков на основе пермеата ПС с прогнозируемым углеводным составом.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования были выбраны подсырная молочная сыворотка; пермеат, полученный в результате обработки подсырной сыворотки методом ультрафильтрации; гидролизованный пермеат подсырной сыворотки.

Баромембранные обработку подсырной сыворотки осуществляли на пилотной ультрафильтрационной установке (типа UF-1 с полимерными мембранами). Ферментированный гидролиз лактозы в полученном пермеате проводили препаратом дрожжевой β -галактозидазы микробиального происхождения из штамма продуцента *Kluveromyces lactis* "Лактозим 3000 LP-G" (Дания) с лактазной активностью 3 000 лактазных единиц активности на мл. Для проведения гидролиза лактозы в пермеате ПС использовали стеклянный реактор (Minni-100-1), для асимиляции остаточной лактозы в гидролизованном пермеате – симбиотическую закваску кефирных грибков (АО молочный комбинат "Ставропольский", г. Ставрополь).

Хроматограммы углеводного состава экспериментальных образцов гидролизованного пермеата получены методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на хроматографе Thermo scientific Dionex ICS-5000+ (США) с колонкой Dionex Carbo PacTM PA 20 BioLCTM Analytical 3*150 mm. При изучении состава, органолептических и физико-химических свойств пермеатов применялись арбитражные и общепринятые в исследовательской практике методы:

- определение органолептических показателей по ГОСТ Р ИСО 22935-2;
- массовая доля сухих веществ – по ГОСТ Р 8.894-2015;
- массовая доля лактозы – по ГОСТ Р 54667-2011;
- активная кислотность (рН) – по ГОСТ 32892-2014².

Повторность проведения экспериментов – трехкратная. Обработка результатов исследований проводилась с использованием стандартного пакета программ хроматографа Thermo scientific Dionex ICS-5000+.

Результаты и обсуждение

На первом этапе исследований получали пермеат ПС. Для этого подсырную сыворотку очищали от жира и частиц казеиновой пыли методом сепарирования, пастеризовали при температуре 75 ± 2 °С с выдержкой в течение 15–20 с, охлаждали до температуры 12 ± 2 °С и обрабатывали в ультрафильтрационной установке с использованием полимерных мембран с отсекаемой молекулярной массой белков 10–20 кДа. Рентентат (концентрат) направляли на производство КСБ, а пермеат ПС с содержанием сухих веществ $5,34 \pm 0,40$ %, в том числе лактозы $4,64 \pm 0,32$ %, с активной кислотностью рН $6,59 \pm 0,16$ использовали в дальнейших исследованиях при отработке биотехнологических режимов получения ферментированного напитка.

Динамику изменения углеводного состава пермеата ПС на всех стадиях биотехнологической обработки контролировали методом ВЭЖХ.

На рис. 1 представлена хроматограмма углеводного состава натурального пермеата ПС.

Представленная хроматограмма свидетельствует о том, что основным углеводом пермеата ПС является лактоза, профиль которой представлен в виде одного пика (99,15 %), а глюкоза и галактоза присутствуют в следовых количествах.

В настоящее время известно несколько способов технологической обработки сырья, которые способствуют удалению или трансформации лактозы: химический или ферментативный гидролиз, при котором происходит расщепление молекулы лактозы с присоединением воды и образованием глюкозы и галактозы; микробиологический метод сбраживания лактозы посредством молочнокислой микрофлоры до органических кислот и иных продуктов с использованием свободных или иммобилизованных клеток микроорганизмов; энзиматический метод, при котором используются свободные растворимые ферменты, находящиеся в жидкой среде или иммобилизованные на твердом носителе (Добриян и др., 2019).

При проведении исследований использован ферментативный гидролиз лактозы, протекающий под действием фермента β -галактозидазы и получивший наибольшее распространение среди всех существующих

² ГОСТ Р ИСО 22935-2. Молоко и молочные продукты. Органолептический анализ. Часть 2. Рекомендуемые методы органолептической оценки. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/51223/?ysclid=mi5qkibdr761348005> ; ГОСТ Р 8.894-2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Молоко и молочные продукты. Инфракрасный термогравиметрический метод определения массовой доли влаги и сухого вещества. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/61485/?ysclid=mi5qlty64x548898004> ; ГОСТ Р 54667-2011. Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли сахаров. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/51853/?ysclid=mi5qn20bzh656502270> ; ГОСТ 32892-2014. Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/58195/?ysclid=mi5qoazxln454275396>.

методов. Исследования по эффективности гидролиза лактозы в пермеате ПС были проведены с применением ферментного препарата β -галактозидазы микробиального происхождения из штамма продуцента *Kluveromyces lactis* "Лактозим 3000 LP-G". Выбор ферментного препарата был обоснован в ходе предварительных исследований: оптимальный pH действия фермента (6,6–6,7), активность фермента 3 000 лактазных единиц активности на мл, температура исходного субстрата 38 ± 2 °C, что позволяло проводить обработку пермеата ПС в мягких режимах и достигать степени гидролиза 67–68 %. В дальнейшем это существенно сказывалось на формировании органолептических показателей напитка из пермеата ПС.

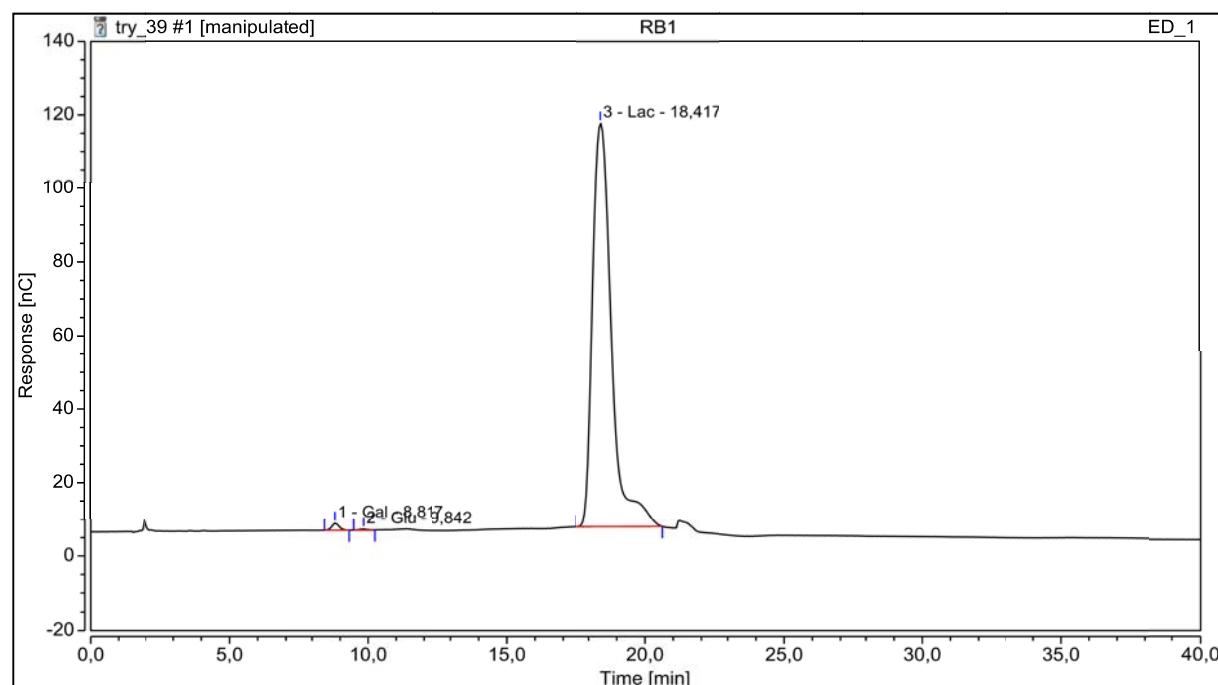


Рис. 1. Хроматограмма углеводного состава натурального пермеата ПС
Fig. 1. Chromatogram of the carbohydrate composition of cheese whey natural permeate

На рис. 2 представлена хроматограмма углеводного состава гидролизованного пермеата ПС.

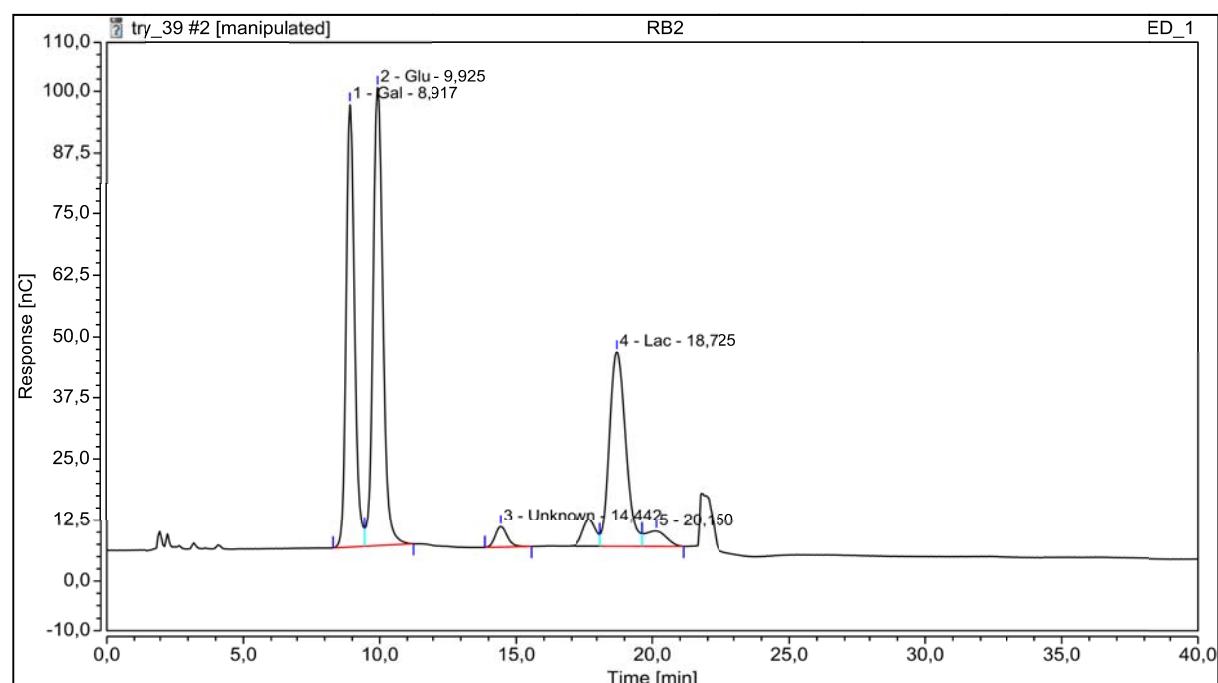


Рис. 2. Хроматограмма углеводного состава гидролизованного пермеата ПС
Fig. 2. Chromatogram of the carbohydrate composition of hydrolysed cheese whey permeate

Хроматограмма (рис. 2) наглядно демонстрирует эффективность выбранного процесса гидролиза лактозы под воздействием фермента β -галактозидазы, где отчетливо видны пики галактозы (1) и глюкозы (2).

На следующем этапе исследований был выбран другой биотехнологический подход, который основан на применении микробиологического метода обработки гидролизованного пермеата ПС. Микробиологический метод имеет ограничения, связанные со свойствами микроорганизмов и влиянием продуктов метаболизма на их развитие и жизнеспособность. По мнению ряда исследователей (*Vieira et al., 2021*), этот метод может быть более пригоден при производстве кисломолочных напитков из частично гидролизованного лактозосодержащего сырья ферментом β -галактозидазой.

Для формирования гармоничного вкуса ферментированного напитка нами была выбрана симбиотическая закваска кефирных грибков с целью снижения количества лактозы в напитке не только в процессе сквашивания молочнокислых микроорганизмов, но и в процессе созревания, когда происходит ассимиляция лактозы за счет жизнедеятельности лактозосбраживающих дрожжей (*Hoffmann et al., 2023; Евдокимов и др., 2024; Gao et al., 2016*).

На этапе сквашивания микроорганизмы рода *Lactobacillus* продуцируют молочную кислоту и подавляют развитие посторонней микрофлоры. На этапе созревания активно развиваются лактозопозитивные дрожжи – инициаторы спиртового брожения с образованием этанола и углекислого газа, а также уксуснокислые бактерии – продуктенты уксусной кислоты (*Соколова и др., 2024*). Основные метаболиты дрожжей и молочнокислых бактерий кефирной закваски – спирт и молочная кислота – наряду с другими специфическими антибактериальными соединениями предотвращают развитие посторонних микроорганизмов, что увеличивает функциональную значимость и сроки годности продукта.

Именно поэтому на следующем технологическом этапе в гидролизованный пермеат ПС вносили закваску кефирных грибков в количестве 0,05 % от массы ферментируемого субстрата, продолжительность сквашивания составляла 6–8 ч при температуре 26–28 °C. После сквашивания был исследован углеводный состав образцов пермеата ПС (рис. 3).

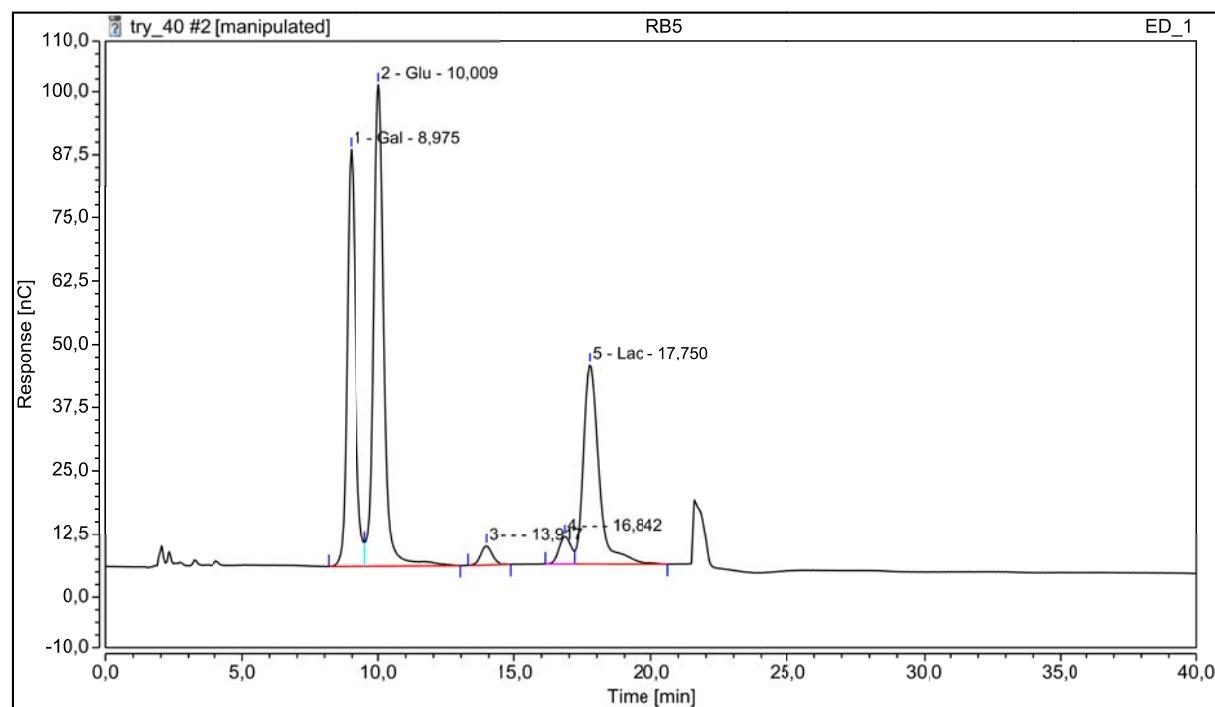


Рис. 3. Хроматограмма углеводного состава гидролизованного пермеата ПС
после сквашивания закваской кефирных грибков

Fig. 3. Chromatogram of the carbohydrate composition of hydrolysed cheese whey permeate
after fermentation by kefir grain starter culture

После завершения процесса сквашивания пермеата ПС образцы герметично закрывали и оставляли для созревания в течение 8–10 ч при температуре 4–6 °C. На рис. 4 представлена хроматограмма углеводного состава образца пермеата ПС после созревания.

По окончанию процесса созревания в образце ферментированного напитка на основе пермеата ПС, как видно на хроматограмме (рис. 4), прибор не зафиксировал наличие лактозы. На хроматограмме

углеводного состава отчетливо виден только пик глюкозы, помимо которой выявлены еще два пика, однако эти вещества не были идентифицированы методом ВЭЖХ хроматографии как углеводы.

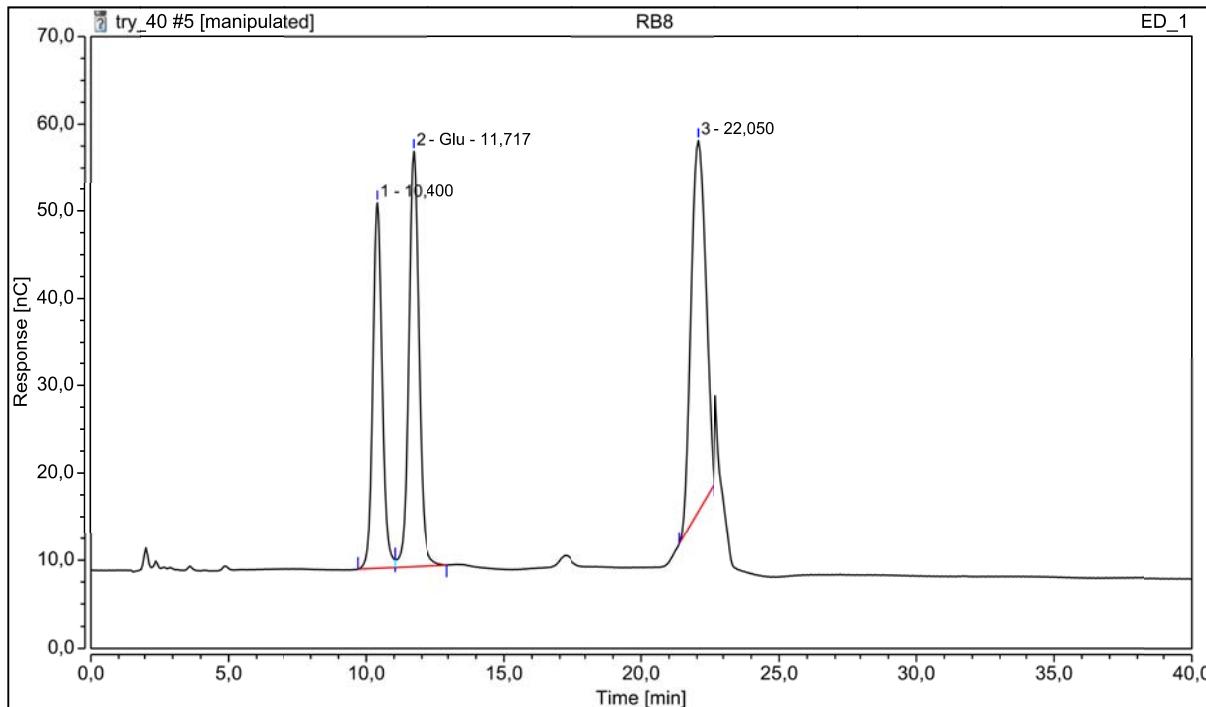


Рис. 4. Хроматограмма углеводного состава гидролизованного пермеата ПС
после сквашивания закваской кефирных грибков и созревания

Fig. 4. Chromatogram of the carbohydrate composition of hydrolysed cheese whey permeate after ripening

Анализ экспериментальных данных, представленных на хроматограммах (рис. 2–4), позволяет сделать следующие выводы.

После процесса гидролиза наименьшее содержание лактозы было выявлено в образцах гидролизованного пермеата ПС, полученных при дозе фермента 0,3 г/л, температуре 38 °C, продолжительности процесса 120 мин, pH 6,6–6,7. В процессе сквашивания и созревания во всех образцах происходило постепенное снижение лактозы за счет микрофлоры кефирной закваски (сквашивание) и лактозосбраживающих дрожжей (созревание).

Полученный ферментированный напиток на основе пермеата ПС оценивали по комплексу органолептических показателей – по цвету, вкусу, запаху, мутности, однородности структуры, а также по некоторым специфическим свойствам (Агарков и др., 2020), характеризующим аромат и газообразование (так называемая "естественная газация").

На заключительном этапе исследований проведена сравнительная оценка органолептических показателей исследуемых образцов: натурального пермеата ПС, гидролизованного пермеата ПС и ферментированного напитка на основе пермеата ПС (таблица). По нашему мнению, на формирование органолептических показателей напитка влияли биотехнологические подходы, которые использовались по всей технологической цепочке.

Во-первых, на первой стадии ферментативного гидролиза пермеата при использовании препарата дрожжевой β -галактозидазы микробиального происхождения из штамма продуцента *Kluyveromyces lactis* "Лактозим 3000 LP-G" с лактазной активностью 3 000 лактазных единиц активности на мл были исключены реакции меланоидинообразования, влияющие на цвет, вкус, запах и образование хлопьев белка, влияющих на мутность и однородность жидкой структуры.

Во-вторых, специфическую роль в формировании органолептических показателей играет закваска кефирных грибков с лактозосбраживающими дрожжами, которые совместно с молочнокислыми бактериями способствуют накоплению в напитке бактерицидных веществ (Yilmaz et al., 2022). Следует отметить, что дрожжи играют ведущую роль в формировании органолептического профиля напитка (характерный вкус, кислинка, присутствие ароматосбраживающих бактерий и летучих кислот) из-за способности дрожжей ассимилировать углеводные соединения с образованием спирта и углекислого газа (Rosa et al., 2017). По мнению ряда исследователей, чтобы получить лучший аромат у ферментированного напитка, количество дрожжей должно достигать, по крайней мере, 103–104 КОЕ/мл, что и наблюдается при использовании производственных заквасок кефирного грибка (Gao et al., 2016; Соколова и др., 2024).

Таблица. Органолептическая оценка экспериментальных образцов натурального пермеата ПС, гидролизованного пермеата ПС и ферментированного напитка на его основе
Table. Organoleptic evaluation of experimental samples of natural permeate, hydrolysed permeate and fermented drink on its base

Органолептические показатели	Пермеат ПС натуральный	Пермеат ПС гидролизованный	Пермеат ПС ферментированный
Цвет	От светло-желтого до желтовато-соломенного, прозрачный	От желтовато-зеленого до желтого, прозрачный	Светло-желтый, со слабо-зеленоватым оттенком, прозрачный
Запах	Слабо-сывороточный	От слабо-сывороточного до кисломолочного	Чистый кисломолочный без посторонних запахов
Вкус	Кисломолочный, с легким сывороточным привкусом	Чистый кисломолочный, без посторонних привкусов, сладковатый	Кисломолочный, выраженный, с характерным дрожжевым привкусом и нотками остроты
Консистенция	Жидкая, однородная	Жидкая, однородная, слегка опалесцирующая	Жидкая, однородная с мелкими пузырьками естественной газации

В-третьих, эксперты, принимавшие участие в дегустационной оценке органолептических показателей напитка на основе пермеата ПС, отметили, что средство ферментного препарата β -галактозидазы микробиального происхождения из штамма продуцента *Kluyveromyces lactis*, используемого на первой стадии ферментации, и кефирной закваски с лактозосбраживающими дрожжами рода *Kluyveromyces*, применяемой на второй стадии, вероятно, способствует проявлению синергизма при формировании гармоничного органолептического профиля разработанного напитка.

Таким образом, формирование органолептических показателей ферментированного напитка из пермеата ПС заключается в следующем: внешний вид – прозрачный напиток, цвет – светло-желтый, со слабо-зеленоватым оттенком, напиток обладает приятным кисломолочным вкусом и ароматом, сладковатый, с нотками остроты, консистенция жидкая, однородная с присутствием мелких пузырьков газа за счет естественной газации.

Заключение

Предложенные методологические принципы мембранных фракционирования подсырной сыворотки позволяют получать побочный продукт производства концентратов сывороточных белков – пермеат подсырной сыворотки, который является перспективным источником сырья для получения функциональных ферментированных напитков с прогнозируемым углеводным составом.

Применение биотехнологических подходов в виде последовательной обработки пермеата ПС ферментом β -галактозидазой и симбиотической закваской кефирных грибков дает возможность получать ферментированные напитки с содержанием лактозы не выше 0,1 %, что позволяет расширить ассортимент напитков и круг потребителей за счет людей с непереносимостью лактозы, а также уделяющих большое внимание здоровому питанию.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 25-26-00264, URL: <https://rscf.ru/project/25-26-00264/>.

Библиографический список

- Агарков А. А., Федотова О. Б., Агаркова Е. Ю. Особенности органолептических профилей сывороточных напитков нетрадиционного состава // Пищевая промышленность. 2020. № 10. С. 26–29. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10110. EDN: WKERDZ.
- Антипова Т. А., Андросова Н. Л., Фелик С. В., Симоненко С. В. [и др.]. Разработка состава и технологии сухих напитков на основе молочной сыворотки // Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 242–248. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-242-248>. EDN: OTAPSG.
- Арсеньева Т. П., Борзая Е. В., Стрижнева О. Н. Разработка пивоподобного напитка на основе пермеата молочной сыворотки // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2015. № 3. С. 136–141. EDN: UKITYX.

- Блиадзе В. Г., Крысанова Ю. И., Калугина Д. Н. Сравнительная оценка ферментных препаратов β -галактозидаз // Пищевая промышленность. 2023. № 8. С. 101–106. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2023.8.8.019>. EDN: DKYJHV.
- Володин Д. Н., Топалов В. К., Евдокимов И. А., Куликова И. К. [и др.]. Комплексный подход к производству белковых ингредиентов на основе молочного сырья // Молочная промышленность. 2022. № 1. С. 34–36. EDN: RLYYDL.
- Воронова Н. С., Овчаров Д. В. Разработка технологии функционального напитка на основе молочной сыворотки с овощными наполнителями // Политеатический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 104. С. 953–969. EDN: TFWSGJ.
- Добриян Е. И., Ильина А. М., Горлова А. И. Получение функциональных продуктов на основе ферментативного гидролиза лактозы // Пищевая промышленность. 2019. № 4. С. 36–37. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10017>. EDN: TACOZZ.
- Евдокимов И. А., Нерсесян Т. В., Куликова И. К., Шрамко М. И. [и др.]. Инкапсулированные дрожжи в технологии напитка смешанного брожения на основе вторичного молочного сырья // Сыроделие и маслоделие. 2024. № 4. С. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2024-4-1>. EDN: SXJJQQ.
- Елисеева Л. И., Егорова В. Р. Функциональный напиток из сыворотки // Молочная промышленность. 2023. № 3. С. 23–25. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-03-23-25>. EDN: СКОQQJ.
- Мельникова Е. И., Богданова Е. В., Павельева Д. А. Мировой и российский рынок сывороточных ингредиентов // Молочная промышленность. 2020. № 8. С. 56–58. EDN: WZHSMF.
- Мельникова Е. И., Богданова Е. В., Павельева Д. А. Состав и функционально-технологические свойства пермеата подсырной сыворотки // Хранение и переработка сельхозсырья. 2022. № 1. С. 223–232. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.258>. EDN: ZQQSAA.
- Мерзликина А. А., Полянский К. К., Пронина О. В., Белкова М. Д. Напитки на основе молочной сыворотки с гидролизованной лактозой и растительным сырьем // Молочная промышленность. 2019. № 3. С. 43–44. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2019-3-43-44>. EDN: YZOMIP.
- Поротова Е. Ю., Храмцов А. Г., Лодыгин А. Д. Исследование закономерностей ферментативного гидролиза лактозы во вторичном молочном сырье // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2015. № 3(166). С. 36–41. EDN: WFEJDL.
- Родионова Н. С., Разинкова Т. А., Попов Е. С., Орлова К. Ю. [и др.]. Гидролиз лактозы при совместном действии фермента и пробиотических микроорганизмов // Молочная промышленность. 2021. № 10. С. 36–37. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-10-36-37>. EDN: HPNCRP.
- Рязанцева К. А., Калугина Д. Н., Жижин Н. А., Илларионова Е. Е. Разработка термостабильных сывороточных напитков с повышенным содержанием легкоусвояемого белка // Молочная промышленность. 2022. № 3. С. 36–38. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-03-36-38>. EDN: GJFNRY.
- Скворцов Е. В., Морозова Ю. А., Букуру Л. К., Алимова Ф. К. [и др.]. Эффективность применения β -галактозидазы для гидролиза лактозы молочной сыворотки // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 13. С. 288–291. EDN: SNWYVB.
- Соколова О. В., Федотова О. Б. Базовые аспекты сохранности биологической целостности природных поливидовых симбиотических бактериальных сообществ для производства кефира // Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 256–264. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-256-264>. EDN: JXFBYG.
- Bogdanova E. V., Melnikova E. I., Koshevarova I. B. The research of the types of moisture bonds in protein-carbohydrate concentrates of cheese whey // Periodico Tche Quimica. 2020. Vol. 17, N 34. P. 33–44. DOI: https://doi.org/10.52571/ptq.v17.n34.2020.51_p34_pgs_33_44.pdf. EDN: WGZBHF.
- Dreżek K., Kozłowska J., Detman A., Mierzejewska J. Development of a continuous system for 2-phenylethanol bioproduction by yeast on whey permeate-based medium // Molecules. 2021. Vol. 26, Iss. 23. Article number: 7388. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26237388>.
- Duan F., Sun T., Zhang J., Wang K. [et al.]. Recent innovations in immobilization of β -galactosidases for industrial and therapeutic applications // Biotechnology Advances. 2022. Vol. 61. Article number: 108053. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.108053>.
- Evdokimov I. A., Gridin A. S., Volodin D. N., Kulikova I. K. [et al.]. Investigation of crystallization process of lactose in milk serum permeate // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 852. Article number: 012031. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012031>.
- Gao X., Li B. Chemical and microbiological characteristics of kefir grains and their fermented dairy products: A review // Cogent Food & Agriculture. 2016. Vol. 2, Iss. 1. Article number: 1272152. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1272152>.
- Halfwerk R., Yntema D., Spronsen J. V., Van der Padt A. Recovery of lactose from simulated delactosed whey permeate by a low-temperature crystallization process // Journal of Dairy Science. 2023. Vol. 106, Iss. 9. P. 5958–5969. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23249>.

- Hattem H., Abouel-Einin E., Mehanna N. Utilization of milk permeate in the manufacture of sports drinks // *Journal of Food and Dairy Sciences*. 2010. Vol. 1, Iss. 11. P. 735–742. DOI: <https://doi.org/10.21608/jfds.2010.82511>.
- Hoffmann A., Franz A., Walther T., Löser C. [et al.]. Utilization of delactosed whey permeate for the synthesis of ethyl acetate with *Kluyveromyces marxianus* // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2023. Vol. 107. P. 1635–1640. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12419-1>.
- Kravtsov V. A., Kulikova I. K., Anisimov G. S., Evdokimov I. A. [et al.]. Variety of dairy ultrafiltration permeates and their purification in lactose production. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 677. Article number: 032001. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032001>.
- Lodygin A., Evdokimov I., Kulikova I., Gridin A. [et al.]. Study of technological properties of commercial sweet whey and whey permeate powders // *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2024. Vol. 46. P. 61–65.
- Reig M., Vecino X., Cortina J. L. Use of membrane technologies in dairy industry: An overview // *Foods*. 2021. Vol. 10, Iss. 11. Article number: 2768. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112768>.
- Rodionov I. S., Evdokimov I. A., Abakumova E. A. Biotechnological bases of a functional drink based on whey // *Modern Science and Innovations*. 2023. Vol. 1. P. 72–82. DOI: <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2023.1.7>. EDN: EVRKXW.
- Rosa D. D., Dias M. M. S., Grześkowiak L. M., Reis S. A. [et al.]. Milk kefir: Nutritional, microbiological and health benefits // *Nutrition Research Reviews*. 2017. Vol. 30, Iss. 1. P. 82–96. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0954422416000275>.
- Vieira C. P., Rosario A. I. L. S., Lelis C. A., Rekowsky B. S. S. [et al.]. Bioactive compounds from kefir and their potential benefits on health: A systematic review and meta-analysis // *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. 2021. Vol. 2021. Article number: 9081738. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9081738>.
- Yilmaz B., Sharma H., Melekoglu E., Ozogul F. Recent developments in dairy kefir-derived lactic acid bacteria and their health benefits // *Food Bioscience*. 2022. Vol. 46. Article number: 101592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101592>.

References

- Agarkov, A. A., Fedotova, O. B., Agarkova, E. Yu. 2020. Features of organoleptic profiles of non-traditional whey drinks. *Food Industry*, 10, pp. 26–29. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10110. EDN: WKERDZ. (In Russ.)
- Antipova, T. A., Androsova, N. L., Felik, S. V., Simonenko, S. V. et al. 2023. Development of the composition and technology of dry drinks based on whey. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 242–248. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-242-248>. EDN: OTAPSG. (In Russ.)
- Arsen'eva, T. P., Borzdaya, E. V., Strizhneva, O. N. 2015. Development of beer-like drink on the base of whey permeate. *Processes and Food Production Equipment*, 3, pp. 136–141. EDN: UKITYX. (In Russ.)
- Bliadze, V. G., Krysanova, Yu. I., Kalugina, D. N. 2023. Comparative evaluation of beta-galactosidase enzyme preparations. *Food Industry*, 8, pp. 101–106. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2023.8.8.019>. EDN: DKYJHV. (In Russ.)
- Volodin, D. N., Topalov, V. K., Evdokimov, I. A., Kulikova, I. K. et al. 2022. An integrated approach to the production of protein ingredients based on dairy raw materials. *Dairy Industry*, 1, pp. 34–36. EDN: RLYYDL. (In Russ.)
- Voronova, N. S., Ovcharov, D. V. 2014. Development of the technology of a functional drink based on whey with vegetable fillers. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 104, pp. 953–969. EDN: TFWSGJ. (In Russ.)
- Dobriyan, E. I., Il'ina, A. M., Gorlova, A. I. 2019. Production of functional products based on enzymatic hydrolysis of lactose. *Food Industry*, 4, pp. 36–37. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10017>. EDN: TACOZZ. (In Russ.)
- Evdokimov, I. A., Nersesyan, T. V., Kulikova, I. K., Shramko, M. I. et al. 2024. Encapsulated yeasts in the technology of a mixed fermentation beverage based on secondary dairy raw materials. *Cheese- and buttermaking*, 4, pp. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2024-4-1>. EDN: SXJJQQ. (In Russ.)
- Eliseeva, L. I., Egorova, V. R. 2023. Functional drink from whey. *Dairy Industry*, 3, pp. 23–25. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-03-23-25>. EDN: CKOQQJ. (In Russ.)
- Mel'nikova, E. I., Bogdanova, E. V., Pavel'eva, D. A. 2020. The global and Russian market of whey ingredients. *Dairy Industry*, 8, pp. 56–58. EDN: WZHSMF. (In Russ.)
- Mel'nikova, E. I., Bogdanova, E. V., Pavel'eva, D. A. 2022. Composition and functional and technological properties of cheese whey permeate. *Storage and Processing of Farm Products*, 1, pp. 223–232. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.258>. EDN: ZQQSAA. (In Russ.)
- Merzlikina, A. A., Polyansky, K. K., Pronina, O. V., Belkova, M. D. 2019. Drinks based on whey with hydrolyzed lactose and vegetable raw materials. *Dairy Industry*, 3, pp. 43–44. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2019-3-43-44>. EDN: YZOMIP. (In Russ.)

- Porotova, E. Yu., Khramtsov, A. G., Lodygin, A. D. 2015. Study of the patterns of enzymatic hydrolysis of lactose in secondary raw materials. *Transactions of Taurida Agricultural Science*, 3(166), pp. 36–41. EDN: WFEJDL. (In Russ.)
- Rodionova, N. S., Razinkova, T. A., Popov, E. S., Orlova, K. Yu. et al. 2021. Hydrolysis of lactose by the combined action of an enzyme and probiotic microorganisms. *Dairy Industry*, 10, pp. 36–37. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-10-36-37>. EDN: HPNCRP. (In Russ.)
- Ryazantseva, K. A., Kalugina, D. N., Zhizhin, N. A., Illarionova, E. E. 2022. Development of heat-resistant whey drinks with a high content of easily digestible protein. *Dairy Industry*, 3, pp. 36–38. DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-03-36-38>. EDN: GJFNRY. (In Russ.)
- Skvortsov, E. V., Morozova, Yu. A., Bukuru, L. K., Alimova, F. K. et al. 2014. The effectiveness of beta-galactosidase application for the hydrolysis of lactose in whey. *Vestnik of Kazan State Technological University*, 17(13), pp. 288–291. EDN: SNWYVB. (In Russ.)
- Sokolova, O. V., Fedotova, O. B. 2024. The biological integrity of natural poly-species symbiotic bacterial communities for the production of kefir: Basic aspects of the preservation. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 256–264. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-256-264>. EDN: JXFBYG. (In Russ.)
- Bogdanova, E. V., Melnikova, E. I., Koshevarova, I. B. The research of the types of moisture bonds in protein-carbohydrate concentrates of cheese whey. *Periodico Tche Quimica*, 17(34), pp. 33–44. DOI: https://doi.org/10.52571/ptq.v17.n34.2020.51_p34_pgs_33_44.pdf. EDN: WGZBHF.
- Drążek, K., Kozłowska, J., Detman, A., Mierzejewska, J. 2021. Development of a continuous system for 2-phenylethanol bioproduction by yeast on whey permeate-based medium. *Molecules*, 26(23). Article number: 7388. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26237388>.
- Duan, F., Sun, T., Zhang, J., Wang, K. et al. 2022. Recent innovations in immobilization of β -galactosidases for industrial and therapeutic applications. *Biotechnology Advances*, 61. Article number: 108053. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.108053>.
- Evdokimov, I. A., Gridin, A. S., Volodin, D. N., Kulikova, I. K. et al. 2021. Investigation of crystallization process of lactose in milk serum permeate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 852. Article number: 012031. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012031>.
- Gao, X., Li, B. 2016. Chemical and microbiological characteristics of kefir grains and their fermented dairy products: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). Article number: 1272152. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1272152>.
- Halfwerk, R., Yntema, D., Spronsen, J. V., Van der Padt, A. 2023. Recovery of lactose from simulated delactosed whey permeate by a low-temperature crystallization process. *Journal of Dairy Science*, 106(9), pp. 5958–5969. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23249>.
- Hattem, H., Abouel-Einin, E., Mehanna, N. 2010. Utilization of milk permeate in the manufacture of sports drinks. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 1(11), pp. 735–742. DOI: <https://doi.org/10.21608/jfds.2010.82511>.
- Hoffmann, A., Franz, A., Walther, T., Löser, C. et al. 2023. Utilization of delactosed whey permeate for the synthesis of ethyl acetate with *Kluyveromyces marxianus*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107, pp. 1635–1640. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-023-12419-1>.
- Kravtsov, V. A., Kulikova, I. K., Anisimov, G. S., Evdokimov, I. A. et al. 2021. Variety of dairy ultrafiltration permeates and their purification in lactose production. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 677. Article number: 032001. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/677/3/032001>.
- Lodygin, A., Evdokimov, I., Kulikova, I., Gridin, A. et al. 2024. Study of technological properties of commercial sweet whey and whey permeate powders. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 46, pp. 61–65.
- Reig, M., Vecino, X., Cortina, J. L. 2021. Use of membrane technologies in dairy industry: An overview. *Foods*, 10(11). Article number: 2768. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10112768>.
- Rodionov, I. S., Evdokimov, I. A., Abakumova, E. A. 2023. Biotechnological bases of a functional drink based on whey. *Modern Science and Innovations*, 1, pp. 72–82. DOI: <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2023.1.7>. EDN: EVRKXW.
- Rosa, D. D., Dias, M. M. S., Grześkowiak, Ł. M., Reis, S. A. et al. 2017. Milk kefir: Nutritional, microbiological and health benefits. *Nutrition Research Reviews*, 30(1), pp. 82–96. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0954422416000275>.
- Vieira, C. P., Rosario, A. I. L. S., Lelis, C. A., Rekowsky, B. S. S. et al. 2021. Bioactive compounds from kefir and their potential benefits on health: A systematic review and meta-analysis. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021. Article number: 9081738. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9081738>.
- Yilmaz, B., Sharma, H., Melekoglu, E., Ozogul, F. 2022. Recent developments in dairy kefir-derived lactic acid bacteria and their health benefits. *Food Bioscience*, 46. Article number: 101592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101592>.

Сведения об авторах

Шрамко Мария Ивановна – ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, Россия, 355017;
Северо-Кавказский федеральный университет, канд. биол. наук, доцент, ст. науч. сотрудник;
e-mail: marusyashramko@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7100-1014>

Maryya I. Shramko – 1 Pushkin Str., Stavropol, Russia, 355017;
North-Caucasus Federal University, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor, Senior Researcher;
e-mail: marusyashramko@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7100-1014>

Назаренко Дмитрий Михайлович – ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, Россия, 355017;
Северо-Кавказский федеральный университет, аспирант;
e-mail: d.masta121@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1511-6471>

Dmitry M. Nazarenko – 1 Pushkin Str., Stavropol, Russia, 355017;
North-Caucasus Federal University, PhD Student;
e-mail: d.masta121@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1511-6471>

Евдокимов Иван Алексеевич – ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, Россия, 355017;
Северо-Кавказский федеральный университет, д-р техн. наук, профессор, чл.-корр. РАН;
e-mail: ievdokimov@ncfu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5396-1548>

Ivan A. Evdokimov – 1 Pushkin Str., Stavropol, Russia, 355017;
North-Caucasus Federal University, Dr Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member RAS;
e-mail: ievdokimov@ncfu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5396-1548>

Лодыгин Алексей Дмитриевич – ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, Россия, 355017;
Северо-Кавказский федеральный университет, д-р техн. наук, доцент, гл. науч. сотрудник;
e-mail: allodygin@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8460-2954>

Aleksey D. Lodygin – 1 Pushkin Str., Stavropol, Russia, 355017;
North-Caucasus Federal University, Dr Sci. (Engineering), Associate Professor, Principal Researcher;
e-mail: allodygin@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8460-2954>

Абакумова Елена Анатольевна – ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, Россия, 355017;
Северо-Кавказский федеральный университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: abacum0ffa@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7610-0951>

Elena A. Abakumova – 1 Pushkin Str., Stavropol, Russia, 355017;
North-Caucasus Federal University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: abacum0ffa@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7610-0951>

Родионов Иван Сергеевич – ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, Россия, 355017;
Северо-Кавказский федеральный университет, аспирант;
e-mail: rodionovivan261@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0049-7411>

Ivan S. Rodionov – 1 Pushkin Str., Stavropol, Russia, 355017;
North-Caucasus Federal University, PhD Student;
e-mail: rodionovivan261@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0049-7411>

Нерсесян Тигран Валерьевич – ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь, Россия, 355017;
Северо-Кавказский федеральный университет, аспирант;
e-mail: tigran_nersesyan@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8836-4015>

Tigran V. Nersesyan – 1 Pushkin Str., Stavropol, Russia, 355017;
North-Caucasus Federal University, PhD Student;
e-mail: tigran_nersesyan@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8836-4015>