

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАХТЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПРОИЗВОДСТВА КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА

Н.В. Попова, nvpopova@susu.ru

А.В. Константинова, akonstan17@gmail.com

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Молочная промышленность остаётся системообразующим сектором агро-промышленного комплекса России. По данным Минсельхоза, в 2025 году Россия произвела 34,3–34,5 млн тонн сырого молока, прирост товарного молока составил 2–2,2 %. Несмотря на пользу молока для здоровья, молочная промышленность потребляет значительные объёмы природных ресурсов и производит большое количество сточных вод. В связи с чем немаловажной задачей для молочной промышленности является повышение эффективности переработки молочного сырья в готовые продукты, что благоприятно как с экологической, так и с экономической точек зрения. В статье рассматривается технологическое решение для производства высокобелковых йогуртов с добавлением вторичного молочного сырья – пахты. Проведён комплекс исследований, включающий оценку органолептических, физико-химических и микробиологических показателей экспериментальных образцов йогуртов, изготовленных по различным рецептурам. Установлено, что добавление пахты не ухудшает органолептические свойства продукта, а, наоборот, придает вкусу легкий сладковатый оттенок, способствует формированию более плотной белковой матрицы и снижению синерезиса. По мере увеличения доли пахты и сухого обезжиренного молока в йогуртах снижается содержание жира на 10,8–49 %, увеличивается доля белка – на 84–95 %, массовая доля сухих веществ – на 82–130 %. Модификация рецептуры обеспечивает ускорение ферментации за счёт стимулирующего действия фосфолипидов пахты на развитие заквасочных культур, что может быть связано с интеграцией жирных кислот в мембраны бактерий, и как следствие, повышением их метаболической активности и устойчивости к стрессам. Результаты исследования подтверждают перспективность использования пахты в производстве йогуртов для повышения их пищевой ценности и улучшения структурно-механических свойств.

Ключевые слова: кисломолочный продукт, йогурт, пахта, молочная промышленность, молочнокислые бактерии

Для цитирования: Попова Н.В., Константинова А.В. Перспективы использования пахты в технологиях производства кисломолочного продукта // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2026. Т. 14, № 2. С. 52–61. DOI: 10.14529/food260206

Original article
DOI: 10.14529/food260206

PROSPECTS FOR USING BUTTERMILK IN FERMENTED MILK PRODUCT PRODUCTION TECHNOLOGIES

N.V. Popova, nvpopova@susu.ru

A.V. Konstantinova, akonstan17@gmail.com

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. The dairy industry remains a backbone sector of Russia's agro-industrial complex. According to the Ministry of Agriculture, in 2025, Russia produced 34.3–34.5 million tons of raw milk, with a 2–2.2 % increase in commercial milk production. Despite the health benefits of milk,

the dairy industry consumes significant volumes of natural resources and produces large quantities of wastewater. Therefore, an important task for the dairy industry is to improve the efficiency of processing raw milk into finished products, which is beneficial from both an environmental and economic perspective. This article examines a technological solution for producing high-protein yogurts using a secondary dairy raw material – buttermilk. A comprehensive study was conducted, including assessing the organoleptic, physicochemical, and microbiological properties of experimental yogurt samples made using various recipes. It was found that the addition of buttermilk does not degrade the product's organoleptic properties; rather, it imparts a slightly sweet flavor, promotes the formation of a denser protein matrix, and reduces syneresis. As the proportion of buttermilk and skim milk powder increases, the fat content in the yogurts decreases by 10.8–49 %, the protein content increases by 84–95 %, and the dry matter content increases by 82–130 %. The modified recipe accelerates fermentation due to the stimulating effect of buttermilk phospholipids on the development of starter cultures. This may be due to the integration of fatty acids into bacterial membranes, resulting in increased metabolic activity and stress resistance. The study results confirm the potential of using buttermilk in yogurt production to enhance its nutritional value and improve its structural and mechanical properties.

Keywords: fermented milk product, yogurt, buttermilk, dairy industry, lactic acid bacteria

For citation: Popova N.V., Konstantinova A.V. Prospects for using buttermilk in fermented milk product production technologies. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2026, vol. 14, no. 2, pp. 52–61. (In Russ.) DOI: 10.14529/food260206

Введение

Молочная промышленность остаётся системообразующим сектором агропромышленного комплекса России. По данным Минсельхоза, в 2025 году Россия произвела 34,3–34,5 млн тонн сырого молока – максимум почти за три десятилетия, прирост товарного молока составил 2–2,2 %.

Несмотря на пользу молока для здоровья, молочная промышленность потребляет значительные объёмы природных ресурсов и производит большое количество сточных вод. В связи с чем немаловажной задачей для молочной промышленности является повышение эффективности переработки молочного сырья в готовые продукты. Развитие технологий глубокой переработки молочного сырья будет способствовать снижению негативного воздействия на окружающую среду за счет сокращения отходов [2, 15, 17].

Пахта – ценное вторичное молочное сырьё, жидкая фаза, отделяемая от масляных зёрен при сбивании сливок. Белки пахты представлены лактоальбумином – 0,4 %, лактоглобулином – 0,1–0,35 %, имеют водорастворимые соединения, такие как лактоза, минералы и витамины и биологически активные соединения из мембран жировых шариков молока (МЖШМ). Так как при производстве сливочного масла МЖШМ разрушаются и ее компоненты переходят преимущественно в

пахту, эти вещества – белки, витамины и полярные липиды (фосфолипиды и сфинголипиды) – являются природными антиоксидантами и могут активно участвовать в эмульгировании молочного жира [1, 9]. Использование сыворотки хорошо изучено, но во многих странах пахта часто выбрасывается или используется не в полной мере [5]. Переработка побочных продуктов в недорогие питательные продукты определяет перспективность наших исследований.

Нами предлагается технологическое решение для производства высокобелковых йогуртов с повышенным содержанием сухого обезжиренного молока и добавлением вторичного молочного сырья – пахты.

Объекты и методы исследования

Для составления смеси йогурта были использованы: цельное молоко жирностью 3,2 %, обезжиренное молоко 0,5 % жира, сухое обезжиренное молоко 0,5 % жирностью, пахта. Все основные компоненты рецептуры были подвержены пастеризации при температуре $(63 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 30 минут, далее смесь охлаждали до температуры заквашивания $(40 \dots 45)^\circ\text{C}$. Закваска – консорциум микроорганизмов *Streptococcus thermophilus*; *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*. Технология сквашивания смеси для каждого образца йогурта аналогична термостатному способу, при температуре $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$ продол-

жительностью ($8,0 \pm 0,5$) ч. После ферментации молочной системы образцы охлаждали до температуры $4...6$ °С. Проводили оценку качества йогуртов после стабилизации в холодильнике, спустя 4 ч после охлаждения [2, 16]. Схема производства образцов йогурта приведена на рис. 1.

Для оптимизации рецептур опытных образцов йогуртов применялись инструменты математического моделирования с использованием электронных таблиц Microsoft Excel. В рамках исследования были разработаны и изготовлены четыре варианта продукта, различающихся по составу и доле вторичного молочного сырья:

- контрольный образец – йогурт, произведённый по традиционной рецептуре (1,5 % жирности), соответствующей рецептуре № 1 «Справочника технолога молочного производства»;
- образец 1 – йогурт с частичной заменой молока на пахту в количестве 20 % от общего объёма смеси;
- образец 2 – йогурт с содержанием пахты 30 % от общего объёма смеси;
- образец 3 – йогурт с максимальным содержанием пахты – 40 % от общего объёма смеси.

При проектировании молочных пищевых систем следует учитывать показатель консистенции продукта, в связи с чем доля сухого обезжиренного молока во всех опытных образцах увеличена до 15 %.

Рецептуры контрольного и опытных образцов йогурта приведены в табл. 1.

Все пищевые ингредиенты, использованные для приготовления опытных образцов, соответствовали требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции».

Органолептическая оценка качества йогуртов выполнялась по методике, регламентированной ГОСТ 31981-2013. Структурно-механические свойства (вязкость) определяли на вибровискозиметре AND SV-10 с термодатчиком.

Массовую долю сухих веществ устанавливали рефрактометрическим методом, основанным на измерении коэффициента преломления света в жидкой среде, который зависит от концентрации растворённых веществ.

Содержание молочной кислоты определяли спектрофотометрическим методом согласно патенту RU 2639245 C1. Метод бази-

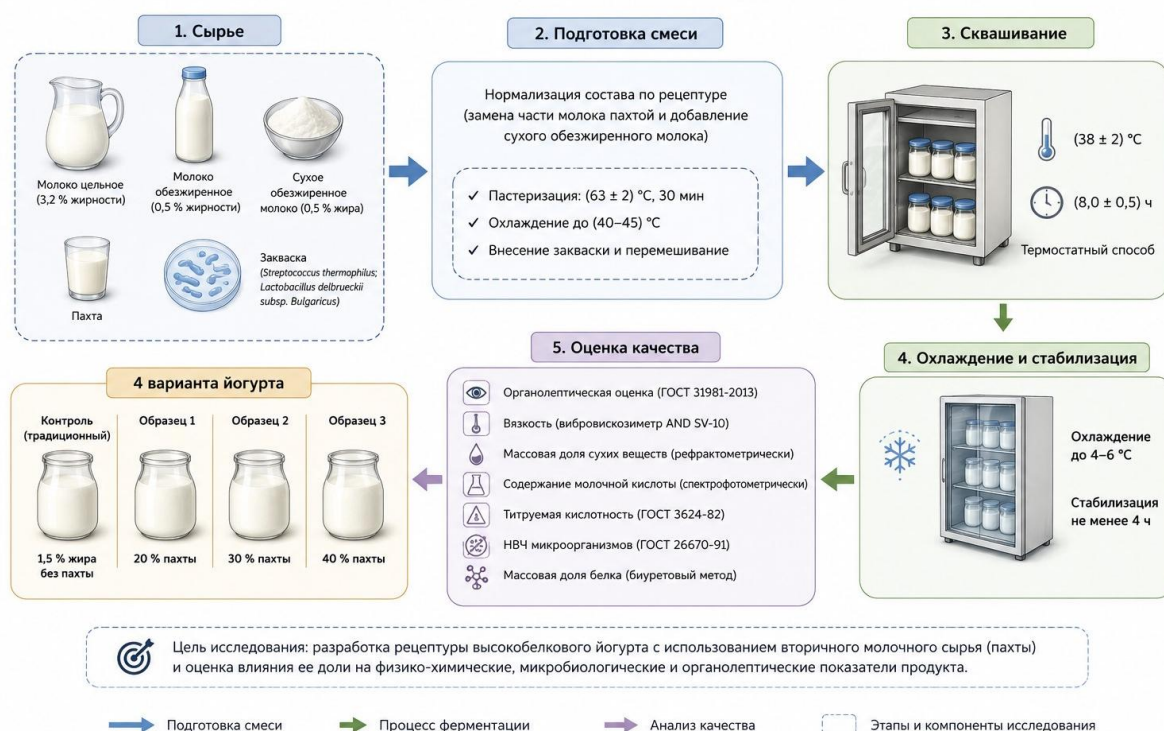


Рис. 1. Технологические этапы производства йогуртов

Таблица 1

Рецептура исследуемых образцов йогурта

Сырье	Сырье кг на 100 кг			
	Контроль	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Молоко цельное (3,2%)	47,65	40	30	20
Молоко обезжиренное	43,69	20	20	20
Сухое обезжиренное молоко	3,66	15	15	15
Закваска на обезжиренном молоке	5	5	5	5
Пахта	–	20	30	40
ИТОГО	100			

руется на реакции взаимодействия лактат-ионов с хлоридом железа (III), приводящей к образованию окрашенного в жёлто-зелёный цвет комплекса лактата железа.

Титруемая кислотность – по ГОСТ 3624-82. Микробиологические исследования включали определение наиболее вероятного числа (НВЧ) кисломолочных микроорганизмов методом предельных разведений с посевом в жидкие среды согласно ГОСТ 26670-91. Учёт результатов проводили по таблице Мак-Креди.

Массовую долю белка оценивали биуретовым методом, основанным на образовании биуретового комплекса между пептидными связями белков и ионами двухвалентной меди в щелочной среде.

Синерезис определяли фильтрационным методом: разрушенный сгусток фильтровали через бумажный фильтр в течение 1 часа при комнатной температуре, после чего измеряли объём выделившейся сыворотки.

Массовую долю жира определяли бутирометрическим методом с применением молочных жирометров. Методика основана на выделении жира под действием концентрированной серной кислоты и изоамилового спирта с последующим центрифугированием и измерением объёма выделившегося жира в градуированной части жирометра.

Результаты и их обсуждение

Пахта, использованная в качестве вторичного сырья, была получена в процессе производства сливочного масла. Перед включением в состав опытных образцов был проведён входной контроль качества по следующим показателям: органолептический про-

филь, массовая доля белка и жира, титруемая кислотность и плотность.

Для ферментации всех исследуемых йогуртов применялась идентичная бактериальная культура, представляющая собой консорциум микроорганизмов, рекомендованных для промышленного производства йогуртов.

В результате входного контроля качества пахты установлено ее соответствие нормам ГОСТ 34354-2017 по органолептическим и физико-химическим показателям, что характеризует возможность использования данной пахты для производства кисломолочного продукта.

На первом этапе образцы йогуртов были подвергнуты органолептической оценке качества, результаты которой приведены в табл. 2.

Введение в рецептуру йогурта вторичного молочного сырья – пахты – не оказало негативного влияния на органолептические свойства продукта. Все опытные образцы характеризовались чистым кисломолочным вкусом и ароматом, свойственным натуральному йогурту. В образцах с добавлением пахты отмечался лёгкий сладковатый оттенок, что, вероятно, связано с присутствием в пахте фосфолипидов и других компонентов мембран жировых шариков молока, а также с особенностями взаимодействия белков и углеводов в процессе ферментации. По внешнему виду и консистенции все образцы имели однородную структуру с ненарушенным сгустком; цвет всех образцов йогурта молочно-белый [6, 8, 10, 18].

Синерезис как один из реологических показателей кисломолочных продуктов определяет прочность сгустка, а соответственно, и потребительские свойства готового продукта.

Процесс синерезиса протекает самопроизвольно и может вызывать пороки консистенции.

Результаты оценки синерезиса йогуртов приведены на рис. 2.

Результаты свидетельствуют, что с увеличением доли сухого обезжиренного молока уменьшается количество выделившейся сыворотки на начало проведения эксперимента, кроме того, наличие компонентов пахты замедляет потерю при пастеризации нативных β -лактоглобулина и α -лактальбумина. Структурно-механические свойства сгустков определяются характером связей, возникающих между белковыми частицами при формировании структуры. Сгусток йогуртов должен

быть плотным, с характерным четким изломом, обладающий минимальным синеретическими свойствами, следовательно, для йогуртов должна преобладать коагуляционная структура сгустка.

Таким образом, наблюдаемое снижение объёма отделяющейся сыворотки, возможно, отражает уплотнение белковой сети геля, что может быть связано со способностью фосфолипидов, входящих в состав пахты, формировать электростатический барьер и вступать в гидрофобные взаимодействия с β -казеином, способствуя дополнительной стабилизации гелевой матрицы [3, 4, 11, 13, 14].

Кроме того, при увеличении доли пахты свыше 30 % наблюдается снижение вязкости,

Таблица 2

Результаты органолептической оценки образцов йогурта

Наименование показателя	Образец			
	Контроль	1 (20 % пахты)	2 (30 % пахты)	3 (40 % пахты)
Внешний вид и консистенция	Однородная, слегка тянущая, сгусток ненарушенный	Однородная, с ненарушенным сгустком	Однородная, в меру вязкая, сгусток ненарушенный	Однородная, слегка тянущаяся, сгусток ненарушенный
Вкус и запах	Чистые, без посторонних привкусов и запахов, кисломолочный	Чистые, без посторонних привкусов и запахов, кисломолочный, слегка сладкий привкус	Чистые, без посторонних привкусов и запахов, кисломолочный слегка сладкий привкус	Чистые, без посторонних привкусов и запахов, кисломолочный слегка сладкий привкус
Цвет	Молочно-белый	Молочно-белый	Молочно-белый	Молочно-белый

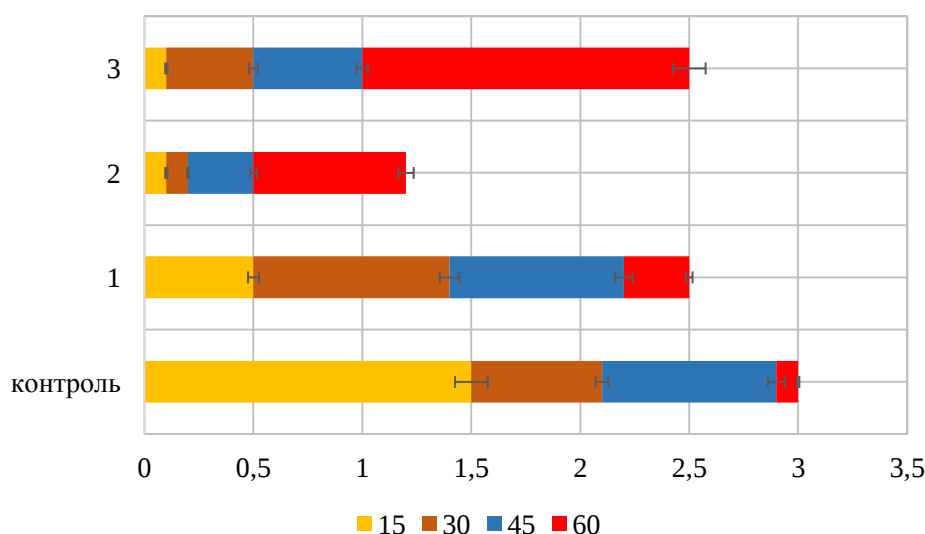


Рис. 2. Результаты оценки синерезиса исследуемых образцов йогурта

что возможно в результате конкуренции компонентов МЖШМ за межфазную адсорбцию. Вероятно, в такой пропорции фосфолипиды и фрагменты мембран изолирует заряды казеиновых мицелл, препятствуя их агрегации при сквашивании, что подтверждают результаты органолептического анализа – образец 3 отличался тянущейся консистенцией.

Результаты оценки физико-химических показателей приведены на рис. 3 и в табл. 3.

На основании результатов анализа физико-химических показателей выявлены качественные изменения в свойствах экспериментальных образцов йогуртов, обусловленные введением пахты и увеличением массовой доли сухого молока.

Максимальная вязкость отмечена у образца 1 (31,2 мПа·с), что свидетельствует о

формировании более плотной белковой матрицы при 20 % пахты. С увеличением доли пахты до 40 % (образец 3) вязкость снижается, что может быть связано с особенностями взаимодействия белков и фосфолипидов, а также с изменением структуры геля.

Содержание жира снижается по мере увеличения доли пахты и сухого обезжиренного молока: от 1,57 % (контроль) до 0,80 % (образец 3), что соответствует пищевой ценности используемых компонентов.

Внесение пахты и сухого обезжиренного молока определяет увеличение доли белка на 84–95 %, массовой доли сухих веществ – на 82–130 %, что подтверждает эффективность предложенной модификации рецептуры. Значения кислотности у всех образцов находятся в пределах нормируемых значений, что отра-

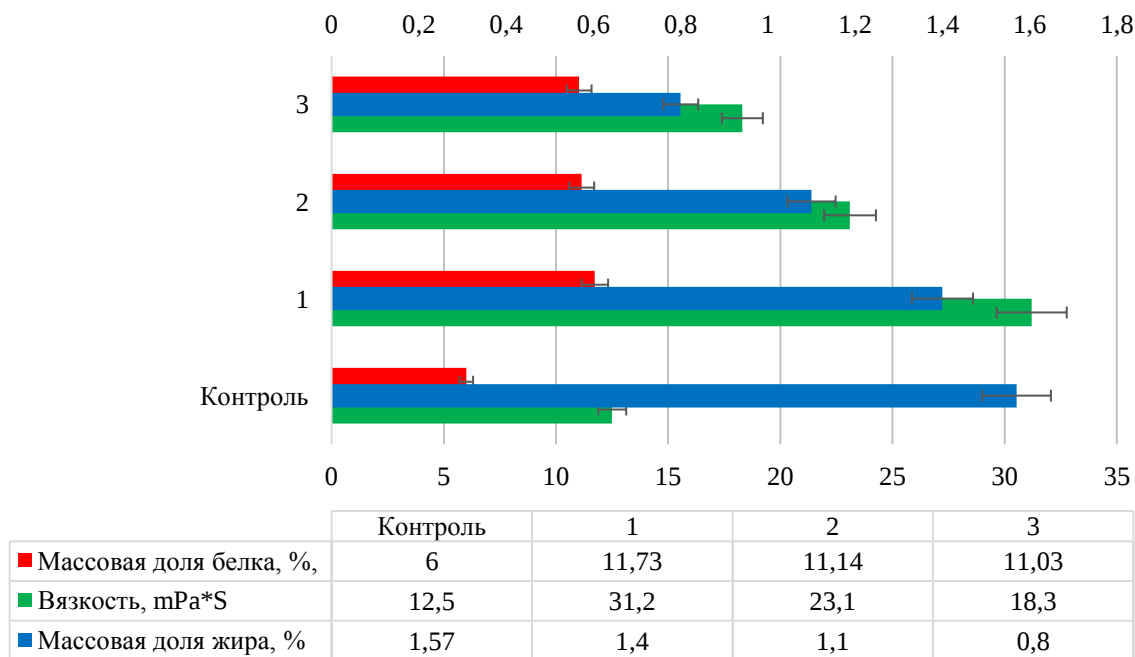


Рис. 3. Результаты определения массовых долей жира, белка и вязкости в исследуемых образцах йогуртов

Таблица 3
Результаты оценки массовой доли сухих веществ и титруемой кислотности йогуртов

Наименование показателя	Образец				Норма по стандарту
	Контроль	1 (20 % пахты)	2 (30 % пахты)	3 (40 % пахты)	
Титруемая кислотность, °Т	98	89	100	85	От 75 до 140 включительно
Массовая доля сухих веществ, %	7,4	17	16	13,5	–

жают отсутствие отрицательного влияния рецептурных изменений на активность протекающего молочнокислого брожения.

Результаты определения НВЧ кислomолочных микроорганизмов продемонстрировали значимые различия в кинетике ферментации между контрольным и опытными образцами: в контроле лаг-фаза развития микроорганизмов была пролонгирована, в опытных образцах, напротив, наблюдалось сокращение лаг-фазы и ускоренный переход к логарифмической фазе роста, что подтверждается образованием сгустка в первые часы ферментации. Результаты доказывают, что присутствие молочных фосфолипидов достоверно стимулирует рост лактобацилл и стрептококков. Механизм связывают с интеграцией жирных кислот фосфолипидов в мембраны бактерий, что улучшает их метаболическую активность и устойчивость к стрессам [7, 12].

Выводы

Таким образом, введение пахты в рецептуру йогурта не ухудшает его органолептические показатели, получаемые йогурты обла-

дают высокими потребительскими характеристиками. Добавление пахты и сухого обезжиренного молока способствует снижению объёма отделяющейся сыворотки, что свидетельствует об уплотнении белковой гелевой матрицы. Модификация рецептуры привела к увеличению массовой доли белка и сухих веществ, а также к снижению содержания жира по мере увеличения доли пахты. Присутствие фосфолипидов в составе пахты стимулирует рост лактобацилл и стрептококков, сокращая лаг-фазу и ускоряя коагуляцию. Это связано с интеграцией жирных кислот в мембраны бактерий, что повышает их метаболическую активность и устойчивость к стрессам. Использование пахты в производстве йогурта позволяет не только улучшить его пищевую ценность за счёт увеличения белка и сухих веществ, но и повысить стабильность структуры, а также ускорить процесс ферментации.

Полученные результаты свидетельствуют о реально существующей возможности использования пахты в качестве рецептурного компонента кислomолочного продукта.

Список литературы

1. Топникова Е.В., Иванова Н.В., Мордвинова В.А. Направления рационального использования пахты при производстве молочной продукции // Сыроделие и маслоделие. 2022. № 6. С. 42–45. DOI: 10.31515/2073-4018-2022-6-42-45
2. Мангазеев А.В., Ключкова Т.А. Влияние молочной творожной сыворотки на физиологическое состояние активного ила очистных сооружений // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: материалы XII Национальной (всероссийской) научно-практической конференции. Петропавловск-Камчатский, 2021. Ч. II. С. 20–23. EDN: WJSSAK
3. Пат. RU 2 380 912 C2 Российская Федерация, МПК A23C 17/02. Способ получения ферментированного продукта из пахты: № 2007138541/13: заявл. 27.04.2009; опубл. 10.02.2010 / Гаврилова Н.Б., Пасько О.В., Кашеева Н.Л.; патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Омский государственный аграрный университет, Автономная некоммерческая организация высшего профессионального образования Омский экономический институт.
4. Bailiang Li, Qingxue Chen, Longkai Mu et al. Milk fat globule membrane regulates the physicochemical properties and surface composition of infant formula powders by improving the stability of the emulsion // Food Chemistry. 2024. Vol. 440. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.137522.
5. Barukčić I., Lisak Jakopović K., Božanić R. Valorisation of whey and buttermilk for production of functional beverages – an overview of current possibilities // Food technology and biotechnology. 2019. Vol. 57, no. 4. P. 448–460. DOI: 10.17113/ftb.57.04.19.6460
6. Comparing consumer acceptance, sensory profile, and chemical properties in artisanal and industrial Greek-style yogurts processing: A path to enhancing food safety / Diana Viquez-Barrantes, Natalia Lau-Lee, Elba Cubero-Castillo, Marcia Cordero-Garcia // NFS Journal. 2023. Vol. 33. Article 100156. DOI: 10.1016/j.nfs.2023.100156.
7. Effect of milk phospholipids on the growth and cryotolerance of lactic acid bacteria cultured and stored in acid whey-based media / Lin Zhang, Israel Garcia-Cano, Rafael Jimenez-Flores // JDS Communications. 2020. Vol. 1. P. 36–40. DOI: 10.3168/jdsc.2020-0007.

8. Enhancing dairy sustainability: Rheological, sensory, and physical-chemical properties of low-fat fermented beverages incorporating buttermilk / H.C. Santos, G.V.F. Leonel, L.C.Da.S. Ramos et al. // *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 443. Article 141159. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.141159
9. Evaluation of physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of fermented milk beverages with buttermilk addition / L. Guilherme De Bassi, G. Camila Caetanoferreira, A. Santana Da Silva et al. // *International Journal of Dairy Technology*. 2012. Vol. 65. P. 282–286. DOI: 10.1111/j.1471-0307.2011.00764.x
10. Lili Zhao, Ran Feng, Fazheng Ren, Xueying Mao. Addition of buttermilk improves the flavor and volatile compound profiles of low-fat yogurt // *LWT*. 2018. Vol. 98. P. 9–17. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.08.029
11. Maxime Saffon, Rafael Jimenez-Flores, Michel Britten, Yves Pouliot. On the use of buttermilk components as aggregation nuclei during the heat-induced denaturation of whey proteins // *Journal of Food Engineering*. 2019. Vol. 132. P. 21–28. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2014.02.001.
12. Metabolomics of acid whey derived from Greek yogurt / Muriel M. Allen, Oscar A. Pike, Jason D. Kenealey, Michael L. Dunn // *Journal of Dairy Science*. 2021. Vol. 104. P. 11401–11412. DOI: 10.3168/jds.2021-20442.
13. Milk fat globule membrane phospholipids modify adhesion of *Lactobacillus* to mucus-producing Caco-2/Goblet cells by altering the cell envelope / Joana Ortega-Anaya, Alice Marciniak, Rafael Jiménez-Flores // *Food Research International*. 2021. Vol. 146. Article 110471. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110471.
14. Min Chen, Leonard M.C. Sagis. The influence of protein/phospholipid ratio on the physicochemical and interfacial properties of biomimetic milk fat globules // *Food Hydrocolloids*. 2019. Vol. 97. Article 105179. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105179.
15. Oliveira M., Cocozza A., Zucaro A., Santagata R., Ulgiati S. Circular economy in the agro-industry: integrated environmental assessment of dairy products Renew // *Sustain. Energy Rev.* Vol. 148 (2021). DOI: 10.1016/j.rser.2021.111314
16. Processing of high-protein yoghurt – A review / Camilla Elise Jorgensen, Roger K. Abrahamsen, Elling-Olav Rukke et al. // *International Dairy Journal*. 2019. Vol. 88. P. 42–59. DOI: 10.1016/j.idairyj.2018.08.002
17. Rotz A., Stout R., Leytem A. et al. Environmental assessment of United States dairy farms // *J. Clean. Prod.*, 2021. Vol. 315. Article 128153. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128153
18. Yogurts enriched with milk proteins: Texture properties, aroma release and sensory perception / Hanna Lesme, Cecile Rannou, Marie-Helene Famelart et al. // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 98. P. 140–149. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.02.006.

References

1. Topnikova E.V., Ivanova N.V., Mordvinova V.A. Directions for the rational use of buttermilk in dairy production. *Cheese and butter making*, 2022, no. 6. pp. 42–45. (In Russ.) DOI: 10.31515/2073-4018-2022-6-42-45
2. Mangazeev A.V., Klochkova T.A. The effect of milk curd whey on the physiological state of activated sludge of treatment facilities. *Natural resources, their current state, protection, commercial and technical use*, 2021. pp. 20–23. (In Russ.)
3. Gavrilova N.B., Pas'ko O.V., Kashcheeva N.L. *Patent RU 2 380 912 C2 Rossiyskaya Federatsiya, MPK A23C 17/02. Sposob polucheniya fermentirovannogo produkta iz pakhty* [Patent. RU 2 380 912 C2 Russian Federation, IPC A23C 17/02. Method for obtaining a fermented product from buttermilk]. No. 2007138541/13: declared 27.04.2009: published 10.02.2010.
4. Bailiang Li, Qingxue Chen, Longkai Mu, Sibao Liu, Fangqin Xiang, Liu Yang, Sufang Duan, Fang Li, Ignatius Man-Yau Szeto Milk fat globule membrane regulates the physicochemical properties and surface composition of infant formula powders by improving the stability of the emulsion. *Food Chemistry*, 2024, vol. 440. DOI: 10.1016/j.foodchem.2023.137522.

5. Barukčić I., Lisak Jakopović K., Božanić R. Valorisation of whey and buttermilk for production of functional beverages – an overview of current possibilities. *Food technology and biotechnology*, 2019, vol. 57, no. 4, pp. 448–460. DOI: 10.17113/ftb.57.04.19.6460
6. Comparing consumer acceptance, sensory profile, and chemical properties in artisanal and industrial Greek-style yogurts processing: A path to enhancing food safety / Diana Viquez-Barrantes, Natalia Lau-Lee, Elba Cubero-Castillo, Marcia Cordero-Garcia. *NFS Journal*, 2023, vol. 33. Article 100156. DOI: 10.1016/j.nfs.2023.100156.
7. Effect of milk phospholipids on the growth and cryotolerance of lactic acid bacteria cultured and stored in acid whey-based media / Lin Zhang, Israel Garcia-Cano, Rafael Jimenez-Flores. *JDS Communications*, 2020, vol. 1, pp. 36–40. DOI: 10.3168/jdsc.2020-0007.
8. Enhancing dairy sustainability: Rheological, sensory, and physical-chemical properties of low-fat fermented beverages incorporating buttermilk / Herlandia Cotrim Santos, Glaucia Valeria Fonseca Leonel, Luana Cristina da Silva Ramos, Eliara Acipreste Hudson, Maximiliano Soares Pinto, Jaqueline de Paula Rezende, Marcia Cristina Teixeira Ribeiro Vidigal, Ana Clarissa dos Santos Pires. *Journal of Cleaner Production*, 2024, vol. 443. Article 141159. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.141159
9. Evaluation of physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of fermented milk beverages with buttermilk addition / Larissa Guilherme De Bassi, Gessica Camila Caetanoferreira, Alisson Santana Da Silva, Ka'tia Sivieri, Lina Casale Aragon-Alegro and Marcela De Rezende Costa. *International Journal of Dairy Technology*, 2012, vol. 65, pp. 282–286. DOI: 10.1111/j.1471-0307.2011.00764.x
10. Lili Zhao, Ran Feng, Fazheng Ren, Xueying Mao Addition of buttermilk improves the flavor and volatile compound profiles of low-fat yogurt. *LWT*, 2018, vol. 98, pp. 9–17. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.08.029
11. Maxime Saffon, Rafael Jimenez-Flores, Michel Britten, Yves Pouliot On the use of buttermilk components as aggregation nuclei during the heat-induced denaturation of whey proteins. *Journal of Food Engineering*, 2019, vol. 132, pp. 21–28. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2014.02.001.
12. Metabolomics of acid whey derived from Greek yogurt / Muriel M. Allen, Oscar A. Pike, Jason D. Kenealey, Michael L. Dunn. *Journal of Dairy Science*, 2021, vol. 104, pp. 11401–11412. DOI: 10.3168/jds.2021-20442.
13. Milk fat globule membrane phospholipids modify adhesion of *Lactobacillus* to mucus-producing Caco-2/Goblet cells by altering the cell envelope / Joana Ortega-Anaya, Alice Marciniak, Rafael Jiménez-Flores. *Food Research International*, 2021, vol. 146. Article 110471. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110471.
14. Min Chen, Leonard M.C. Sagis. The influence of protein/phospholipid ratio on the physicochemical and interfacial properties of biomimetic milk fat globules. *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 97. Article 105179. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105179.
15. Oliveira M., Cocozza A., Zucaro A., Santagata R., Ulgiati S. Circular economy in the agro-industry: integrated environmental assessment of dairy products. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2021, vol. 148. DOI: 10.1016/j.rser.2021.111314
16. Processing of high-protein yoghurt – A review / Camilla Elise Jorgensen, Roger K. Abrahamsen, Elling-Olav Rukke, Tom Kristian Hoffmann, Anne-Grethe Johansen, Siv B. Skeie. *International Dairy Journal*, 2019, vol. 88, pp. 42–59. DOI: 10.1016/j.idairyj.2018.08.002
17. Rotz A., Stout R., Leytem A., Feyereisen G., Waldrip H., Thoma G., Holly M., Bjorneberg D., Baker J., Vadas P., Kleinman P. Environmental assessment of United States dairy farms. *J. Clean. Prod.*, 2021, vol. 315. Article 128153. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128153
18. Yogurts enriched with milk proteins: Texture properties, aroma release and sensory perception / Hanna Lesme, Cecile Rannou, Marie-Helene Famelart, Said Bouhalla, Carole Prost. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, vol. 98, pp. 140–149. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.02.006.

Информация об авторах

Попова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; nvpopova@susu.ru

Константинова Александра Витальевна, магистр кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; akonstan17@gmail.com

Information about the authors

Natalia V. Popova, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; nvpopova@susu.ru

Alexandra V. Konstantinova, Master of Science, Department of Food and Biotechnology, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; akonstan17@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20.04.2026

The article was submitted 20.04.2026