

Разработка ферментированного напитка на основе творожной сыворотки и растительных белков

С. В. Стасюк¹, О. В. Зинина^{1, 2✉}, О. П. Неверова²

¹ Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия

² Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

✉ E-mail: zininaov@susu.ru

Аннотация. В связи с проблемой утилизации творожной сыворотки и растущим спросом на функциональные продукты актуальной является разработка ферментированного высокобелкового напитка на ее основе с добавлением композиции растительных белков. **Научная новизна** исследований заключается в целенаправленном комбинировании творожной сыворотки с оптимизированной композицией растительных белков (подсолнечного, горохового, белка грецкого ореха и абрикосовой косточки) для коррекции аминокислотного состава и создания сбалансированного продукта. **Цель** исследования – разработка рецептуры и технологии ферментированного напитка на основе творожной сыворотки с композицией растительных белков и оценка его качественных характеристик. **Методы.** Состав белковых композиций оптимизирован методом математического моделирования (симплекс-метод) по показателям биологической ценности. Проведена ферментация образцов с различным содержанием белковой композиции (5 %, 10 %, 15 %) с использованием пробиотической закваски. Определяли титруемую кислотность по ГОСТ 3624-92, микробиологические показатели – методом микроскопии, органолептические характеристики – дескрипторным анализом по ISO 13299:2003, массовую долю белка – расчетным методом. **Результаты.** Установлено, что внесение 15 % белковой композиции и ферментация в течение 5 ч при температуре $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ являются оптимальными. Данный режим обеспечивает достижение титруемой кислотности более 90°T (соответствует ГОСТ 32923-2014), интенсивный рост пробиотической микрофлоры и формирование густой однородной консистенции. Массовая доля белка в готовом напитке составляет 9,97–10,09 %. Продукт приобретает характерные органолептические свойства: сладковатый вкус с легким кисломолочным оттенком, устойчивый аромат подсолнечника и кремовый цвет. Разработанный ферментированный напиток представляет собой научно обоснованный высокобелковый продукт со сбалансированным аминокислотным составом, способствующий решению проблемы утилизации сыворотки и расширению ассортимента функциональных продуктов.

Ключевые слова: творожная сыворотка, ферментированный напиток, растительные белки, пробиотики, аминокислотный состав, функциональный продукт

Для цитирования: Стасюк С. В., Зинина О. В., Неверова О. П. Разработка ферментированного напитка на основе творожной сыворотки и растительных белков // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 02. С. 340–352. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-340-352>.

Дата поступления статьи: 16.12.2025, **дата рецензирования:** 17.01.2026, **дата принятия:** 22.01.2026.

Development of a fermented drink based on curd whey and plant proteins

S. V. Stasyuk¹, O. V. Zinina^{1,2}✉, O. P. Neverova²

¹ South Ural State University (NRU), Chelyabinsk, Russia

² Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

✉ E-mail: zininaov@susu.ru

Abstract. Given the problem of cottage cheese whey utilization and the growing demand for functional products, the development of a fermented high-protein beverage based on it with the addition of a plant protein composition is relevant. **The scientific novelty** of the research lies in the targeted combination of cottage cheese whey with an optimized composition of plant proteins (sunflower, pea, walnut protein, and apricot kernel protein) to correct the amino acid profile and create a balanced product. **The purpose** of the research is to develop the formulation and technology for a fermented beverage based on cottage cheese whey with a plant protein composition and to evaluate its quality characteristics. **Methods.** The composition of the protein blends was optimized using mathematical modeling (simplex method) based on indicators of biological value. Fermentation of samples with different protein blend contents (5 %, 10 %, 15 %) was carried out using a probiotic starter culture. Titratable acidity was determined according to GOST 3624-92, microbiological indicators by microscopy, organoleptic characteristics by descriptor analysis according to ISO 13299:2003, and mass fraction of protein by calculation. **Results.** It was found that the addition of 15 % protein blend and fermentation for 5 hours at a temperature of $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ are optimal. This regime ensures the achievement of titratable acidity above 90 °T (corresponding to GOST 32923-2014), intensive growth of probiotic microflora, and the formation of a thick, homogeneous consistency. The mass fraction of protein in the finished beverage is $\approx 9.97\text{--}10.09\%$. The product acquires characteristic organoleptic properties: a sweetish taste with a slight fermented milk nuance, a stable sunflower aroma, and a creamy color. The developed fermented beverage is a scientifically substantiated high-protein product with a balanced amino acid composition, contributing to solving the whey utilization problem and expanding the range of functional foods.

Keywords: cottage cheese whey, fermented beverage, plant proteins, probiotics, amino acid composition, functional food

For citation: Stasyuk S. V., Zinina O. V., Neverova O. P. Development of a fermented drink based on curd whey and plant proteins. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (02): 340–352. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-02-340-352>. (In Russ.)

Date of paper submission: 16.12.2025, **date of review:** 17.01.2026, **date of acceptance:** 22.01.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

В современной пищевой промышленности особое внимание уделяется созданию функциональных продуктов, сочетающих высокую пищевую ценность, пользу для здоровья и соответствие актуальным экологическим трендам. Одним из перспективных направлений является рациональное использование вторичного сырья, в частности молочной сыворотки, которая образуется в значительных объемах как побочный продукт при производстве сыра и творога. В России проблема утилизации молочной сыворотки остается острой: по данным аналитиков, лишь около 21 % всего объема поступает на дальнейшую переработку, в то время как остальное количество либо используется на корм сельскохозяйственным животным, либо безвозвратно теряется, нанося ущерб окружающей среде. Законодательство запрещает сброс сыворотки в окружающую среду, предусматривая значительные штрафы и даже приостановку деятельности пред-

приятий за подобные нарушения [1]. Таким образом, разработка технологий глубокой переработки сыворотки представляет собой не только научно-техническую, но и экологическую и экономическую необходимость.

Одновременно с этим наблюдается устойчивый рост рынка функциональных и здоровых продуктов питания. Потребительский спрос смещается в сторону продуктов с улучшенным составом: обогащенных белком, пробиотиками, витаминами и минералами. Особенно динамично развиваются сегменты спортивного питания, растительных альтернатив молочной продукции и функциональных кисломолочных напитков [2–4]. Согласно данным BusinessStat, производство кисломолочной продукции в России после спада в 2020–2022 годах демонстрирует рост, достигнув в 2024 году 2,83 млн т [5]. Рынок спортивного питания в 2024 году увеличился на 14,7 %, а объем рынка растительного молока превысил 10 млрд рублей, показав рост почти на

30 % [4; 6]. Эти тенденции указывают на готовность потребителя принимать инновационные продукты, особенно если они решают конкретные задачи, такие как повышение потребления белка, улучшение пищеварения или снижение потребления животных продуктов.

Молочная сыворотка сама по себе является ценным сырьем. Она содержит сывороточные белки (β -лактоглобулин, α -лактальбумин, иммуноглобулины, лактоферрин и др.), обладающие высокой биологической ценностью и полноценным аминокислотным составом, близким к мышечной ткани человека [7; 8]. Концентрация сывороточных белков в творожной сыворотке, однако, невелика (обычно 0,4–0,8 %) [9], что недостаточно для создания продукта, позиционируемого как высокобелковый. Согласно ГОСТ 34352-2017, массовая доля белка в творожной сыворотке-сырье должна составлять не менее 0,4 %. Несмотря на это, сыворотка богата лактозой, минеральными солями, витаминами группы В и растворимыми формами кальция и фосфора [10]. Ее низкая себестоимость и доступность делают ее привлекательной основой для разработки новых продуктов.

С другой стороны, рынок растительных белков переживает настоящий бум, обусловленный глобальными тенденциями к вегетарианству, веганству, а также увеличением числа людей с непереносимостью лактозы. Растительные белки, такие как подсолнечный, гороховый, конопляный, тыквенный и белок абрикосовой косточки, демонстрируют высокое содержание протеина (от 47 % в концентратах до 85 % и более в изолятах) [11; 12]. Однако их основной технологический и нутрициологический недостаток – несбалансированный аминокислотный профиль. Например, белок подсолнечника, получаемый из шрота – побочного продукта масложировой промышленности, характеризуется высоким содержанием серосодержащих аминокислот, но является дефицитным по лизину [13; 14]. Гороховый белок, напротив, богат лизином, но содержит недостаточно метионина и цистеина [15]. Белок грецкого ореха имеет благоприятный профиль по разветвленным аминокислотам (лейцину, изолейцину, валину), а белок абрикосовой косточки богат ароматическими аминокислотами, однако их применение часто ограничивается технологическими сложностями выделения, наличием антинутриентов или специфическими вкусовыми оттенками [16; 17].

Таким образом, комбинирование молочных и растительных белков в одной пищевой системе открывает путь к созданию продукта с взаимодополняющим аминокислотным составом. Такой синергетический подход позволяет достичь показателей биологической ценности, близких к эталонному

белку (в соответствии с рекомендациями ФАО/ВОЗ), и в то же время улучшить функционально-технологические свойства конечного продукта, такие как водо- и жиरोудерживающая способность, стабильность эмульсии и желирующие свойства [18; 19]. Исследования показывают, что смеси сывороточного и растительных белков (например, рисового гидролизата) могут образовывать стабильные эмульсии с улучшенными пищеварительными характеристиками [20].

Ключевым технологическим приемом для реализации потенциала такой гибридной системы является ферментация. Использование пробиотических культур (таких как *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium sp.*, *Lactobacillus rhamnosus*) решает несколько задач одновременно. Во-первых, происходит биотрансформация компонентов сырья: частичный гидролиз белков до пептидов и свободных аминокислот, сбраживание лактозы с образованием молочной кислоты [21]. Это приводит к естественному подкислению продукта, формированию характерного кисломолочного вкуса и аромата, а также повышению усвояемости нутриентов. Во-вторых, живые пробиотические клетки обогащают продукт, наделяя его доказанными полезными свойствами для микрофлоры кишечника и иммунной системы [22; 23]. В-третьих, ферментация может способствовать снижению уровня антинутриентов, присутствующих в некоторых растительных белках, и улучшению органолептических свойств, маскируя возможные бобовые или травянистые привкусы [24].

Анализ существующих научных разработок и патентов показывает, что, несмотря на обширные исследования в области переработки сыворотки и применения растительных белков по отдельности, комплексных работ по целенаправленному созданию и оптимизации ферментированных систем «творожная сыворотка – композиция растительных белков» явно недостаточно. Большинство отечественных исследований сфокусировано на создании сывороточных напитков с фруктово-ягодными наполнителями, соками, сиропами или экстрактами лекарственных растений [25–27]. Зарубежные работы часто посвящены ферментации исключительно растительных основ (овса, сои) или их обогащению сывороточным белком [28; 29]. Пробел заключается в отсутствии системного подхода, сочетающего математическое моделирование для оптимизации аминокислотного состава белковой композиции из нескольких видов растительного сырья и последующее экспериментальное исследование влияния такой композиции и параметров ферментации на физико-химические, микробиологические и органолептические показатели готового гибридного напитка.

Кроме того, актуальной задачей является установление оптимальных технологических параметров (температура, время, дозировка закваски и белковой композиции) для обеспечения контролируемого и воспроизводимого процесса ферментации, результатом которого является продукт, соответствующий строгим нормативным требованиям. Согласно ГОСТ 32923-2014, кислотность обогащенных пробиотиками кисломолочных продуктов должна находиться в диапазоне 80–120 °Т, а количество жизнеспособных пробиотических микроорганизмов – не менее 10^6 КОЕ/г на протяжении всего срока годности [30]. Достижение этих показателей в системе с высоким содержанием растительных белков требует специальных исследований.

Разработка такой технологии позволит не только предложить рынку новый конкурентоспособный продукт, но и внести вклад в решение проблемы ресурсосбережения в пищевой промышленности, что соответствует принципам устойчивого развития и стратегии импортозамещения.

Целью настоящей работы является разработка рецептуры и технологии ферментированного высокобелкового напитка на основе творожной сыворотки с композицией растительных белков и комплексная оценка его физико-химических, микробиологических и органолептических характеристик.

Методология и методы исследования (Methods)

На разных этапах работы объектами исследования являлись творожная сыворотка, композиции растительных белков и готовый ферментированный напиток.

Для разработки рецептуры белковой композиции использован метод математического моделирования – симплекс-метод с установлением линейных ограничений на искомые переменные (доли отдельных растительных белков) и максимизацией целевой функции – аминокислотного сора лизина. Балансовые уравнения составлены на основе аминокислотного состава концентратов растительных белков (подсолнечного, горохового, грецкого ореха и абрикосовой косточки), определенного по литературным данным и данным производителей. Аминокислотный скор (АКС) рассчитывали по формуле (1).

$$АКС_i = \frac{AC_i}{ANC_i} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где AC_i – содержание i -й незаменимой аминокислоты в белке композиции, мг/г белка;

ANC_i – рекомендуемое содержание i -й незаменимой аминокислоты в эталонном белке (ФАО/ВОЗ), мг/г белка.

Также рассчитывался коэффициент различия аминокислотного сора по формуле (2) и биологическая ценность по формуле (3) каждой композиции растительных белков.

Таблица 1
Балансовые уравнения оптимизации состава белковой композиции

Показатель	Уравнение
Содержание валина	$6,42 \cdot X_1 + 5,00 \cdot X_2 + 3,35 \cdot X_3 + 4,02 X_4 \geq 5,00$
Содержание изолейцина	$5,55 \cdot X_1 + 4,71 \cdot X_2 + 3,92 \cdot X_3 + 4,70 X_4 \geq 4,00$
Содержание лейцина	$8,09 \cdot X_1 + 7,94 \cdot X_2 + 7,40 \cdot X_3 + 8,88 X_4 \geq 7,00$
Содержание лизина	$4,56 \cdot X_1 + 7,06 \cdot X_2 + 2,65 \cdot X_3 + 3,18 X_4 \geq 5,50$
Содержание метионина и цистеина	$4,60 \cdot X_1 + 2,24 \cdot X_2 + 2,72 \cdot X_3 + 3,26 X_4 \geq 3,50$
Содержание треонина	$4,51 \cdot X_1 + 3,47 \cdot X_2 + 3,73 \cdot X_3 + 4,48 X_4 \geq 4,00$
Содержание триптофана	$1,65 \cdot X_1 + 1,06 \cdot X_2 + 1,07 \cdot X_3 + 1,28 X_4 \geq 1,00$
Содержание фенилаланина и тирозина	$8,93 \cdot X_1 + 8,82 \cdot X_2 + 7,02 \cdot X_3 + 8,42 X_4 \geq 6,00$
Аминокислотный скор лизина (функция цели)	$100 \cdot (4,56 \cdot X_1 + 7,06 \cdot X_2 + 2,65 \cdot X_3 + 3,18 X_4) / 5,50 \rightarrow 100$
Формирование единицы продукта	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$

Table 1
Balance equations for optimization of protein composition

Indicator	Equation
Valine content	$6.42 \cdot X_1 + 5.00 \cdot X_2 + 3.35 \cdot X_3 + 4.02 X_4 \geq 5.00$
Isoleucine content	$5.55 \cdot X_1 + 4.71 \cdot X_2 + 3.92 \cdot X_3 + 4.70 X_4 \geq 4.00$
Leucine content	$8.09 \cdot X_1 + 7.94 \cdot X_2 + 7.40 \cdot X_3 + 8.88 X_4 \geq 7.00$
Lysine content	$4.56 \cdot X_1 + 7.06 \cdot X_2 + 2.65 \cdot X_3 + 3.18 X_4 \geq 5.50$
Methionine and cysteine content	$4.60 \cdot X_1 + 2.24 \cdot X_2 + 2.72 \cdot X_3 + 3.26 X_4 \geq 3.50$
Threonine content	$4.51 \cdot X_1 + 3.47 \cdot X_2 + 3.73 \cdot X_3 + 4.48 X_4 \geq 4.00$
Tryptophan content	$1.65 \cdot X_1 + 1.06 \cdot X_2 + 1.07 \cdot X_3 + 1.28 X_4 \geq 1.00$
Phenylalanine and tyrosine content	$8.93 \cdot X_1 + 8.82 \cdot X_2 + 7.02 \cdot X_3 + 8.42 X_4 \geq 6.00$
Lysine amino acid score (target function)	$100 \cdot (4.56 \cdot X_1 + 7.06 \cdot X_2 + 2.65 \cdot X_3 + 3.18 X_4) / 5.50 \rightarrow 100$
Product unit formation	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 1$

$$КРАС = \frac{\sum \Delta PAC}{n} \%, \quad (2)$$

$$\Delta PAC = \Delta AKC_i + AKC_{min}, \quad (3)$$

$$БЦ = 100 - КРАС,$$

где ΔPAC – различие аминокислотного сора аминокислоты, %;

n – количество незаменимых аминокислот;

ΔAKC_i – избыток сора i -й аминокислоты, % ($\Delta AKC_i = AKC_i - 100$, AKC_i – аминокислотный скор для i -й незаменимой кислоты);

AKC_{min} – скор лимитирующей кислоты, %.

Творожную сыворотку охарактеризовали по органолептическим и физико-химическим показателям в соответствии с ГОСТ 34352-2017 «Сыворотка молочная-сырье. Технические условия». Контролировали титруемую кислотность по ГОСТ 3624-92.

По результатам оптимизации были отобраны две белковые композиции (№ 1 и № 2) и приготовлены опытные образцы ферментированного напитка:

– контрольный образец (КО): творожная сыворотка без добавок;

– опытные образцы (ОО-1–ОО-6): сыворотка с добавлением 5 %, 10 % и 15 % (от массы сырья) белковых композиций № 1 и № 2.

Во все образцы вносили комплекс пробиотических культур «Здоровье» (*Bifidobacterium sp.*, *Lactobacillus plantarum*, *L. acidophilus*, *L. casei*, *L. rhamnosus*) в количестве 0,1 % от объема. Ферментацию проводили при температуре 40 °С в течение 6 часов.

Таблица 2

Состав и аминокислотные характеристики белковых композиций

Наименование показателя	Белковая композиция	
	№ 1	№ 2
Состав, %		
Подсолнечный белок	61,0	51,0
Гороховый белок	38,0	42,0
Белок грецкого ореха	1,0	–
Белок абрикосовой косточки	–	7,0
Аминокислотный скор незаменимых аминокислот, %		
Валина	116,9	113,1
Изолейцина	130,2	128,3
Лейцина	114,7	115,5
Метионина и цистеина	105,0	100,4
Треонина	102,6	101,8
Триптофана	142,1	137,8
Фенилаланина и тирозина	147,8	147,5
Лизина	100,0	100,3
Массовая доля белка, %	66,45	67,25

Table 2

Composition and amino acid characteristics of protein compositions

Indicator name	Protein composition	
	No. 1	No. 2
Composition, %		
<i>Sunflower protein</i>	61.0	51.0
<i>Pea protein</i>	38.0	42.0
<i>Walnut protein</i>	1.0	–
<i>Apricot kernel protein</i>	–	7.0
Amino acid score of essential amino acids, %		
<i>Valine</i>	116.9	113.1
<i>Isoleucine</i>	130.2	128.3
<i>Leucine</i>	114.7	115.5
<i>Methionine and cysteine</i>	105.0	100.4
<i>Threonine</i>	102.6	101.8
<i>Tryptophan</i>	142.1	137.8
<i>Phenylalanine and tyrosine</i>	147.8	147.5
<i>Lysine</i>	100.0	100.3
<i>Protein mass fraction, %</i>	66.45	67.25

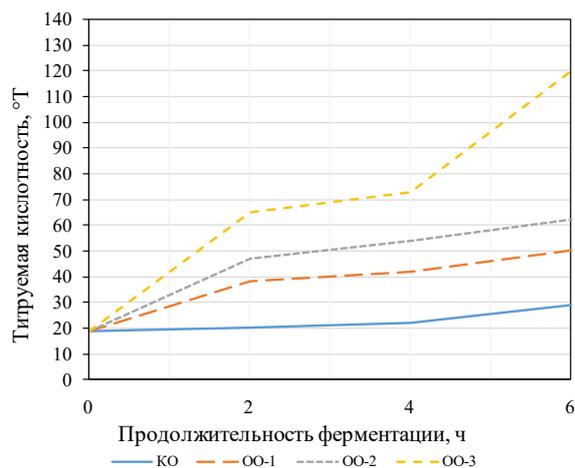


Рис. 1. Динамика титруемой кислотности сыворотки с добавлением композиции растительных белков № 1 в процессе ферментации

Примечание. Здесь и далее КО – контрольный образец, ОО – опытный образец

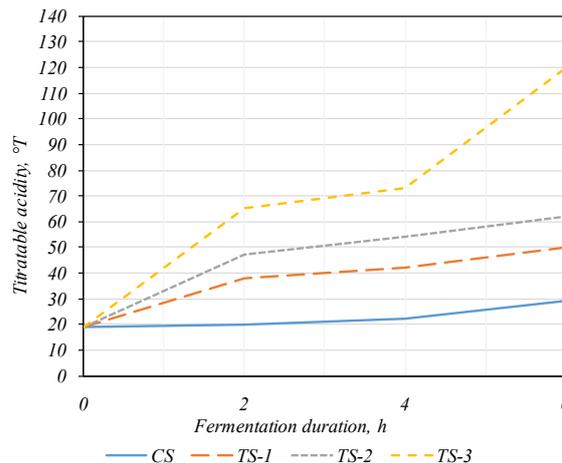


Fig. 1. Dynamics of titratable acidity of whey with the addition of plant protein composition No. 1 during the fermentation

Note. Hereinafter CS – control sample, TS – test sample

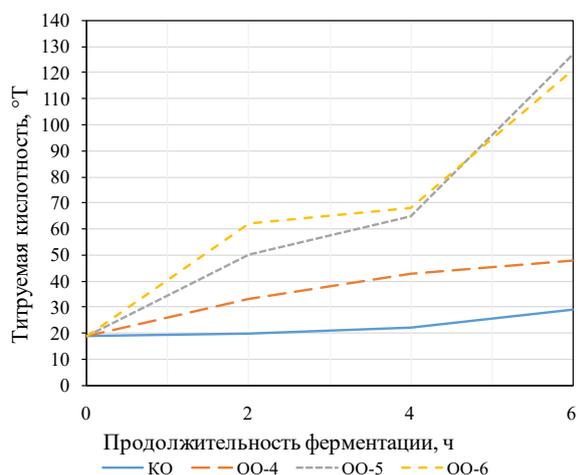


Рис. 2. Динамика титруемой кислотности сыворотки с добавлением композиции растительных белков № 2 в процессе ферментации

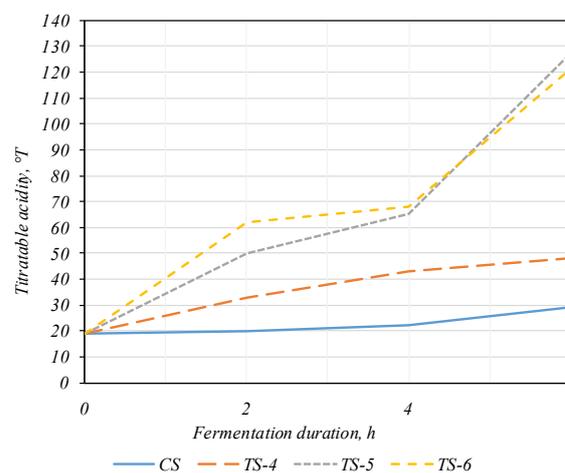


Fig. 2. Dynamics of titratable acidity of whey with the addition of plant protein composition No. 2 during the fermentation

В процессе ферментации каждые 2 часа контролировали изменение титруемой кислотности (°Т) по ГОСТ 3624-92. Конечные значения сравнивали с требованиями ГОСТ 32923-2014 «Продукты кисломолочные, обогащенные пробиотическими микроорганизмами» (80–120 °Т).

Для оценки состояния пробиотической микрофлоры проводили микроскопическое исследование фиксированных препаратов, окрашенных метиленовой синью, с использованием биологического микроскопа «Микмед-2».

Органолептическую оценку готовых образцов проводили методом дескрипторного анализа в соответствии с ISO 13299:2003 по следующим характеристикам: однородность и цвет (внешний вид), кисломолочный запах и запах семян подсолнечника (аромат), кисломолочный и сладкий вкус (вкус), густота и однородность (консистенция), а также общая оценка качества.

Массовую долю белка, вносимую композицией в образец, рассчитывали по формуле (4):

$$\omega_{\text{белка в композиции}} = \sum (X_i \cdot \omega_i), \quad (4)$$

где X_i – доля i -го белкового компонента в композиции (в долях единицы);

ω_i – массовая доля белка в i -м компоненте, %.

На основе полученных экспериментальных данных были определены оптимальные параметры состава (доля белковой композиции) и режима ферментации (время, температура), обеспечивающие достижение целевых физико-химических, микробиологических и органолептических показателей готового напитка.

Результаты (Results)

Для оптимизации состава белковых композиций использовали симплекс-метод с установлением линейных ограничений по содержанию незаменимых аминокислот. Целевой функцией служил аминокислотный скор лизина.

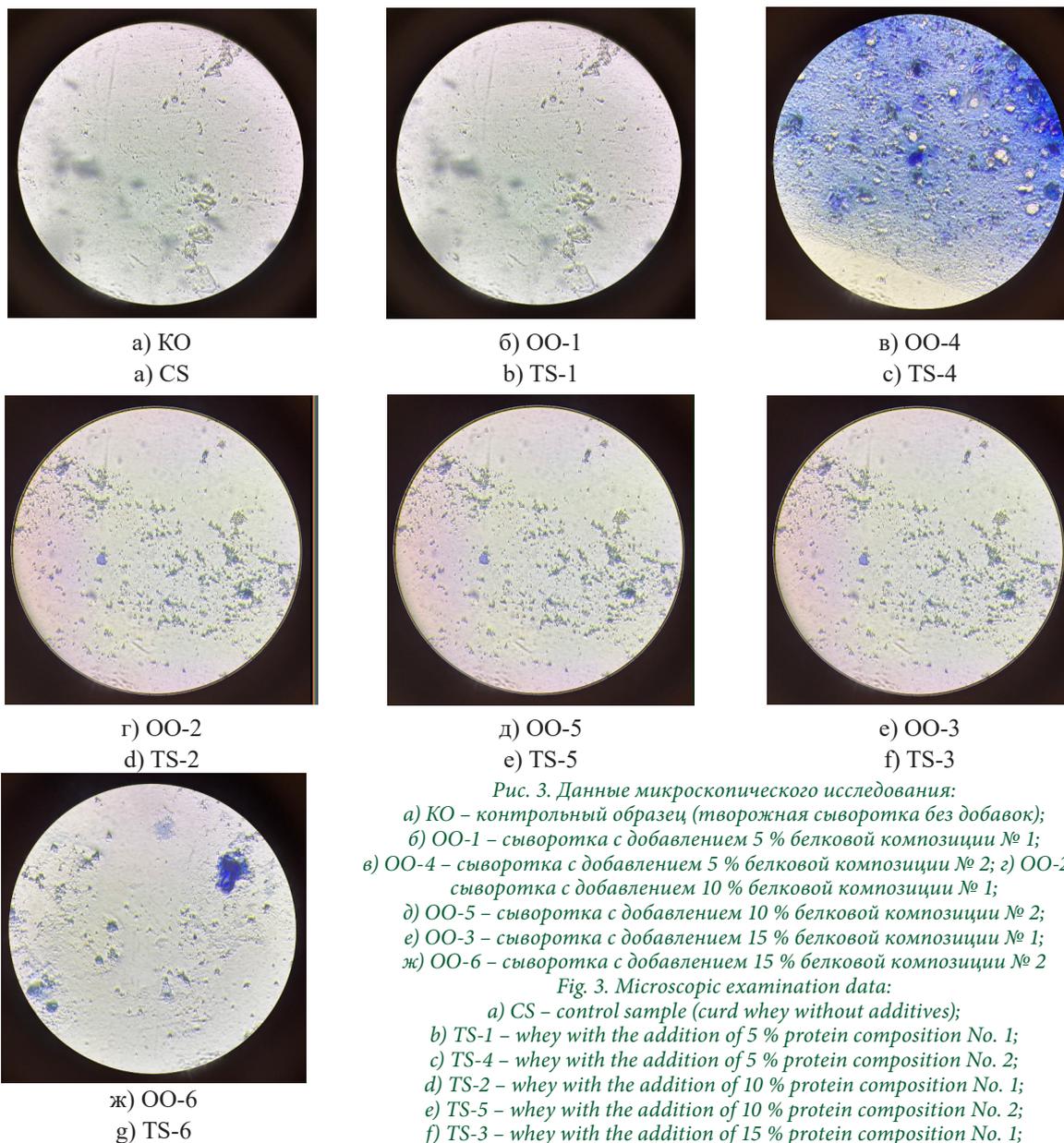


Рис. 3. Данные микроскопического исследования:
 а) KO – контрольный образец (творожная сыворотка без добавок);
 б) OO-1 – сыворотка с добавлением 5 % белковой композиции № 1;
 в) OO-4 – сыворотка с добавлением 5 % белковой композиции № 2; з) OO-2 – сыворотка с добавлением 10 % белковой композиции № 1;
 д) OO-5 – сыворотка с добавлением 10 % белковой композиции № 2;
 е) OO-3 – сыворотка с добавлением 15 % белковой композиции № 1;
 ж) OO-6 – сыворотка с добавлением 15 % белковой композиции № 2

Fig. 3. Microscopic examination data:

- а) CS – control sample (curd whey without additives);
- б) TS-1 – whey with the addition of 5 % protein composition No. 1;
- с) TS-4 – whey with the addition of 5 % protein composition No. 2;
- д) TS-2 – whey with the addition of 10 % protein composition No. 1;
- е) TS-5 – whey with the addition of 10 % protein composition No. 2;
- ф) TS-3 – whey with the addition of 15 % protein composition No. 1;
- г) TS-6 – whey with the addition of 15 % protein composition No. 2

Математическая постановка задачи оптимизации представлена балансовыми уравнениями (таблица 1).

В результате были получены две композиции с оптимальными показателями биологической ценности (таблица 2).

Приготовление опытных образцов проводили путем внесения белковых композиций в творожную сыворотку в количестве 0% (контроль), 5%, 10% и 15% от массы сырья с последующей ферментацией комплексной пробиотической закваской при температуре $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$ в течение 6 часов.

Влияние белковых добавок на процесс ферментации устанавливали по динамике титруемой кислотности в процессе ферментации, представленной на рис. 1 и 2.



Рис. 5. Внешний вид опытного образца с добавлением 15 % композиции растительных белков № 2
 Fig. 5. Appearance of the test sample with the addition of 15 % of plant protein composition No. 2

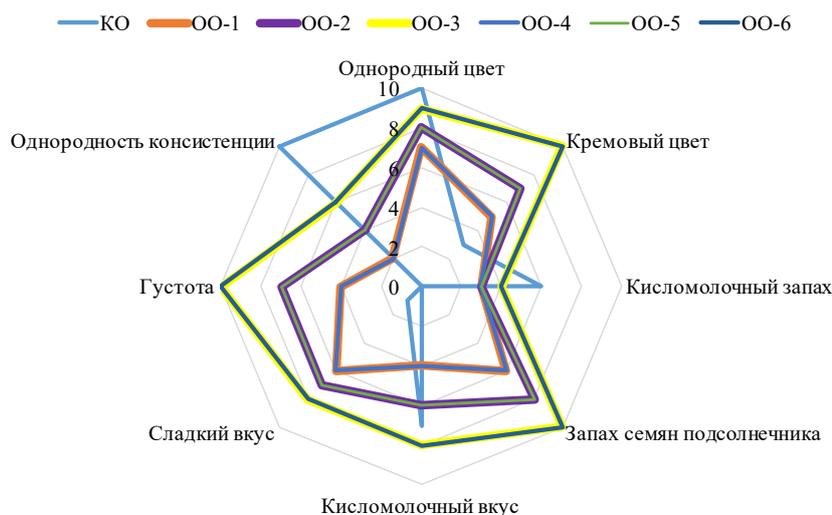


Рис. 4. Результаты органолептической оценки

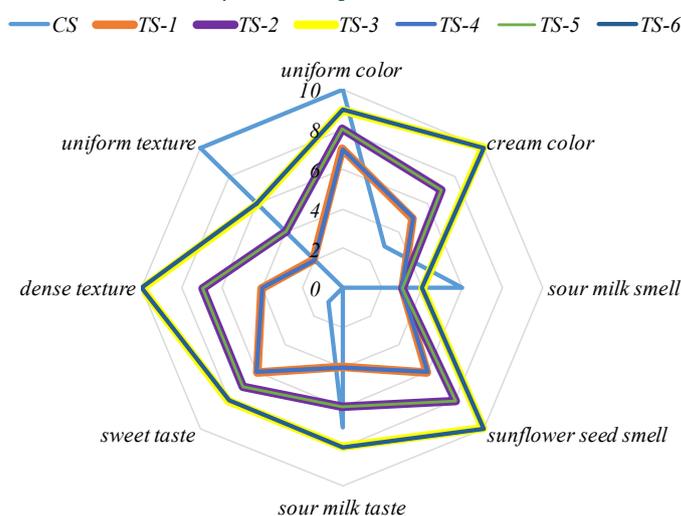


Fig. 4. Results of organoleptic evaluation

Анализ графиков показал, что внесение белковых композиций оказывает стимулирующее действие на кислотообразующую активность пробиотических культур. В то время как контрольный образец (без добавок) к 6 часам достиг кислотности всего 29 °Т, все опытные образцы показали значительно более высокую динамику. Наибольшую активность проявили образцы с 15 % добавки, которые к 5 часам ферментации превысили значение 90 °Т, а к 6 часам достигли 120 °Т и превысили это значение, что соответствует требованиям ГОСТ 32923-2014 (80–120 °Т) для обогащенных пробиотиками продуктов и превышает их. Наблюдалась прямая зависимость между концентрацией белковой добавки и скоростью кислотонакопления.

Микроскопическое исследование подтвердило стимулирующее влияние белковых добавок на рост пробиотической микрофлоры (рис. 3). В контрольном образце наблюдались низкая численность и слабая активность клеток. С увеличением дозировки белковой композиции (от 5 % до 15 %) отмечались рост плотности микробной популяции, улуч-

шение морфологического состояния клеток (четкие контуры, хорошая окрашиваемость) и образование цепочек, что свидетельствует об активном росте и делении.

Органолептическая оценка (рис. 4) выявила формирование у обогащенных образцов специфического аромата семян подсолнечника, интенсивность которого зависела от дозы добавки. Образцы с 15 % белковой композиции, достигшие высокой кислотности (> 120 °Т), приобрели сладковатый вкусовой оттенок с легким кисломолочным привкусом в отличие от нейтрального вкуса контрольного образца.

Визуально все опытные образцы отличались от контрольного большей мутностью и плотностью. Наибольшую густоту и непрозрачный кремовый оттенок имели образцы с 15 % добавки, консистенция которых приближалась к густому питьевому йогурту (рис. 5).

Расчетная массовая доля белка в готовых образцах пропорционально увеличивалась с ростом доли внесенной композиции (таблица 3).

Таблица 3

Массовая доля белка в опытных образцах ферментированного напитка

Образец	Используемая композиция	Доля композиции, %	Массовая доля белка в композиции, %	Массовая доля белка, вносимая композицией в образец, %
ОО-1	№ 1	5	66,45	3,32
ОО-2	№ 1	10	66,45	6,65
ОО-3	№ 1	15	66,45	9,97
ОО-4	№ 2	5	67,25	3,36
ОО-5	№ 2	10	67,25	6,73
ОО-6	№ 2	15	67,25	10,09

Table 3

Mass fraction of protein in experimental samples of fermented beverage

Sample	Composition used	Composition proportion, %	Protein mass fraction in composition, %	Protein mass fraction contributed by the composition to the sample, %
TS-1	No. 1	5	66.45	3.32
TS-2	No. 1	10	66.45	6.65
TS-3	No. 1	15	66.45	9.97
TS-4	No. 2	5	67.25	3.36
TS-5	No. 2	10	67.25	6.73
TS-6	No. 2	15	67.25	10.09

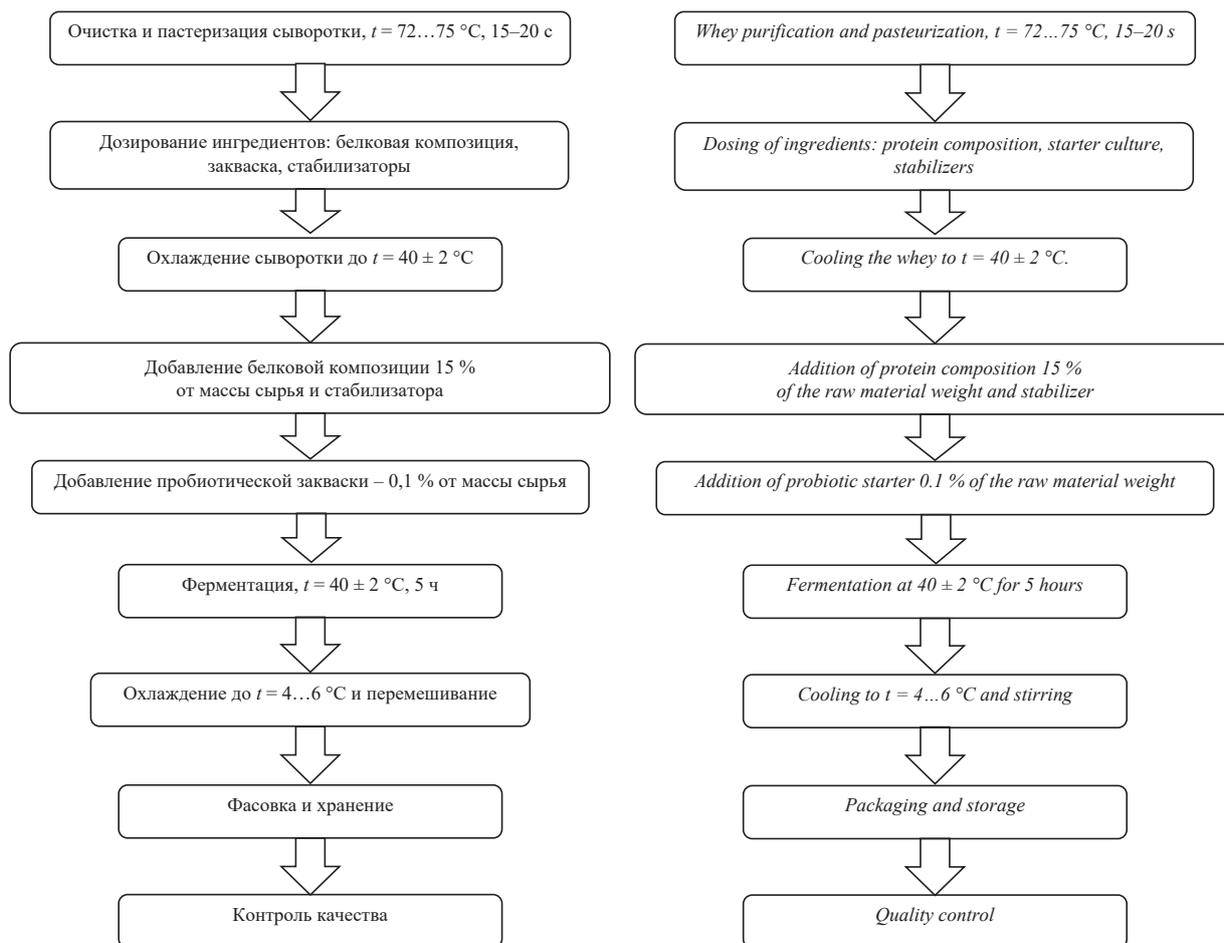


Рис. 6. Технологическая схема производства ферментированного напитка на основе творожной сыворотки с композицией растительных белков

Fig. 6. Flow chart for the production of a fermented drink based on curd whey with a composition of vegetable proteins

Таким образом, внесение 15 % белковой композиции позволяет получить ферментированный напиток с массовой долей белка около 10%, что соответствует критериям высокобелкового продукта.

На основании полученных данных была разработана технологическая схема производства ферментированного напитка (рис. 5) и определены оптимальные технологические параметры: внесение 15 % оптимизированной белковой композиции (№ 1 или № 2) и продолжительность ферментации 5 часов при температуре $(40 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Данный режим обеспечивает достижение требуемой кислотности (не менее $90 ^\circ\text{T}$), высокую численность пробиотической микрофлоры, формирование оптимальной густой консистенции и повышенное содержание белка в готовом продукте.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенное исследование подтвердило перспективность комбинирования творожной сыворотки и растительных белков для получения высокобелкового ферментированного напитка функциональной направленности. Установлена технологическая целесообразность обогащения творожной сыворотки композицией растительных белков (подсолнечного, горохового, белка грецкого ореха, белка абрикосовой косточки). Добавление в количестве

15 % от массы сырья является оптимальным, обеспечивая интенсивное протекание ферментации, достижение требуемой кислотности (более $90 ^\circ\text{T}$ за 5 ч) и формирование привлекательных органолептических свойств. Доказано положительное влияние белковой композиции на рост и активность пробиотических культур, что подтверждается данными микроскопии и динамики титруемой кислотности. Разработаны рецептура и технология производства высокобелкового ферментированного напитка, обеспечивающие массовую долю белка на уровне 10 %. Продукт соответствует критериям функционального питания, обладает сбалансированным аминокислотным профилем и обогащен пробиотиками. Определена практическая значимость работы, заключающаяся в создании конкурентоспособного продукта, который решает две актуальные задачи: рациональную переработку вторичного молочного сырья (сыворотки) и удовлетворение спроса на гибридные растительно-молочные продукты для здорового и спортивного питания.

Таким образом, результаты работы являются научно обоснованными и открывают возможность для промышленной реализации технологии производства функционального ферментированного напитка на основе творожной сыворотки и композиции растительных белков.

Библиографический список

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 880 [Электронный ресурс]. URL: http://www.eurasiancommission.org/ru/Documents/TR_TS_021_2011.pdf (дата обращения: 12.01.2026).
2. Анализ рынка кисломолочных продуктов в России в 2020–2024 гг., прогноз на 2025–2029 гг. Структура розничной торговли [Электронный ресурс]. URL: <https://businessstat.ru/catalog/id8467/> (дата обращения: 13.01.2026).
3. Анализ рынка спортивного питания в России в 2020–2024 гг., прогноз на 2025–2029 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://businessstat.ru/catalog/id75679> (дата обращения: 13.01.2026).
4. Растительное молоко: тренды рынка, технологии и сравнение с традиционным молоком [Электронный ресурс]. URL: <https://fermasclad.ru/blog/novosti-i-issledovaniya-v-molochnoy-industrii/rastitelnoe-moloko-trendy-rynka-tehnologii-i-sravnenie-s-traditsionnym-molokom> (дата обращения: 13.01.2026).
5. Кочетова А.С. Производство продуктов животноводства в Российской Федерации в 2024 году: Бюллетень Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. – М.: URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1770189087&tld=ru&lang=ru&name=PROD_2024.xlsx&text (дата обращения: 13.01.2026).
6. Обзор российского рынка молочной сыворотки. Май 2025. Прогноз развития до 2029 года [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/aHZHNrZzJw4g2gTB?ysclid=ml7otr71cw462357057> (дата обращения: 13.01.2026).
7. Паладий И. В., Врабие Е. Г., Спринчан К. Г., Болога М. К. Молочная сыворотка: обзор работ. Часть 1. Классификация, состав, свойства, производные, применение [Электронный ресурс]. ЭОМ. 2021; 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/molochnaya-syvorotka-obzor-rabot-chast-1-klassifikatsiya-sostav-svoystva-proizvodnye-primeneniye> (дата обращения: 12.01.2026).
8. Agarkova E. Yu., Ryazantseva K. A., Kruchinin A. G. Anti-diabetic activity of whey proteins // Food Processing Techniques and Technology. 2020. Vol. 50 (2). Pp. 306–318. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-2-306-318.
9. Витушкина М. А., Дулепова М. А. Сывороточные белки молока и их свойства // Вестник науки. 2020. № 8 (29). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/syvorotochnye-belki-moloka-i-ih-svoystva> (дата обращения: 12.01.2026).

10. Khramtsov A. G. Innovative solutions in milk whey production // Food Processing: Techniques and Technology. 2018. Vol. 3. Pp. 5–15. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-3-5-15.
11. Pöri P., Lille M., Edelmann M., Aisala H., Santangelo D., Coda R., Sozer N. Technological and sensory properties of plant – based meat analogues containing fermented sunflower protein concentrate // Future Foods. 2023. Vol. 8, No. 3. Article number 100244. DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100244.
12. Lille M., Edelmann M., Aisala H., et al. Characterising the composition and physicochemical properties of legume and oilseed protein concentrates to evaluate their potential for high-moisture extrusion processing // Future Foods. 2025. Vol. 12. Article number 100769. DOI: 10.1016/j.fufo.2025.100769.
13. Шагинова Л. О., Крылова И. В., Демьяненко Т. Ф., Доморощенкова М. Л. Исследование процесса получения белкового препарата из семян подсолнечника для использования в пищевой промышленности // Новые технологии. 2021. Т. 17, № 3. С. 41–50. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-3-41-50.
14. Vartiya P., Kashyap P., Raj B., Sharma M., Adnan M., Ashraf S.A., Mehra R. Modeling and optimization of protein extraction from sunflower seed Cake: RSM and ANN-GA approaches // Journal of Agriculture and Food Research. 2025. Vol. 22. Article number 102088. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.102088.
15. Колпакова В. В., Уланова Р. В., Куликов Д. С., Ушкова В. А., Семенов Т. В., Певзнер Л. В. Показатели качества гороховых и тыквенных белковых концентратов // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52, № 4. С. 649–664. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2394.
16. Zhou J., Wang J., Xia W., Peng Y., Yang J., Jin W., Peng D. Functionalizing walnut protein via consecutive purification and ultrasound modification: Self-assembled structure and interfacial properties // Ultrasonics Sonochemistry. 2025. Vol. 120. Article number 107490. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2025.107490.
17. Ojha P., Xia T., Liangfu Z., Qinghai S., Chitrakar B., Karki R., Jianxin T., Jielin L. Unlocking the nutritional profile of apricot (*Prunus armeniaca L*) kernel as a valuable by-product for future exploration // Future Foods. 2025. Vol. 11. Article number 100632. DOI: 10.1016/j.fufo.2025.100632.
18. Кулаков В. Г., Капустин С. В. Применение извлеченных белков из растительного сырья в функциональном и специализированном питании // Овощи России. 2017. № 5. С. 84–87. DOI: 10.18619/2072-9146-2017-5-84-87.
19. Юшков С. Разработка комплексного состава растительных белков, имеющего полноценный набор аминокислот // Бизнес пищевых ингредиентов. 2018. № 1. С. 22–27.
20. Wang W., Liu Y., Liu M., Gao F., Xia B., Zhao R., Yin X., Wang C. Partially substituting whey protein by rice protein hydrolysate to fabricate emulsions: Physicochemical properties, stability and digestion behavior // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2025. Vol. 255. Article number 114917. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2025.114917.
21. Petrariu O.-A., Barbu I.C., Niculescu A.-G., Constantin M., Grigore A. G., Cristian R.-E., Mihaescu G., Vrancianu C. O. Role of probiotics in managing various human diseases, from oral pathology to cancer and gastrointestinal diseases // Frontiers in Microbiology. 2024. Vol. 14. Article number 1296447. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1296447.
22. Плотникова Е. Ю., Захарова Ю. В. Пробиотики в современной медицинской практике: от мифов к научным доказательствам // Медицинский совет. 2025. № 19 (11). С. 197–204. DOI: 10.21518/ms2025-278.
23. Verma D. K., Patel A. R., Tripathy S., Gupta A. K., Singh S., Shah N., Utama G. L., Chávez-González M. L., Zongo K., Banwo K., Niamah A. K., Aguilar C. N. Processing and formulation technology of nutritional and functional food products by utilizing cheese and/or paneer whey: a critical review // Journal of King Saud University Science. 2024. Vol. 36. Article number 103508. DOI: 10.1016/j.jksus.2024.103508.
24. Norouzi Z., Nateghi L., Rashidi L., Movahhed S. Fortification of fermented soy milk using whey protein isolate/gelatin microhydrogels-loaded with sesame bioactive peptides // Food Chemistry: X. 2025. Vol. 31. Article number 103061. DOI: 10.1016/j.fochx.2025.103061.
25. Смирнова Е. С., Мельникова Е. О., Ражина Е. В., Лопаева Н. Л., Чепуштанова О. В. Разработка рецептуры и технология производства напитка на основе творожной сыворотки с добавлением фруктово-растительного сырья // Новые технологии. 2025. Т. 21, № 2. С. 78–90. DOI: 10.47370/2072-0920-2025-21-2-78-90.
26. Шавыркина Н. А., Обрезкова М. В., Школьникова М. Н. Характеристика ферментированных напитков на основе молочной сыворотки и фруктового сока // Вестник КрасГАУ. 2018. № 2. С. 112–117.
27. Патент РФ № 2 800 121 С1. Сывороточный напиток / Денисов С. В.; заявитель и патентообладатель РОСБИОТЕХ. Заявка № 2022121849 от 11.08.2022. Оpubл. 18.07.2023, Бюл. № 20.
28. Chen L., Wu D., Schlundt J., Conway P. L. Development of a dairy-free fermented oat-based beverage with enhanced probiotic and bioactive properties // Frontiers in Microbiology. 2020. Vol. 11. Article number 609734. DOI: 10.3389/fmicb.2020.609734.
29. El-Batawy O. I., Mahdy S. M., Gohari S. T. Development of functional fermented oat milk by using probiotic strains and whey protein // International Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 14 (1). Pp. 21–28.

30. ГОСТ 32923-2014. Продукты кисломолочные, обогащенные пробиотическими микроорганизмами. Технические условия. Москва: Стандартинформ, 2015. 16 с.

Об авторах:

Светлана Викторовна Стасюк, магистр биотехнологии, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск, Россия; ORCID 0009-0004-3600-465X, AuthorID 9378-2784. E-mail: svlanast@mail.ru

Оксана Владимировна Зинина, доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевые и биотехнологии», Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Челябинск; профессор кафедры биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624. E-mail: zininaov@susu.ru

Ольга Петровна Неверова, кандидат биологических наук, заведующая кафедрой биотехнологии и пищевых продуктов, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. E-mail: opneverova@mail.ru

References

1. *Technical Regulation of the Customs Union TR CU 021/2011 "On the safety of food products"* (adopted by Decision of the Customs Union Commission No. 880 of December 9, 2011) [Internet]. 2011 [cited 2026 Jan 12]. Available from: http://www.eurasiancommission.org/ru/Documents/TR_TS_021_2011.pdf. (In Russ.)
2. *Analysis of the fermented milk products market in Russia in 2020–2024, Forecast for 2025–2029. Retail Trade Structure* [Internet] [cited 2026 Jan 13]. Available from: <https://businessstat.ru/catalog/id8467>. (In Russ.)
3. *Analysis of the sports nutrition market in Russia in 2020–2024, Forecast for 2025–2029* [Internet] [cited 2026 Jan 13]. Available from: <https://businessstat.ru/catalog/id75679>. (In Russ.)
4. *Plant-based milk: market trends, technologies, and comparison with traditional milk* [Internet] [cited 2026 Jan 13]. Available from: <https://fermasclad.ru/blog/novosti-i-issledovaniya-v-molochnoy-industrii/rastitelnoe-moloko-trendy-rynka-tekhnologii-i-sravnenie-s-traditsionnym-molokom>. (In Russ.)
5. Kochetova A. S. *Production of livestock products in the Russian Federation in 2024: Bulletin of the Federal State Statistics Service* [Internet] [cited 2026 Jan 13]. Available from: <https://fermasclad.ru/blog/novosti-i-issledovaniya-v-molochnoy-industrii/rastitelnoe-moloko-trendy-rynka-tekhnologii-i-sravnenie-s-traditsionnym-molokom>. (In Russ.)
6. *Overview of the Russian dairy whey market. May 2025. Development Forecast until 2029* [Internet] [cited 2026 Jan 13]. Available from: <https://dzen.ru/a/aHZHNrZzJw4g2gTB?ysclid=ml7otr71cw462357057>. (In Russ.)
7. Paladij I. V., Vrabie E. G., Sprinchan K. G., Bologna M. K. *Whey: a review of research. Part 1. Classification, composition, properties, derivatives, and applications. EOM. 2021* [cited 2026 Jan 12]; 1. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/molochnaya-syvorotka-obzor-rabot-chast-1-klassifikatsiya-sostav-svoystva-proizvodnye-primenenie>. (In Russ.)
8. Agarkova E. Yu., Ryazantseva K. A., Kruchinin A. G. Anti-diabetic activity of whey proteins. *Food Processing Techniques and Technology*. 2020; 50 (2): 306–318. DOI: 10.21603/2074-9414-2020-2-306-318.
9. Vitushkina M. A., Dulepova M. A. Whey proteins and their properties. *Herald of Science*. 2020 [cited 2026 Jan 12]; 8 (29). Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/syvorotochnye-belki-moloka-i-ih-svoystva>. (In Russ.)
10. Khramtsov A. G. Innovative solutions in milk whey production. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2018; 3: 5–15. DOI: 10.21603/2074-9414-2018-3-5-15.
11. Pöri P., Lille M., Edelmann M., Aisala H., Santangelo D., Coda R., Sozer N. Technological and sensory properties of plant – based meat analogues containing fermented sunflower protein concentrate. *Future Foods*. 2023; 8 (3): 100244. DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100244.
12. Lille M., Edelmann M., Aisala H., et al. Characterising the composition and physicochemical properties of legume and oilseed protein concentrates to evaluate their potential for high-moisture extrusion processing. *Future Foods*. 2025; 12: 100769. DOI: 10.1016/j.fufo.2025.100769.
13. Shaginova L. O., Krylova I. V., Demyanenko T. F., Domoroshchenkova M. L. Study of a process of obtaining of protein preparation from sunflower seeds for application in food industry. *New Technologies*. 2021; 17 (3): 41–50. DOI: 10.47370/2072-0920-2021-17-3-41-50. (In Russ.)
14. Vartiya P., Kashyap P., Raj B., Sharma M., Adnan M., Ashraf S.A., Mehra R. Modeling and optimization of protein extraction from sunflower seed Cake: RSM and ANN-GA approaches. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2025; 22: 102088. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.102088.
15. Kolpakova V. V., Ulanova R. V., Kulikov D. S., Gulakova V. A., Semenov G. V., Shevyakova L. V. Pea and chickpea protein concentrates: quality indicators. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2022; 52 (4): 649–664. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2394. (In Russ.)

16. Zhou J., Wang J., Xia W., Peng Y., Yang J., Jin W., Peng D. Functionalizing walnut protein via consecutive purification and ultrasound modification: Self-assembled structure and interfacial properties. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2025; 120: 107490. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2025.107490.
17. Ojha P., Xia T., Liangfu Z., Qinghai S., Chitrakar B., Karki R., Jianxin T., Jieli L. Unlocking the nutritional profile of apricot (*Prunus armeniaca* L.) kernel as a valuable by-product for future exploration. *Future Foods*. 2025; 11: 100632. DOI: 10.1016/j.fufo.2025.100632.
18. Kulakov V. G., Kapustin S. V. Utilization of plant proteins in functional nutrition. *Vegetable crops of Russia*. 2017; 5: 84–87. DOI: 10.18619/2072-9146-2017-5-84-87. (In Russ.)
19. Yushkov S. Development of a complex composition of vegetable proteins having a full set of amino acids. *Business of Food Ingredients*. 2018; 1: 22–27.
20. Wang W., Liu Y., Liu M., Gao F., Xia B., Zhao R., Yin X., Wang C. Partially substituting whey protein by rice protein hydrolysate to fabricate emulsions: Physicochemical properties, stability and digestion behavior. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2025; 255: 114917. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2025.114917.
21. Petrariu O.-A., Barbu I.C., Niculescu A.-G., Constantin M., Grigore A. G., Cristian R.-E., Mihaescu G., Vrancianu C. O. Role of probiotics in managing various human diseases, from oral pathology to cancer and gastrointestinal diseases. *Frontiers in Microbiology*. 2024; 14: 1296447. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1296447.
22. Plotnikova E. Yu., Zakharova Yu. V. Probiotics in current medical practice: from myths to scientific evidence. *Medical Council*. 2025; 19 (11): 197–204. DOI: 10.21518/ms2025-278. (In Russ.)
23. Verma D. K., Patel A. R., Tripathy S., Gupta A. K., Singh S., Shah N., Utama G. L., Chávez-González M. L., Zongo K., Banwo K., Niamah A. K., Aguilar C. N. Processing and formulation technology of nutritional and functional food products by utilizing cheese and/or paneer whey: A critical review. *Journal of King Saud University Science*. 2024; 36: 103508. DOI: 10.1016/j.jksus.2024.103508.
24. Norouzi Z., Nateghi L., Rashidi L., Movahhed S. Fortification of fermented soy milk using whey protein isolate/gelatin microhydrogels-loaded with sesame bioactive peptides. *Food Chemistry: X*. 2025; 31: 103061. DOI: 10.1016/j.fochx.2025.103061.
25. Smirnova E. S., Melnikova E. O., Razhina E. V., Lopayeva N. L., Chepushtanova O. V. Formulation development and production technology for a drink based on curd whey with the addition of fruit and vegetable raw materials. *New technologies*. 2025; 21 (2): 78–90. DOI: 10.47370/2072-0920-2025-21-2-78-90.
26. Shavyrkina N. A., Obrezkova M. V., Shkolnikova M. N. The characteristics of fermented beverages on the basis of lactoserum and fruit juice. *Bulletin of KSAU*. 2018; 2: 112–117.
27. Patent RF No. 2 800 121 C1. Whey drink / Denisov S. V.; applicant and patent holder ROSBIOTEKH. Application No. 2022121849 dated August 11, 2022. Published July 18, 2023, Bulletin No. 20. (In Russ.)
28. Chen L., Wu D., Schlundt J., Conway P. L. Development of a dairy-free fermented oat-based beverage with enhanced probiotic and bioactive properties. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 609734. DOI: 10.3389/fmicb.2020.609734.
29. El-Batawy O. I., Mahdy S. M., Gohari S. T. Development of Functional Fermented Oat Milk by Using Probiotic Strains and Whey Protein. *International Journal of Dairy Science*. 2019; 14 (1): 21–28.
30. GOST 32923-2014. Fermented milk products enriched with probiotic microorganisms. Specifications. Moscow: Standartinform, 2015. 16 p. (In Russ.)

About the authors:

Svetlana V. Stasyuk, master of science (biotechnology), South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia; ORCID 0009-0004-3600-465X, AuthorID 9378-2784. *E-mail: svlanast@mail.ru*

Oksana V. Zinina, doctor of technical sciences, professor, department of food and biotechnology, South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, professor, department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0003-3729-1692, AuthorID 654624. *E-mail: zininaov@susu.ru*

Olga P. Neverova, candidate of biological sciences, head of the department of biotechnology and food products, Ural State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia; ORCID 0000-0002-2474-2290, AuthorID 393632. *E-mail: opneverova@mail.ru*