Вестник ВГУИТ/ Proceedings of VSUET ISSN 2226-910X E-ISSN 2310-1202
DOI: http://doi.org/10.20914/2310-1202-2026-3-205-210 Оригинальная статья/Research article
УДК 637.05 Open Access Available online at vestnik-vsuet.ru

Гидролиз белков нативной сыворотки для получения биологически активных пептидов

Светлана А. Кузнецова [1] s.kuznetsova@molvest.ru Место для ввода текста.
Елена И. Мельникова [2] melnikova@molvest.ru 0000-0002-3474-2534
Екатерина Б. Станиславская [2] tereshkova-katia@ya.ru 0000-0002-0955-6238

1 Филиал ПАО Молочный комбинат «Воронежский» «Калачеевский» сырзавод, ул. Космонавтов, 7, п. Пригородный, Калачеевский р-н, Воронежская обл., Россия
2 Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Перспективным источником для выделения биологически активных пептидов являются побочные продукты молочной отрасли. Нативная сыворотка представляет собой фильтрат, образующийся в процессе микрофильтрации обезжиренного молока в производстве концентрата мицеллярного казеина. Цель работы - обоснование рациональных режимов получения комплекса биологически активных пептидов на основе нативной сыворотки. В работе использовали стандартные и общепринятые в исследовательской практике методы исследований. Оценку фракционного состава образующихся пептидов проводили хроматографическим методом. Степень гидролиза белка оценивали как выраженное в процентах количество расщепленных в белке пептидных связей по отношению к общему числу пептидных связей в этом белке. Биоинформатическое моделирование гидролиза белков нативной сыворотки, а также анализ полученных пептидов осуществляли с помощью алгоритмов BIOPEP-UWM. Основными белковыми фракциями нативной сыворотки являются как сывороточные белки, так и фракция β-казеина. С учетом особенностей состава нативной сыворотки, было проведено биоинформатическое моделирование гидролиза ее белковых фракций различными эндопептидазами. Установлено, что наименьшее количество эпитопов и горьких пептидов образуется при гидролизе белков нативной сыворотки ферментом химотрипсин. Степень гидролиза зависела от продолжительности процесса и повышалась, достигнув значения в 25±1 %, спустя 4,0 ч ферментации. Для выбора оптимальных условий проведения гидролиза исследовали влияние активной кислотности и температуры реакционной среды на фракционный состав образующихся пептидов. Установлено, что наибольшее суммарное количество мелких пептидных фракций образуется при значении активной кислотности реакционной среды 8,0 ед.pH. То же можно наблюдать и при температуре 40 °С.

Ключевые слова: нативная сыворотка, биологически активные пептиды, эндопептидазы, химотрипсин, условия гидролиза.

Hydrolysis of native whey proteins to obtain biologically active peptides

Svetlana A. Kuznetsova [1] s.kuznetsova@molvest.ru Место для ввода текста.
Elena I. Melnikova [2] melnikova@molvest.ru 0000-0002-3474-2534
Ekaterina B. Stanislavskaya [2] tereshkova-katia@ya.ru 0000-0002-0955-6238

1 Branch of PJSC Voronezh Dairy Plant, Kalacheevsky Cheese Factory, 7 Kosmonavtov St., Prigorodny settlement, Kalacheevsky 2 District, Voronezh Region, Russia
Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. Dairy industry byproducts offer a promising source for isolating biologically active peptides. Native whey is a filtrate formed during the microfiltration of skim milk during the production of micellar casein concentrate. The aim of this study was to substantiate rational modes for producing a complex of biologically active peptides from native whey. Standard and generally accepted research methods were used. The fractional composition of the resulting peptides was assessed using chromatography. The degree of protein hydrolysis was assessed as the percentage of peptide bonds cleaved in the protein relative to the total number of peptide bonds in this protein. Bioinformatic modeling of native whey protein hydrolysis and analysis of the resulting peptides were performed using BIOPEP-UWM algorithms. The main protein fractions of native whey are both whey proteins and the β-casein fraction. Taking into account the compositional characteristics of native whey, bioinformatic modeling of the hydrolysis of its protein fractions by various endopeptidases was conducted. It was found that the smallest number of epitopes and bitter peptides is formed during the hydrolysis of native whey proteins by the enzyme chymotrypsin. The degree of hydrolysis depended on the duration of the process and increased, reaching 25±1% after 4.0 hours of fermentation. To select optimal hydrolysis conditions, the influence of the active acidity and temperature of the reaction medium on the fractional composition of the resulting peptides was studied. It was found that the greatest total number of small peptide fractions is formed at an active acidity of the reaction medium of 8.0 pH units. The same is true at a temperature of 40°C.

Keywords: native serum, biologically active peptides, endopeptidases, chymotrypsin, hydrolysis conditions.

Для цитирования
Кузнецова С.А., Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б. Гидролиз белков нативной сыворотки для получения биологически активных пептидов // Вестник ВГУИТ. 2026. Т. 88. № 3. С. 205–210. doi:10.20914/2310-1202-2026-3-205-210

For citation
Kuznetsova S.A., Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B. Hydrolysis of native whey proteins to obtain biologically active peptides. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2026. vol. 88. no. 3. pp. 205–210. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2026-3-205-210

© 2026, Кузнецова С.А. и др. / Kuznetsova S.A. et al.
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

Молочные белки являются перспективным источником биологически активных пептидов, зашифрованных в их первичных аминокислотных последовательностях [1–3]. Выделение биологически активных пептидов происходит в организме человека под действием ферментов ЖКТ, при сквашивании молочного сырья некоторыми заквасочными культурами, а также путем направленного ферментативного гидролиза [4–7]. Известно, что некоторые из образующихся пептидов характеризуются опиоидными, иммуномодулирующими, антимикробными, антитромботическими, противоопухолевыми и антигипертензивными свойствами [8–10]. Одной из важных задач пищевой промышленности является разработка новых специализированных продуктов питания, обогащенных биологически активными пептидами, в том числе и как к альтернатива традиционным лекарственным препаратам.

Перспективным источником для выделения биологически активных пептидов являются побочные продукты молочной отрасли. Традиционно к ним относят молочную сыворотку (творожную, подсырную и казеиновую) и пахту. Развитие и внедрение инновационных способов переработки молочного сырья приводит появлению новых видов побочных продуктов отрасли, в частности, пермеаты или реже ретентаты, полученные в процессе ультра-, микро- и нанофильтрации. Нативная сыворотка представляет собой фильтрат, образующийся в процессе микрофильтрации обезжиренного молока в производстве концентрата мицеллярного казеина. Она характеризуется составом, схожим с подсырной сывороткой, но отличается отсутствием гликомакропептида [11]. Наличие значимого количества β-казеина наряду с сывороточными белками определяет интерес к этому виду вторичного молочного сырья как к источнику уникального комплекса биологически активных пептидов [12].

Для промышленного получения биологически активных пептидов применяют, как правило, ферментативный гидролиз [13–17]. Расщепление белковой молекулы происходит под действием эндо-, экзопептидаз, а также их сочетаний [18]. Выбор фермента зависит от многих факторов: белкового состава сырья и специфичности фермента, предполагаемой степени гидролиза, уровня высвобождения горьких пептидов и свободных аминокислот, доступности на рынке коммерческих ферментных препаратов [19–20].

Цель работы – обоснование рациональных режимов получения комплекса биологически активных пептидов на основе нативной сыворотки.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассматривали концентрат сывороточных белков, полученный на основе нативной сыворотки в условиях пилотного цеха ПАО Молочный комбинат «Воронежский». Ферментативный гидролиз проводили ферментным препаратом химотрипсина, который применяли в соотношении фермент / субстрат 1:250. В работе использовали стандартные и общепринятые в исследовательской практике методы исследований. Массовую долю сухих веществ определяли гравиметрическим методом, белка – методом Кьельдаля, жира – кислотным методом Гербера, лактозы – поляриметрическим методом, золы – весовым методом после озоления пробы. Оценку фракционного состава образующихся пептидов проводили хроматографическим методом. Степень гидролиза белка оценивали как выраженное в процентах количество расщепленных в белке пептидных связей по отношению к общему числу пептидных связей в этом белке. Количество расщепленных пептидных связей определяли по содержанию аминного азота, определяемого спектрофотометрическим методом.

Значения представляли как средние значения ± стандартное отклонение от среднего значения для группы $n = 3 – 5$.

Биоинформатическое моделирование гидролиза белков нативной сыворотки, а также анализ полученных пептидов осуществляли с помощью алгоритмов BIOPEP-UWM.

Результаты

Традиционно для получения биологически активных пептидов из молока и продуктов его переработки в качестве сырьевого источника используются высококонцентрированные белковые формы: изоляты и концентраты. Для проведения гидролиза белков нативной сыворотки рассматривали нативный белковый изолят, состав и свойства которого представлены в таблице 1. Основными белковыми фракциями нативной сыворотки являются как сывороточные белки (β-лактоглобулин, α-лактальбумин), так и фракция β-казеина. С учетом особенностей состава нативной сыворотки, было проведено биоинформатическое моделирование гидролиза ее белковых фракций различными эндопептидазами. Установлено, что наименьшее количество эпитопов и горьких

пептидов образуется при гидролизе белков нативной сыворотки ферментом химотрипсин.

Комплекс образующихся биологически активных пептидов характеризуется такими биологическими функциями, как АПФ-ингибирующая, стимулирующая, иммуномодулирующая, противоопухолевая, антиоксидантная активность и др. (рисунок 1).

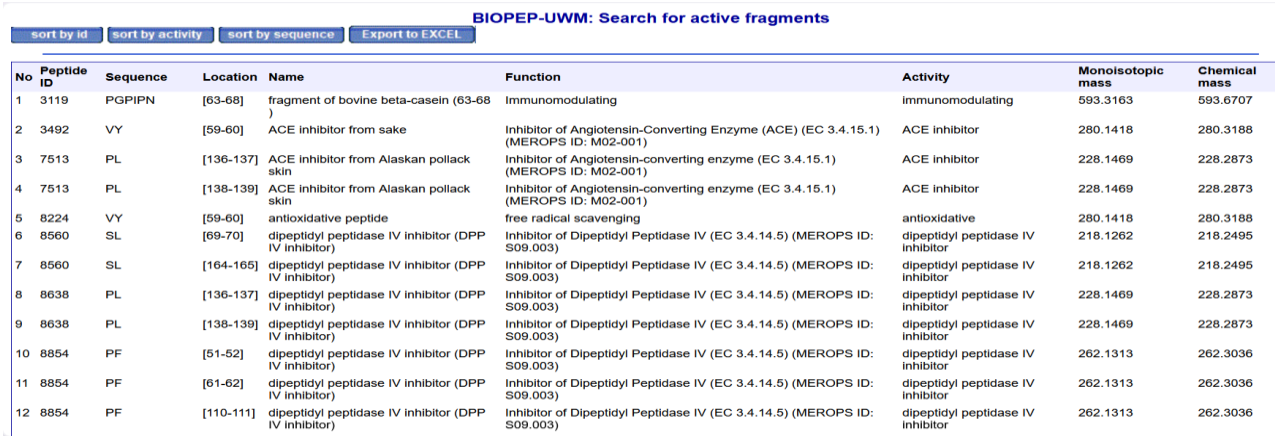
Таблица.1

Состав и свойства нативного белкового изолята

Table.1

Composition and properties of native protein isolate

Показатель | Indicator	Значение | Value
Внешний вид, цвет | Appearance, color	Мелкий порошок, цвет белый, однородный по всей массе Fine powder, white in color, uniform throughout the mass
Вкус и аромат | Taste and aroma	Чистый, слабо выраженный сывороточный, сладковатый, без посторонних привкусов и запахов Clean, slightly whey, sweetish, without foreign tastes or odors
Массовая доля влаги, % | Mass fraction of moisture, %	4,3 ± 0,5
Массовая доля белка, % | Mass fraction of protein, %	87,1 ± 0,8
Массовая доля жира, % | Mass fraction of fat, %	< 0,5
Массовая доля золы, % | Ash content, %	2,7 ± 0,16
pH	6,3 ± 0,1
Группа чистоты | Purity group	I
Индекс растворимости, $см^3$ сырого осадка Solubility index, cm^3 of wet sediment	< 0,1



BIOPEP-UWM: Search for active fragments

sort by id | sort by activity | sort by sequence | Export to EXCEL

No	Peptide ID	Sequence	Location	Name	Function	Activity	Monoisotopic mass	Chemical mass
1	3119	PGPIPN	[63-68]	fragment of bovine beta-casein (63-68)	Immunomodulating	immunomodulating	593.3163	593.6707
2	3492	VY	[59-60]	ACE inhibitor from sake	Inhibitor of Angiotensin-Converting Enzyme (ACE) (EC 3.4.15.1) (MEROPS ID: M02-001)	ACE inhibitor	280.1418	280.3188
3	7513	PL	[136-137]	ACE inhibitor from Alaskan pollack skin	Inhibitor of Angiotensin-converting enzyme (EC 3.4.15.1) (MEROPS ID: M02-001)	ACE inhibitor	228.1469	228.2873
4	7513	PL	[138-139]	ACE inhibitor from Alaskan pollack skin	Inhibitor of Angiotensin-converting enzyme (EC 3.4.15.1) (MEROPS ID: M02-001)	ACE inhibitor	228.1469	228.2873
5	8224	VY	[59-60]	antioxidative peptide	free radical scavenging	antioxidative	280.1418	280.3188
6	8560	SL	[69-70]	dipeptidyl peptidase IV inhibitor (DPP IV inhibitor)	Inhibitor of Dipeptidyl Peptidase IV (EC 3.4.14.5) (MEROPS ID: S09.003)	dipeptidyl peptidase IV inhibitor	218.1262	218.2495
7	8560	SL	[164-165]	dipeptidyl peptidase IV inhibitor (DPP IV inhibitor)	Inhibitor of Dipeptidyl Peptidase IV (EC 3.4.14.5) (MEROPS ID: S09.003)	dipeptidyl peptidase IV inhibitor	218.1262	218.2495
8	8638	PL	[136-137]	dipeptidyl peptidase IV inhibitor (DPP IV inhibitor)	Inhibitor of Dipeptidyl Peptidase IV (EC 3.4.14.5) (MEROPS ID: S09.003)	dipeptidyl peptidase IV inhibitor	228.1469	228.2873
9	8638	PL	[138-139]	dipeptidyl peptidase IV inhibitor (DPP IV inhibitor)	Inhibitor of Dipeptidyl Peptidase IV (EC 3.4.14.5) (MEROPS ID: S09.003)	dipeptidyl peptidase IV inhibitor	228.1469	228.2873
10	8854	PF	[51-52]	dipeptidyl peptidase IV inhibitor (DPP IV inhibitor)	Inhibitor of Dipeptidyl Peptidase IV (EC 3.4.14.5) (MEROPS ID: S09.003)	dipeptidyl peptidase IV inhibitor	262.1313	262.3036
11	8854	PF	[61-62]	dipeptidyl peptidase IV inhibitor (DPP IV inhibitor)	Inhibitor of Dipeptidyl Peptidase IV (EC 3.4.14.5) (MEROPS ID: S09.003)	dipeptidyl peptidase IV inhibitor	262.1313	262.3036
12	8854	PF	[110-111]	dipeptidyl peptidase IV inhibitor (DPP IV inhibitor)	Inhibitor of Dipeptidyl Peptidase IV (EC 3.4.14.5) (MEROPS ID: S09.003)	dipeptidyl peptidase IV inhibitor	262.1313	262.3036

Рисунок 1. Интерфейс работы базы BIOPEP-UWM с фрагментом перечня биологически активных пептидов, полученных в результате гидролиза β-казеина химотрипсином

Figure 1. Interface for the BIOPEP-UWM database with a fragment of the list of biologically active peptides obtained as a result of the hydrolysis of β-casein with chymotrypsin

Для проведения гидролиза белковый изолят восстанавливали до массовой доли сухих веществ 5%. Значение pH раствора составляло 5,8–6,8; для проведения гидролиза его корректировали добавлением 1М раствора гидроксида натрия. По окончании процесса ферментный препарат в составе гидролизата инактивировали нагреванием до температуры 80 – 85 ºС в течение 5–10 мин.

Как показали результаты исследования, степень гидролиза зависела от продолжительности процесса и повышалась, достигнув значения в 25 ± 1%, спустя 4,0 ч ферментации (рисунок 2).

Для выбора рациональных условий гидролиза исследовали влияние активной кислотности и температуры реакционной среды на фракционный состав образующихся пептидов. Для выбора оптимальных условий проведения гидролиза исследовали влияние активной кислотности и температуры реакционной среды на фракционный состав образующихся пептидов.

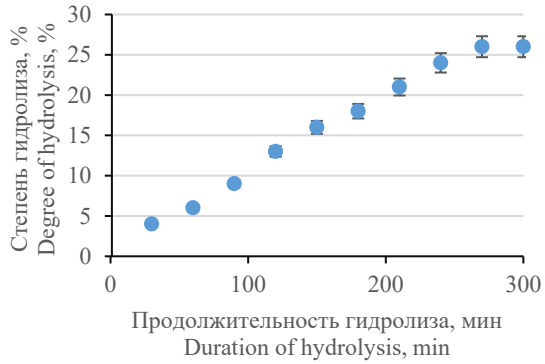


Рисунок 2. Степень гидролиза, полученная при обработке нативного белкового изолята химотрипсином

Figure 2. The degree of hydrolysis obtained by treating native protein isolate with chymotrypsin

Интервалы значений активной кислотности реакционной среды варьировали от 7 до 9 ед. pH (рисунок 3). Установлено, что наибольшее суммарное количество мелких пептидных фракций образуется при значении активной кислотности реакционной среды 8,0 ед. pH. То же можно наблюдать и при температуре 40 ° С (рисунок 4). В описанных условиях гидролизаты содержали наименьшее количество крупных белковых фракций, превышающих 20 кДа, а основная доля приходилась на фракции молекулярной массой менее 1,5 кДа.

Такие фракции характеризуются гипоаллергенностью, что повышает функциональность полученных гидролизатов.

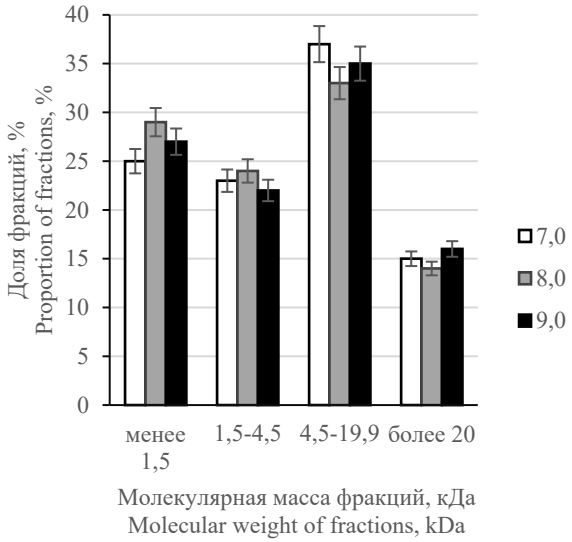


Рисунок 3. Влияние pH реакционной среды на распределение пептидных фракций по размерам

Figure 3. The influence of pH of the reaction medium on the size distribution of peptide fractions

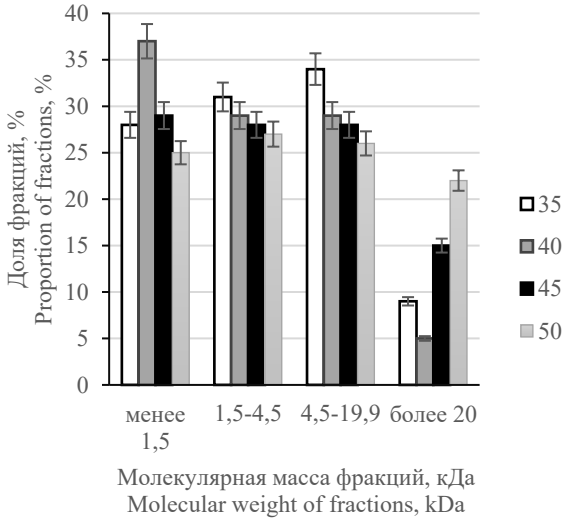


Рисунок 4. Влияние температуры процесса гидролиза на распределение пептидных фракций по размерам

Figure 4. The influence of hydrolysis temperature on the size distribution of peptide fractions

Заключение

С помощью инструментов базы данных BIOPEP-UWM подобран фермент для эффективного выделения комплекса биологически активных пептидов нативной сыворотки – химотрипсин. Экспериментально обоснованы рациональные режимы получения комплекса биологически активных пептидов, позволяющие получить наибольшее количество низкомолекулярных фракций: температура 40 ± 2 ºС, активная кислотность – 8,0 ед. pH.

Литература

1 Артемова Е.Н., Власова К.В. Особенности белков муки семян тыквы различных сортов как эмульгаторов // Вестник Камчатского ГТУ. 2022. № 60. С. 6–17. doi: 10.17217/2079-0333-2022-60-6-17

2 Ma S., Ye A., Singh H., Acevedo-Fani A. Emulsifying properties of hemp and whey protein complexes achieved by microparticulation // Food Hydrocolloids. 2026. V. 171. P. 111833. doi: 10.1016/j.foodhyd.2025.111833

3 Aloo S.O., Mwiti G., Ngugi L.W., Oh D.H. Uncovering the secrets of industrial hemp in food and nutrition: The trends, challenges, and new-age perspectives // Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2024. V. 64. № 15. P. 5093–5112. doi: 10.1080/10408398.2022.2149468

4 Письменный С.А., Варивода А.А. Разработка технологии эмульсионных продуктов с белково-углеводной композицией // Ползуновский вестник. 2022. № 1. С. 15–22. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.002

5 Потороко И.Ю., Паймулина А.В. Биоактивность эмульсий Пикеринга в пищевой матрице: теория и практика // Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2023. Т. 11. № 1. С. 35–45. doi: 10.14529/food230104

6 Потороко И.Ю., Паймулина А.В., Кади А.М.Я. Перспективы применения эмульсий пикеринга в пищевых системах // Вестник ЮУрГУ. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2022. Т. 10. № 1. С. 15–22. doi: 10.14529/food220102

7 Zhao C., Chen N., Ashaolu T.J. Whey proteins and peptides in health-promoting functions – A review // International Dairy Journal. 2022. V. 126. P. 105269. doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105269

8 Sutantawong S., Kim B.J., Kuhfeld R.F. et al. Release of bioactive peptides from whey proteins across digestion in adult humans and a static in vitro digestion model // Journal of Functional Foods. 2024. V. 122. P. 106540. doi: 10.1016/j.jff.2024.106540

9 Giglio B.M., Lobo P.C.B., Pimentel G.D. Effects of whey protein supplementation on adiposity, body weight, and glycemic parameters: A synthesis of evidence // Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. 2023. V. 33. № 2. P. 258–274. doi: 10.1016/j.numecd.2022.09.014

10 Munkh-Gantumur A., Sukhbaatar N., Jiang Q. et al. Effect of modified fermented whey protein fortification on the functional, physical, microstructural, and sensory properties of low-fat yogurt // Food Control. 2024. V. 155. P. 110032. doi: 10.1016/j.foodcont.2023.110032

11 Triani R., Foegeding E.A. Heat stability of whey protein ingredients based on state diagrams // International Dairy Journal. 2019. V. 91. P. 25–35. doi: 10.1016/j.idairyj.2018.12.006

12 Гунькова П.И., Горбатова К.К. Биотехнологические свойства белков молока. СПб.: ГИОРД, 2015. 216 с.

13 Dybowska B.E. Whey protein-stabilized emulsion properties in relation to thermal modification of the continuous phase // Journal of Food Engineering. 2011. V. 104. № 1. P. 81–88. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.11.030

14 Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б. Применение микропартикулята сывороточных белков в технологии полутвердых сыров // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 4. С. 129–140. doi: 10.36107/spfp.2019.199

15 Grossmann L., Beicht M., Reichert C., Weiss J. Foaming properties of heat-aggregated microparticles from whey proteins // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2019. V. 579. P. 123572. doi: 10.1016/j.colsurfa.2019.06.037

16 Torres I.C., Amigo J.M., Knudsen J.C. et al. Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer // International Dairy Journal. 2018. V. 81. P. 62–71. doi: 10.1016/j.idairyj.2018.01.004

17 Мельникова Е.И., Станиславская Е.Б., Шабалова Е.Д. Функционально-технологические свойства термостабильного концентрата сывороточных белков // Вестник ВГУИТ. 2022. Т. 84. № 2 (92). С. 52–56. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-52-56

18 Крусь Г.Н., Шалыгина А.М., Волокитина З.В. Методы исследования молока и молочных продуктов. М., 2000. 368 с.

19 Ortiz D.G., Pochat-Bohatier C., Cambedouzou J. et al. Current trends in Pickering emulsions: particle morphology and applications // Engineering. 2020. V. 6. № 4. P. 468–482. doi: 10.1016/j.eng.2019.08.017

20 Millqvist-Fureby A., Elofsson U., Bergenståhl B. Surface composition of spray-dried milk protein-stabilised emulsions in relation to pre-heat treatment of proteins // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2001. V. 21. № 1–3. P. 47–58. doi: 10.1016/S0927-7765(01)00183-7

References

1 Artemova E.N., Vlasova K.V. Features of proteins of pumpkin seed flour of various varieties as emulsifiers. Bulletin of Kamchatka State Technical University. 2022. no. 60. pp. 6–17. doi: 10.17217/2079-0333-2022-60-6-17 (in Russian).

2 Ma S., Ye A., Singh H., Acevedo-Fani A. Emulsifying properties of hemp and whey protein complexes achieved by microparticulation. Food Hydrocolloids. 2026. vol. 171. article 111833. doi: 10.1016/j.foodhyd.2025.111833.

3 Aloo S.O., Mwiti G., Ngugi L.W., Oh D.H. Uncovering the secrets of industrial hemp in food and nutrition: The trends, challenges, and new-age perspectives. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2024. vol. 64. no. 15. pp. 5093–5112. doi: 10.1080/10408398.2022.2149468.

4 Pismenny S.A., Varivoda A.A. Development of technology for emulsion products with a protein-carbohydrate composition. Polzunovsky Bulletin. 2022. no. 1. pp. 15–22. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.01.002 (in Russian).

5 Potoroko I.Yu., Paymulina A.V. Bioactivity of Pickering emulsions in a food matrix: theory and practice. Bulletin of SUSU. Series: Food and Biotechnology. 2023. vol. 11. no. 1. pp. 35–45. doi: 10.14529/food230104 (in Russian).

6 Potoroko I.Yu., Paymulina A.V., Kadi A.M.Ya. Prospects for the use of Pickering emulsions in food systems. Bulletin of SUSU. Series: Food and Biotechnology. 2022. vol. 10. no. 1. pp. 15–22. doi: 10.14529/food220102 (in Russian).

7 Zhao C., Chen N., Ashaolu T.J. Whey proteins and peptides in health-promoting functions – A review. International Dairy Journal. 2022. vol. 126. article 105269. doi: 10.1016/j.idairyj.2021.105269.

8 Sutantawong S., et al. Release of bioactive peptides from whey proteins across digestion in adult humans and a static in vitro digestion model. Journal of Functional Foods. 2024. vol. 122. article 106540. doi: 10.1016/j.jff.2024.106540.

9 Giglio B.M., Lobo P.C.B., Pimentel G.D. Effects of whey protein supplementation on adiposity, body weight, and glycemic parameters: A synthesis of evidence. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. 2023. vol. 33. no. 2. pp. 258–274. doi: 10.1016/j.numecd.2022.09.014.

10 Munkh-Gantumur A., Sukhbaatar N., Jiang Q. et al. Effect of modified fermented whey protein fortification on the functional, physical, microstructural, and sensory properties of low-fat yogurt. Food Control. 2024. vol. 155. article 110032. doi: 10.1016/j.foodcont.2023.110032.

11 Triani R., Foegeding E.A. Heat stability of whey protein ingredients based on state diagrams. International Dairy Journal. 2019. vol. 91. pp. 25–35. doi: 10.1016/j.idairyj.2018.12.006.

12 Gunkova P.I., Gorbatova K.K. Biotechnological properties of milk proteins. Saint Petersburg: GIORD, 2015. 216 p. (in Russian).

13 Dybowska B.E. Whey protein-stabilized emulsion properties in relation to thermal modification of the continuous phase. Journal of Food Engineering. 2011. vol. 104. no. 1. pp. 81–88. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2010.11.030.

14 Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B. Application of whey protein microparticulate in the technology of semi-hard cheeses. Storage and Processing of Agricultural Raw Materials. 2019. no. 4. pp. 129–140. doi: 10.36107/spfp.2019.199 (in Russian).

15 Grossmann L., Beicht M., Reichert C., Weiss J. Foaming properties of heat-aggregated microparticles from whey proteins. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2019. vol. 579. article 123572. doi: 10.1016/j.colsurfa.2019.06.037.

16 Torres I.C., Amigo J.M., Knudsen J.C. et al. Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer. International Dairy Journal. 2018. vol. 81. pp. 62–71. doi: 10.1016/j.idairyj.2018.01.004.

17 Melnikova E.I., Stanislavskaya E.B., Shabalova E.D. Functional and technological properties of a thermostable whey protein concentrate. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2022. vol. 84. no. 2 (92). pp. 52–56. doi: 10.20914/2310-1202-2022-2-52-56 (in Russian).

18 Krus G.N., Shalygina A.M., Volokitina Z.V. Methods of research of milk and dairy products. Moscow, 2000. 368 p. (in Russian).

19 Ortiz D.G., Pochat-Bohatier C., Cambedouzou J. et al. Current trends in Pickering emulsions: particle morphology and applications. Engineering. 2020. vol. 6. no. 4. pp. 468–482. doi: 10.1016/j.eng.2019.08.017.

20 Millqvist-Fureby A., Elofsson U., Bergenståhl B. Surface composition of spray-dried milk protein-stabilised emulsions in relation to pre-heat treatment of proteins. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. 2001. vol. 21. no. 1–3. pp. 47–58. doi: 10.1016/S0927-7765(01)00183-7.

Сведения об авторах

Светлана А. Кузнецова директор, Филиал ПАО «Молочный комбинат «Воронежский», «Калачеевский» сырзавод, ул. Космонавтов, 7, п. Пригородный, Калачеевский р-н, Воронежская обл., Россия, s.kuznetsova@molvest.ru

Елена И. Мельникова д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, melnikova@molvest.ru
https://orcid.org/0000-0002-3474-2534

Екатерина Б. Станиславская д.т.н., профессор, кафедра технологии продуктов животного происхождения, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, tereshkova-katia@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0955-6238

Information about authors

Svetlana A. Kuznetsova director, Branch of PJSC Voronezh Dairy Plant, Kalacheevsky Cheese Factory, 7 Kosmonavtov St., Prigorodny settlement, Kalacheevsky District, Voronezh Region, Russia, s.kuznetsova@molvest.ru

Elena I. Melnikova Dr. Sci. (Engin.), professor, department of technology of animal products, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, melnikova@molvest.ru
https://orcid.org/0000-0002-3474-2534

Ekaterina B. Stanislavskaya Dr. Sci. (Engin.), professor, department of technology of animal products, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, tereshkova-katia@ya.ru
https://orcid.org/0000-0002-0955-6238

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/06/2026	**После редакции** 18/07/2026	**Принята в печать** 03/08/2026
Received 01/06/2026	**Accepted in revised** 18/07/2026	**Accepted** 03/08/2026