



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.041

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.02.016



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ В ЭНТЕРАЛЬНОМ ПИТАНИИ

Алла Львовна Новокшанова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Москва, Россия
novokshanova@ion.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5049-1472>

Аннотация. Базовые пищевые продукты энтерального питания как разновидность специализированной пищевой продукции предназначены для зондового питания и/или перорального употребления как единственный или дополнительный источник пищевых веществ и энергии при недостаточности питания. На текущий момент производство продуктов энтерального питания в России не обеспечивает потребности государства в них и нуждается в масштабировании. Важнейший макронутриент продуктов энтерального питания – белки. Стандартом на продукты энтерального питания разрешено использование ряда пищевых белков, в том числе концентрата сывороточного белка сухого с массовой долей сухих веществ не менее 80 %. Этому определению соответствуют концентраты сывороточных белков с массовой долей белка 80 % (КСБ-УФ-80), 60 % (КСБ-УФ-60) и 40 % (КСБ-УФ-40), полученные мембранными методами с последующей сушкой. Диапазон содержания жиров и углеводов в этих концентратах очень широкий. Протеиновый компонент концентратов сывороточных белков представлен преимущественно двумя фракциями: β -лактоглобулином и α -лактальбумином. Структурные особенности строения этих белков, их молекулярные массы и размеры, обуславливают коллоидные свойства систем с их участием. При этом гидрофильность, поверхностная активность, термолабильность и способность к межмолекулярным взаимодействиям приобретают значение технологических функций, от которых будут зависеть параметры производства продуктов энтерального питания.

Ключевые слова: специализированное питание, продукты энтерального питания, концентраты сывороточных белков, β -лактоглобулин, α -лактальбумин, технологические свойства.

Для цитирования: Новокшанова А. Л. Разработки в области специализированного питания с использованием молочного сырья // Ползуновский вестник. 2025. № 2, С. 108–111. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.02.016. EDN: <https://elibrary.ru/JMFxGV>.

Original article

TECHNOLOGICAL FUNCTIONS OF WHEY PROTEINS IN ENTERAL NUTRITION

Alla L. Novokshanova

Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety», Moscow, Russia, novokshanova@ion.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5049-1472>

Abstract. Basic enteral nutrition products, as a type of specialized food products, are intended for tube feeding and/or oral use as the only or additional source of nutrients and energy in case of malnutrition. Currently, the production of enteral nutrition products in Russia does not meet the state's needs for them and requires scaling. The most important macronutrient of enteral nutrition products is proteins. The standard for enteral nutrition products allows the use of a number of food proteins, including dry whey protein concentrate with a dry matter content of at least 80%. This definition corresponds to whey protein concentrates with a protein content of 80% (WPC-UF-80), 60% (WPC-UF-60) and 40% (WPC-UF-40), obtained by membrane methods with subsequent drying. The range of fat and carbohydrate content in these concentrates is very wide. The protein component of whey protein concentrates is represented mainly by two fractions: β -lactoglobulin and α -lactalbumin. The structural features of these proteins, their molecular weights and sizes determine the colloidal properties of systems with their participation. In this case, hydrophilicity, surface activity, thermolability and the ability to intermolecular interactions acquire the significance of technological functions on which the parameters of enteral nutrition products production will depend.

Keywords: specialized nutrition, enteral nutrition products, whey protein concentrates, β -lactoglobulin, α -lactalbumin, technological properties.

For citation: Novokshanova, A.L. (2025). Developments in the field of specialized nutrition using dairy raw materials. Polzunovskiy vestnik, (2), 108–111. (In Russ). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.02.016. EDN: <https://elibrary.ru/JMFxGV>.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ В ЭНТЕРАЛЬНОМ ПИТАНИИ

ВВЕДЕНИЕ

Специализированные базовые пищевые продукты энтерального питания предназначены для зондового питания и/или перорального употребления как единственный или дополнительный источник пищевых веществ и энергии при недостаточности питания или риске ее формирования, когда обычный прием пищи невозможен или ограничен [1]. Недостаточность питания, связанная с хроническим заболеванием, представляет собой серьезную проблему для системы здравоохранения, поскольку наблюдается у 85 % пожилого населения и у 50 % всех госпитализированных пациентов [2].

Продукты энтерального питания необходимы не только при нутритивной недостаточности или риске ее развития. Эти продукты могут быть использованы в диетическом профилактическом и/или диетическом лечебном питании взрослых и детей старше одного года и показаны при ряде «состояний»:

- ограничения в приеме твердой пищи в посттравматический, послеоперационный периоды;
- неполная проходимость пищевода, желудка и тонкой кишки;
- переломы челюстей;
- выраженный катаболизм;
- истощение;
- саркопения;
- кахексия (тяжелая и сочетанная травма, при обширных и глубоких ожогах, длительных и тяжело протекающих инфекциях, в том числе сепсис, онкологические заболевания, почечная, печеночная, дыхательная или сердечная недостаточность);
- переход от зондового энтерального питания к обычному диетическому питанию [3].

Установлено, что пациенты, получавшие продукты энтерального питания, на 38,8 % реже нуждаются в повторной внеплановой госпитализации в течение 30 дней после выписки [3].

На текущий момент производство отечественных продуктов энтерального питания не обеспечивает

потребности государства в них, и на российском рынке представлена преимущественно импортная продукция этого вида [4]. Для достижения показателей продовольственной независимости Российской Федерации требуется увеличить собственное производство специализированной пищевой продукции, к которой относятся и продукты энтерального питания [5, 6].

Согласно требованиям стандарта для производства продуктов энтерального питания, может быть использовано сырье, соответствующее требованиям Технических регламентов Таможенного союза [7, 8, 9, 10] или нормативным правовым актам, действующим на территории государства, принявшего стандарт.

Важнейший макронутриент продуктов энтерального питания – белки.

МЕТОДЫ

Методологической, теоретической и информационно-эмпирической основой исследования служил фонд нормативной и технической документации для разработки продуктов энтерального питания.

Предмет анализа – технологические функции белков молочной сыворотки в составе специализированных пищевых продуктов энтерального питания.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Стандартом на продукты энтерального питания разрешено использование ряда пищевых белков, в том числе сухого концентрата сывороточного белка с массовой долей сухих веществ не менее 80 % [1]. Этому требованию соответствует несколько видов сухих концентратов сывороточных белков, получаемых ультрафильтрацией и диалфильтрацией с последующей распылительной сушкой. В зависимости от содержания белка выделяют концентрат сывороточных белков с массовой долей белка 80 % (КСБ-УФ-80), 60 % (КСБ-УФ-60) и 40 % (КСБ-УФ-40). Показатели состава и энергетической ценности этих ингредиентов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав концентратов сывороточных белков / Table 1 – Composition of whey protein concentrates

Показатели	Значения для концентрата		
	КСБ-УФ-40	КСБ-УФ-60	КСБ-УФ-80
Массовая доля влаги, %, не более	5,0		
Массовая доля белка в сухом веществе, %, не менее	40,0	60,0	80,0
Массовая доля жира, %, не менее	37,0	57,0	76,0
Массовая доля жира, %, не более	4,5	5,5	8,0
Массовая доля лактозы, %, не более	47,0	28,0	8,0
Массовая доля золы, %, не более	–	4,5	3,0
Активная кислотность, ед. pH	От 5,5 до 6,8 включительно		
Индекс растворимости, см ³ сырого осадка, не более	0,3		
Группа чистоты, не ниже	I		
Энергетическая ценность, кДж/ккал	1705/408	1577/377	1631/390

Из таблицы 1 видно, что при общем содержании сухих веществ более 80 % остальные показатели этих ингредиентов, за исключением группы чистоты и индекса растворимости, отличаются значительно. Особенно большая разница наблюдается в содержании лактозы и, как следствие, в соотношении между белками и углеводами. Поскольку в продуктах для энтерального питания контролируется осмотическая концентрация, и эти продукты содержат целый ряд низкомолекулярных ингредиентов, таких как витамины, минеральные вещества и пр., можно предположить, что по этой причине более предпочтительным будет использование КСБ-УФ-60 и КСБ-УФ-80, в которых концентрация лактозы составляет 28,0 и 8,0 % соответственно. Либо для формирования нужного

содержания белка в продукте энтерального питания, которое должно составлять от 15 до 25 %, необходимо сочетание КСБ-УФ-40 и КСБ-УФ-60 с другими протеиновыми ингредиентами, в которых углеводный компонент отсутствует.

Как к самой специализированной пищевой продукции, так и к ее сырьевым ингредиентам предъявляют более жесткие требования, чем в случае с традиционными пищевыми продуктами. Для производства всех трех видов концентратов сывороточных белков, которые разрешены в изготовлении продуктов энтерального питания, может быть использована только подсырная молочная сыворотка. Причем при выработке сыра недопустимо применять консервирующие агенты в виде нитратов натрия или калия и

молокозвертывающие ферментные препараты и бактериальные закваски, содержащие ГМО [11].

Современные мембранные технологии получения концентратов сывороточных белков практически не вызывают нареканий. Для концентрирования белков молочной сыворотки в настоящее время применяют щадящие режимы обработки с использованием целлюлозных ионообменников и пористых силикагелевых катионо- и анионообменных материалов. Все процессы отработаны так, чтобы после восстановления сухих ингредиентов максимально сохранять нативные функции сывороточных белков. Однако в производстве продуктов энтерального питания ряд технологических этапов может повлиять на физико-химические свойства белков молочной сыворотки.

ОБСУЖДЕНИЕ

Протеиновый компонент концентратов сывороточных белков представлен преимущественно двумя фракциями: β -лактоглобулином, который составляет 56 % от всей массы сывороточных белков и α -лактальбумином, на долю которого приходится 21 %. Молекулярная масса β -лактоглобулина равна 18 277 г/моль, а α -лактальбумина – 14 175 г/моль. Каждая молекула α -лактальбумина в нативной форме связывает ион Ca^{+2} . Поперечные диаметры β -лактоглобулина и α -лактальбумина составляют соответственно 3,6 и 3,7 нм [12]. Следовательно, в растворенной форме оба белка образуют тонкодисперсную коллоидную систему.

Методами рентгеновской кристаллографии были выяснены трехмерные структуры этих белков. Установлено, что благодаря достаточно равномерному распределению полярных и неполярных участков в молекулах β -лактоглобулина и α -лактальбумина пространственная конфигурация их полипептидных цепей типична для многих глобулярных белков, в которых заряженные аминокислотные радикалы ориентируются на поверхности вокруг гидрофобного ядра. В результате такой организации молекулы этих белков в среде, близкой к нейтральной, имеют суммарный отрицательный заряд, поэтому массовой их ассоциации друг с другом или взаимодействия с другими белками не происходит.

Однако сместить равновесие могут различные факторы, которые являются неизбежными в производстве продуктов энтерального питания. В частности, при обогащении основного сырья функциональными пищевыми ингредиентами, такими как витамины и минеральные вещества, возможно изменение реакции среды и ионной силы раствора.

Например, известно, что состояние β -лактоглобулина зависит от значения pH. При реакции среды, соответствующей свежему молоку, он образует димеры, при pH 3,5–5,2 димеры агрегируют до октамеров. В очень кислой среде при значении pH менее 3,5 и в слабо щелочной среде олигомеры диссоциируют на слегка увеличенные в объеме мономеры (рис. 1).

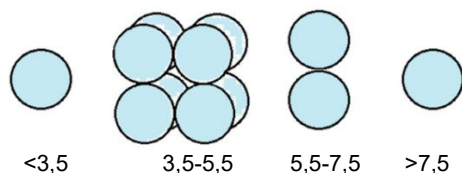


Рисунок 1 – Переход от олигомерных форм β -лактоглобулина к мономерным при разном значении реакции среды в молоке (по А. Тепелу)

Figure 1 – Transition from oligomeric forms of β -lactoglobulin to monomeric forms with different values of the reaction medium in milk (according to A. Tepel)

Молекулы α -лактальбумина тоже могут агрегировать и образовывать большие скопления. Происходит это после вытеснения протонами Ca^{+2} из структуры α -лактальбумина при pH ниже 5,0 [12].

В перечне нормируемых физико-химических показателей продуктов энтерального питания нет требований к значению активной кислотности, следовательно, априори неизвестно, в какой из описанных форм, в виде мономеров или агрегированных молекул, будут находиться β -лактоглобулин и α -лактальбумин в жидких продуктах энтерального питания. По этой причине заранее судить об устойчивости системы или склонности к образованию геля невозможно.

Для обеспечения показателей промышленной стерильности в продуктах энтерального питания подготовленные смеси ингредиентов необходимо будет подвергать температурной обработке, а, следовательно, учитывать и термолабильность сывороточных белков.

Повышение температуры ведет к увеличению энтропии и снижению упорядоченности между структурными элементами β -лактоглобулина и α -лактальбумина, но глубина этих перестроек различна. Хотя α -лактальбумин начинает денатурировать при более низкой температуре, его структура восстанавливается после охлаждения, в отличие от β -лактоглобулина, денатурация которого необратима.

Многие технологические свойства сывороточных белков зависят от степени их денатурации. В целом денатурация белка снижает его растворимость. Именно путем термической денатурации получали первый белковый продукт из сыворотки «Лактоальбумин», который представлял собой смесь фракций сывороточных белков, осажденных путем нагревания кислой сыворотки.

Термическая денатурация неблагоприятно влияет на свойства, требующие высокой поверхностной активности. В результате термообработки смеси поверхностная активность β -лактоглобулина и α -лактальбумина может значительно уменьшиться и вести к дестабилизации системы, что крайне нежелательно в готовом продукте энтерального питания.

При исследовании денатурации β -лактоглобулина и α -лактальбумина следует рассматривать не только их водные растворы, но и смеси с другими функциональными ингредиентами, которые согласно рецептуре необходимо вносить в продукты энтерального питания, что значительно усложняет планирование экспериментов. Кроме того, для выявления степени термической денатурации важен методологический подход при исследовании, поскольку с использованием разных методов были получены противоречивые результаты. При изучении термостабильности отдельных фракций сывороточных белков путем определения коллоидной растворимости меньше неденатурированных белков обнаружено во фракции α -лактальбумина, чем во фракции β -лактоглобулина. А при исследовании термоустойчивости сывороточных белков дифференциальной калориметрией большая стабильность выявлена у β -лактоглобулина, чем у α -лактальбумина [12].

Основные изменения при денатурации β -лактоглобулина и α -лактальбумина связаны с высвобождением HS-групп этих белков и разворачиванием их полипептидных цепей. В результате этих перестроек известно об образовании новых дисульфидных связей и образовании комплексов β -лактоглобулина и α -лактальбумина. Еще больший интерес вызывает исследование контактов сывороточных белков с низкомолекулярными минорными ингредиентами, кото-

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ БЕЛКОВ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ В ЭНТЕРАЛЬНОМ ПИТАНИИ

рыми обогащают продукты энтерального питания. Известны публикации об образовании комплексов кверцетина, дигидрокверцетина, галловой кислоты, кемпферола, катехина, фикоцианина и других биологически активных соединений с нефракционированными белками молока, а также с β -лактоглобулином и α -лактальбумином [13, 14, 15, 16]. Высока вероятность того, что протеиновая часть этих комплексов предотвращает небелковый компонент от разрушения при хранении, а возможно и при переваривании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в производстве продуктов энтерального питания гидрофильность белков молочной сыворотки, их поверхностно-активные свойства, термолабильность и способность к межмолекулярным взаимодействиям приобретают значения технологических функций. От способности основных сывороточных белков β -лактоглобулина и α -лактальбумина к гидратации и поглощению воды в созданном продукте энтерального питания будет зависеть не только набухание и растворимость самих белков, но и вязкость, гелеобразование всей системы и диспергируемость в ней других ингредиентов. Поверхностная активность и способность к межмолекулярным контактам β -лактоглобулина и α -лактальбумина могут изменяться как под влиянием добавленных ингредиентов, так и в результате термообработки системы. Возможно, молочные белки будут выполнять функцию носителей минорных ингредиентов, предотвращая их разрушение в технологическом процессе, при хранении продукта и/или улучшая биодоступность в пищеварительном тракте. Следовательно, изучение агрегации, вязкоупругих свойств, способности к эмульгированию и адсорбции сывороточными белками различных низкомолекулярных ингредиентов, а также выяснение других функций белков молочной сыворотки в поликомпонентных системах представляет научный и практический интерес при обосновании технологических параметров производства продуктов энтерального питания.

Материал подготовлен в рамках государственного задания FGMF-2025-0011.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. ГОСТ 35004-2023 Продукты пищевые энтерального питания базовые. М. : ФГБУ «Институт стандартизации», 2023. 21 с.
2. Fabbro E.D., Shalini D., Bruera E. Symptom Control in Palliative Care – Part II: Cachexia/Anorexia and Fatigue. J Palliat Med 2006; 9(2): 409–421. 25. Cotogni P, Stragliotto S, Ossola M, Collo A, Riso S. The Role of Nutritional Support for Cancer Patients in Palliative Care. Nutrients. 2021 Jan 22;13(2):306.
3. Шестопалов А.Е., Дмитриев А.В. Сипинг как вид нутритивно-метаболической поддержки в клинической медицине. Современная Онкология. 2019; 21 (4): 35–44. DOI: 10.26442/18151434.2019.4.190702.
4. Инновации в питании для взрослых: Ежегодное издание с каталогом. Выпуск 1 / Под ред. В.А. Тутельяна, Д.Б. Никитюка, А.В. Погожевой, А.Е. Шестопалова,

Т.С. Поповой. Москва : ООО «Медицинское информационное агентство», 2021. 176 с. : ил.

5. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20.

6. О реализации Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/activity/documents/139304>. (дата обращения 16.11.2023).

7. Технический регламент Таможенного союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза № 880 от 9 декабря 2011 г.

8. Технический регламент Таможенного союза 024/2011 «Технический регламент на масложировую продукцию». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза № 883 от 9 декабря 2011 г.

9. Технический регламент Таможенного союза ТРТС027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания». Принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии № 34 от 15 июня 2012 г.

10. Технический регламент Таможенного союза 029/2011 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств». Утвержден решением Комиссии Таможенного союза № 58 от 20 июля 2012 г.

11. ГОСТ Р 53456-2022 Концентраты сывороточных белков сухие. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2022. 12 с.

12. Тепел А. Химия и физика молока / А. Тепел. Пер. с нем. под ред. канд. техн. наук, доц. С.А. Фильчаковой. СПб. : Профессия, 2012. 832 с., табл., ил.

13. Гурский И.А., Творогова А.А. Влияние концентратов и микропартитулатов сывороточных белков на физико-химические показатели кисломолочного мороженого // Ползуновский вестник. 2024. № 1, С. 50–56. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.007. EDN: <https://elibrary.ru/RPZCMV>.

14. Characterization of flavonoid-protein interactions using fluorescence spectroscopy: Binding of pelargonidin to dairy proteins / Arroyo-Maya, Campos-Terán, Hernández-Arana, McClements / Food Chem. 2016. V. 6, p. 105.

15. Novokshanova A. [et al.]. The development of food module of high biological value enriched with phycocyanin // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2023. T. 2777. № 1.

16. Novokshanova A., Bilyalova A., Aksenov I. Spectrometric study of the interaction of phycocyanins with egg proteins // E3S Web of Conferences. EDP Sciences, 2023. T. 463. C. 01021.

Информация об авторах

А. Л. Новокшанова – доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «ФИЦ питания и биотехнологии».

Information about the authors

A.L. Novokshanova - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science «Federal Research Center of Nutrition and Biotechnology».

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 23 августа 2024; одобрена после рецензирования 20 мая 2025; принята к публикации 26 мая 2025.

The article was received by the editorial board on 23 Aug 2024; approved after editing on 20 May 2025; accepted for publication on 26 May 2025.