

Молочная сыворотка: обзор работ.

Часть 1. Классификация, состав, свойства, производные, применение

И. В. Паладий, *Е. Г. Врабие, К. Г. Спринчан, М. К. Болога

*Институт прикладной физики,
г. Кишинев, MD-2028, Молдова, *e-mail: vrabie657@yahoo.com*

Поступила в редакцию 08.09.2020

После доработки 16.10.2020

Принята к публикации 16.10.2020

Рассматривается современное состояние вопроса изучения молочной сыворотки. Приведены свойства молочной сыворотки, химический состав, классификация, производные; подчеркиваются – целесообразность использования содержащихся ценных компонентов сухого вещества и необходимость разработки новейших технологий. Представлены белковый состав и характеристики сывороточных белковых производных. Описаны функциональные и пищевые свойства сывороточных белков и продуктов на их основе, применение производных молочной сыворотки в пищевой промышленности. Изложены целебные качества молочной сыворотки и ее производных: антиоксидантные, иммуномодуляторные, стимуляторные, противоопухолевые, обусловленные различными механизмами действия, связанными с их функциональными свойствами.

Ключевые слова: молочная сыворотка, сывороточный порошок, деминерализованная сыворотка, концентраты, изоляты, гидролизаты, лактоза, лактулоза

УДК 637.041;637.043;637.044;637.045;637.046;637.047;637.049

DOI: 10.5281/zenodo.4456698

ВВЕДЕНИЕ

Молочная сыворотка (МС), являясь вторичным продуктом, получаемым во внушительных объемах при производстве различных видов молочных продуктов, имеет промышленное значение, благодаря питательному составу. Мировое производство сыворотки оценивается примерно в $180\text{--}190 \times 10^6$ тонн/год, из которых обрабатывается не более 50% [1]. Огромное количество молочной сыворотки, получаемой, например, при производстве сыра (около 50%), перерабатывается в различные продукты питания и кормовые добавки. Около половины этого объема используется непосредственно в жидкой форме, 30% – в виде сывороточного порошка (полученного путем распыления), 15% – в виде лактозы и ее производных, остальное – в виде белковых концентратов [2]. В Европейском союзе производится 4×10^7 тонн/год молочной сыворотки [3]; годовой ее избыток составляет 13×10^6 тонн, который содержит около 619,250 тонн лактозы [4].

Молочная сыворотка, представляет собой, побочное сырье с высоким содержанием органических и солевых веществ, имеет высокую питательную ценность с множеством возможностей для технологических целей, что характеризует ее

в качестве вторичного молочного продукта. Является богатым источником сывороточных белков для пищевого, биологического и функционального применения, которые переходят в МС после первичной обработки молока. Внедрение продуктов, полученных из МС, включая сывороточные белки, не достигло широкого распространения из-за сложности ее обработки (относительно низкий сухой состав, большие энергозатраты на переработку) [5]. Нерентабельные методы переработки молочной сыворотки часто включают убыточные способы обработки, связанные со сбросом в сточные воды или с простым употреблением малоценных порошков, которые ограничены природоохранными нормами. Безусловно, целесообразно использовать содержащиеся ценные компоненты сухого вещества МС на основе разработки новейших технологий [6]. Отсутствие энергосберегающих промышленных технологий для безотходного использования МС как всего ее сухого состава, так и белковых фракций в отдельности является одной из важнейших проблем переработки молочного сырья. Эти недостатки устраняются путем разработки новых методов переработки МС, выделения белковых фракций и создания продуктов со специфическими функциональными и пищевыми свойствами [7].

МОЛОЧНАЯ СЫВОРОТКА, СОСТАВ, КЛАССИФИКАЦИЯ, ПРОИЗВОДНЫЕ

Молочная сыворотка является побочным, по последней классификации, вторичным молочным продуктом при производстве различных видов сыров, творога, казеина и ультрафильтратов [8].

1. Химический состав молочной сыворотки. Содержание сухого вещества и химический состав МС обусловлены способом и технологией первичной переработки молока и зависят в том числе от типа используемого оборудования.

Вода в МС, которая составляет 93–95%, по формам соединения находится в свободном, физико-химическом и химическом состоянии. В МС обнаружено более 200 компонентов. Основными являются: лактоза – 70%, сывороточные белки МС – 14%, минеральный состав – 7,7%, липиды – 5,7%, другие вещества – 0,9% [9].

Главный компонент сыворотки – лактоза (~70% от сухого вещества). Большинство молочных углеводов переходят в сыворотку после приготовления сыра, из которых 90% это лактоза, включая небольшое количество глюкозы, галактозы; олигосахариды и гликопротеины [10, 11].

Состав сывороточных белков в молоке разных видов млекопитающих может варьировать от 6 до 10 г/л белка. Основными сывороточными белками коровьей МС являются: β -лактоглобулин и α -лактальбумин – низкомолекулярные белки, которые составляют около 70–80% общего белка молочной сыворотки; бычий сывороточный альбумин; иммуноглобулины и некоторые фракции казеина [12]. Белковыми веществами МС, относящимися к так называемым «минорным», являются: гликомакропептиды, протеозопептоны, лактоферрин, многочисленные биоактивные вещества и ферменты [12].

Лактоферрин имеет значительную биологическую ценность, выполняет другие важные функции, является натуральным антиоксидантом, который обладает бактерицидными свойствами, способствует защитным функциям новорожденных от различных инфекций. Он содержится в большом количестве в материнском молоке (17%), но в молозиве любого млекопитающего его содержание значительно больше (более чем в четыре раза), способствует повышению иммунитета и сопротивляемости организмов в первые дни жизни. Благодаря железосвязывающему свойству лактоферрин ингибирует рост патогенных бактерий и грибов, способствует росту бифидо-

бактерий, обеспечивая тем самым нормальное функционирование кишечной микрофлоры новорожденных [13]. Лактопероксидаза также относится к «второстепенным» белкам сыворотки и обладает свойством ингибировать рост железоразрушающих бактерий [14].

Около 24% сывороточных белков – это протеозо-пептоны. Фракция неоднородна по составу, содержит четыре компонента, один из которых представляет собой сывороточный белок с молекулярной массой около 41 кДа. Гликомакропептиды имеют высокий уровень углеводов (17%) и относятся к так называемым «минорным» белкам [15]. Остальные компоненты представляют собой фосфопептиды, образующиеся (вместе с γ -казеином) при гидролизе β -казеина под действием молочной протеиназы [16].

Сывороточные липиды более диспергированы, чем в молоке, и благотворно влияют на биохимические процессы пищеварения [17].

Минеральный состав молочной сыворотки имеет широкий спектр комплексов, которые с биологической точки зрения разнообразны и оптимально сбалансированы. Почти все макро- и микроэлементы молока переходят в сыворотку, в частности: калий, натрий, кальций, фосфор, магний, хлор и др. Минеральные компоненты представлены диссоциирующими веществами: NaCl, KCl, $K(H_2PO_4)$, $K_3(C_6H_5O_7)$, $MgHPO_4$, $Ca_3(PO_4)_2$, $CaCl_2$, Na_2CO_3 , K_2CO_3 и т.д. Количественное соотношение анионов (5831 г/л) и катионов (3323 г/л) сыворотки такое же, как и у молока. Микроэлементы сыворотки представлены следующими веществами, мкг/кг: железо – 674; цинк – 3108; медь – 7,6; кобальт – 6,08 и т.д., которые содержатся в более чем 20 компонентах, а ультрамикроэлементы содержатся примерно в 16 компонентах. Таким образом, катионы сыворотки представлены K, Na, Ca, Mg, Fe, а анионы – радикалами фосфорной и лимонной кислот, а также хлора. Неорганические соли содержат 67% фосфора, 78% кальция, 80% магния [18].

В молочной сыворотке содержатся как водорастворимые, так и жирорастворимые витамины. Состав последних обусловлен степенью использования липидов при первичной переработке молока. Их больше в кислой сыворотке. Водорастворимые витамины практически полностью переходят в сыворотку, их содержание в сладкой сыворотке выше, чем в кислой. Степень перехода витаминов из цельного молока в сыворотку следующая, %: тиамин (B_1) – 81, рибофлавин (B_2) – 91, пиридоксин (B_6) – 88, кобаламин (B_{12}) – 58, аскорбиновая кислота (C) – 78, никотиновая

Таблица 1. Сравнительный состав различных видов сыворотки [26, 27]

Состав	МС нативная	МС сладкая	МС кислая	МС соленая
Сухие вещества, %	2,5±0,01	16,8±0,01	2,86±0,07	8,9±0,01
Зола, %	0,2±0,003	0,7±0,08	0,21±0,01	1,7±0,11
Содержание белков, %	2,2±0,01	10,8±0,4	1,73±0,01	1,0±0,1
Небелковый азот, %	0,005±0,001	0,01±0,0	0,006±0,001	0,01±0,0
pH	6,5±0,03	6,4±0,02	4,2±0,02	5,5±0,01
Лактоза, %	0,1±0,02	2,9±0,03	0,7±0,02	2,4±0,3
Молочная кислота, %	0,001±0,0001	0,1±0,03	0,2±0,02	0,07±0,001
Ca (мг 100·г ⁻¹)	40±1	20±3	140±10	80±1
K (мг 100·г ⁻¹)	30±1	100±20	10±0,0	50±6
Mg (мг 100·г ⁻¹)	20±1	10±1	10±1	10±6
Na (мг 100·г ⁻¹)	10±4	400±20	30±10	1100±50
Неорганический фосфор (мг 100·г ⁻¹)	10±6	10±3	3±1	10±3
Общее содержание фосфора (мг 100·г ⁻¹)	20±2	30±6	10±3	20±1

кислота (ПП) – 54, ретинол (А) – 11, холин – 102, биотин – 90, токоферол (Е) – 32. Пиридоксин и холин накапливаются в сыворотке при производстве сыра в результате активности микробиологических штаммов при ферментативной обработке молока. Этот эффект также зафиксирован в случае рибофлавина [18, 19].

Наиболее важными витаминами, которые переходят из молока в сыворотку, являются рибофлавин, фолиевая кислота и кобаламин. Последние два связаны с белками сыворотки и при производстве сыра переходят в сыворотку. МС содержит больше витамина В₂, чем молоко, из-за активности молочнокислых штаммов, используемых при производстве сыра. Из-за относительно высокого уровня рибофлавина сыворотка имеет характерный желтовато-зеленый цвет [18, 20–22].

Органические кислоты молочной сыворотки: молочная, лимонная, нуклеиновая. Содержание летучих жирных кислот в кислой сыворотке больше, чем в сладкой, что объясняется гидролизом жиров в процессе приготовления первичных продуктов. Тем самым уксусная кислота в кислой сыворотке в 4,2 раза больше, чем в сладкой. Молочная кислота является продуктом частичной ферментации лактозы и обладает способностью подавлять действия патогенной микрофлоры [23].

Ферментами молочной сыворотки являются: гидролазы, фосфорилазы, лактазы, липазы, а также ферменты разложения, переноса, редокса, изомеризации. Зарегистрировано присутствие протеолитических ферментов, также способствующих расщеплению белков. В кислой сыворотке присутствие ферментов более выражено, чем в сладкой. Их содержание во многом предопределяется первичной переработкой молока [18, 24].

Газы, содержащиеся в сыворотке, – углекислый, азот, кислород. При производстве казеина некоторые минеральные кислоты – соляная и серная – также попадают в сыворотку. Зафиксировано и присутствие антибиотика – низина [25].

2. *Классификация молочной сыворотки.* Существуют разные виды МС в зависимости от первичной переработки молока: нативная, кислая, сладкая, соленая, ультрафильтрат, казеинат (табл. 1).

Нативная молочная сыворотка (НМС), полученная в результате молочнокислого брожения, содержит около 50% составляющих молока, таких как лактоза (~70%, в зависимости от кислотности сыворотки), белок (~14%), минералы и липиды. Основные различия заключаются в содержании кальция, фосфатов и молочной кислоты [26].

Кислая молочная сыворотка (КМС) получается в результате производства в основном творога и частично, в зависимости от регионального производства, разных видов йогуртов, в том числе греческого йогурта и плавленого сыра. Например, при производстве греческого йогурта третья часть молока перерабатывается в кислую сыворотку, которая имеет меньшее содержание белка, лактозы и более низкое pH, но более высокое содержание кальция, фосфора и молочной кислоты (МК) по сравнению со сладкой [20, 21].

Сладкая молочная сыворотка (СМС) получается вследствие обработки молока разными сычужными ферментами для производства различных видов сыров, в большинстве случаев по определенным технологиям, которые строго защищены патентами. СМС, за исключением сывороточных белков, содержит гликомакропептиды, образующиеся в результате ферментативного гидролиза κ -казеина [21].

Таблица 2. Химические и физико-химические свойства сывороточных белков молочной сыворотки [39]

Белковые фракции	Молекулярный вес (кг/моль)	Изоэлектрическая точка (pI)	Концентрация в жидкой сыворотке (г/л)	Количество аминокислот	Температура денатурации, °С
β -лактоглобулин (β -Lg)	18	5,4/5,14–5,49	3,2	162	78
α -лактальбумин (α -La)	14	4,4/4,2–4,8	1,2	123	62
Бычий сывороточный альбумин (БСА)	66	5,1/4,71–5,13	0,4	582	64
Иммуноглобулин (Ig)	≥ 145	5–8/5,5–8,3	0,7	–	72
Гликомакропептид (ГМП)	8,6	$\leq 3,8$	1,5	64	–
Лактоферрин (LF)	77	7,9	0,1	700	–
Лактопероксидаза (LP)	78	9,6	0,03	612	–

Содержание белка в кислой и сладкой сыворотке почти одинаковое, однако количество свободных аминокислот может варьировать и зависит от степени гидролиза казеина при производстве разных видов творожных продуктов (кислого или сладкого). Таким образом, количество свободных аминокислот в сладкой сыворотке примерно в 4 раза, а в кислой – даже в 10 раз больше, чем в молоке [20, 21].

Доля сывороточного белка несколько ниже в СМС, полученной в результате обработки ультрафильтрационного молока (УФМ) и при высоких температурах. Объяснение состоит в том, что некоторые сывороточные белки сохраняются в первичных молочных продуктах и не переходят в МС [28]. В обычных процессах производства сыра белки, нечувствительные к действию ферментов и/или кислот, переходят в МС; эту группу белков называют сывороточными [20].

Соленая молочная сыворотка (СоМС) – относительно менее изученный побочный молочный продукт получается при производстве сыров Cheddar, Colby и других твердых сыров. Содержание соли в СоМС варьирует от 0,7 до 1,7 М (от 4,1 до 10%), рН СоМС – около 5,2. Состав СоМС: соль – 8,71%, липиды – 1,69% и вода – 82,2%. Процент белка в соленой сыворотке – около 1%, однако его содержание в этом виде МС мало изучено [29]. Из-за высокого содержания соли переработка СоМС требует высоких затрат. Количество СоМС, получаемой ежедневно, составляет от 2 до 5% от общих объемов производимой МС [30, 31]. Концентраты, полученные из СоМС, характеризуются низкой гидрофобностью, высокой тиольной активностью, низким размером частиц [32, 33].

У разных видов млекопитающих соотношение казеин/сывороточный белок различается. Зарегистрированы также сезонные колебания содержания белка во всех типах молока и сыворотки [34–37].

3. Белковый состав молочной сыворотки составляет 20% от общего содержания белков в молоке. Они считаются самыми полезными и содержат четыре основные белковые фракции: β -лактоглобулин (β -Lg) – 62% от содержания белков молочной сыворотки с молекулярной массой (ММ) 18,4 кДа для формы А и ММ 18,3 кДа для формы В; α -лактальбумин (α -La) – 25% от содержания белков в молочной сыворотке с ММ 14,0 кДа; иммуноглобулин (Ig) – 6–10% от содержания белков молочной сыворотки с ММ 180,0–900,0 кДа, представлен несколькими фракциями: IgA, IgD, IgE, IgG, последний класс подразделяется на IgG1 и IgG2 и содержится в молоке в мономерной форме, тогда как остальные – в полимерной; бычий сывороточный альбумин (БСА) – 10–15% от сывороточных белков молочной сыворотки с молекулярной массой 66,0 кДа [38].

Другими незначительными фракциями, содержащимися в белках молочной сыворотки, являются лактоферрин (LF), лактопероксидаза (LP), протеозо-пептоны (PP) и гликопептиды (GP); последние обнаружены только в сладкой сыворотке. Компактная глобулярная структура объясняет их растворимость (в отличие от казеинов, которые существуют в виде мицеллярной суспензии, с относительно равномерным распределением групп – неполярных, полярных и заряженных) (табл. 2).

Эти белки имеют аминокислотные профили, весьма отличающиеся от казеинов: содержат меньшую долю глутамина (Glu) и пролина (Pro), но большую – серосодержащих аминокислотных остатков (то есть цистеина (Cys) и метионина (Met)). Эти белки дефосфорилированы, легко денатурируют под действием тепла, нечувствительны к Ca^{2+} и чувствительны к образованию внутримолекулярных связей через дисульфидные мостики между Cys-сульфгидрильными группами [21].

4. Характеристика производных сывороточных белковых МС. При переработке

Таблица 3. Сухой состав молочной сыворотки и сывороточного порошка

Состав	Молочная сыворотка		Сывороточный порошок	
	Сладкая	Кислая	Сладкий	Кислый
Сухой состав, %	6,4	6,5	96,0	96,0
Вода, %	93,7	93,5	3,6	4,0
Липиды, %	0,5	0,1	0,8	0,6
Белки, %	0,8	0,8	13,1	12,5
Лактоза, %	4,9	4,9	75,0	67,4
Зола, %	0,5	0,8	7,3	11,8
Молочная кислота, %	0,1	0,4	0,2	4,2

Таблица 4. Средний химический состав основных сывороточных производных

Продукты	Белки, %	Лактоза, %	Минералы, %
Сухая МС /порошок	13,5	73,5	8,5
Сухая МС/деминерализованный порошок (70%)	13,7	75,7	3,5
Сухая МС/деминерализованный порошок (90%)	15,0	83,0	1,0
Сухой пермиат/ультрафильтрованный порошок	1,0	90,0	9,0
Белково-сывороточный концентрат (БСК)	65,0–80,0	4,0–21,0	3,0–5,0
Изолят сывороточного белка (ИСБ)	88,0–92,0	<1	2,0–3,5

молочной сыворотки получается ряд полезных и питательных производных, биологическая ценность которых позволяет использовать их в самых разных отраслях промышленности.

Основными продуктами обработки МС являются: сухая молочная сыворотка/сывороточный порошок (СП) из КМС или СМС; сухая МС/сухая деминерализованная сыворотка (СДС) – 25, 50 и 90%; сухая МС/сывороточный порошок без лактозы (СПБЛ); белково-сывороточные концентраты (БСК) с содержанием белка 34, 50, 60, 75 и 80%; изоляты сывороточного белка (ИСБ); гидролизаты сывороточного белка (ГСБ); белково-минеральные концентраты (БМК); лактоза промышленная, пищевая и фармацевтическая; производные лактозы – лактитол, лактулоза и галактоолигосахариды; отдельные белки – лактоферрин, лактопероксидаза и гликомакропептиды; молочные минералы; пермеат.

Сухая молочная сыворотка/сывороточный порошок. Основным процессом промышленного производства сухого сывороточного порошка (СП), который составляет около 70% годового производства, является сушка. Получение СП включает удаление жира, термообработку, выпаривание до общего содержания сухого вещества 40–60% с последующей кристаллизацией лактозы и распылительной сушкой. Сухой состав сывороточного порошка должен содержать ~ 95% (табл. 3) [40].

Высокое содержание минералов (8–10%) в СП придает пище очевидный соленый вкус, поэтому деминерализованный порошок сыворотки является предпочтительным для получения СП

при дополнительной предварительной обработке ионообменным электродиализом. В табл. 4 приведен средний химический состав основных сывороточных продуктов [20, 40].

Белково-сывороточные концентраты (БСК) получают путем разделения осаждением, фильтрацией или диализом. БСК является плотным, высококачественным белковым продуктом, используемым в качестве пищевой добавки, благодаря своим функциональным свойствам (улучшение текстуры, аромата и цвета; эмульгирование и стабилизация порошков и порошковых смесей; продление срока хранения). Используется для повышения качества и биологической ценности молочных продуктов, мяса, хлебобулочных изделий, напитков, злаков и специальных пищевых продуктов для спортсменов. Белково-сывороточные концентраты, БСК34 и БСК80, схожи по питательной ценности и содержанию липидов, но различаются по концентрации лактозы и белка. БСК34 содержит от 34 до 36% белка и от 48 до 52% лактозы, тогда как БСК80 – от 80 до 82% белка и от 4 до 8% лактозы. Белково-сывороточный концентрат БСК34 обеспечивает такое же содержание лактозы, белка и минералов, как сухое обезжиренное молоко [41].

Изолят сывороточного белка (ИСБ) имеет высокое содержание чистого белка, практически не содержит лактозы, углеводов, жиров и холестерина, включает четыре основные белковые фракции: β -лактоглобулин, α -лактальбумин, бычий сывороточный альбумин и иммуноглобулины, благодаря которым

Таблица 5. Процентный состав белковых сывороточных фракций в БСК и ИСБ [43, 44]

Сывороточные белковые фракции	БСК, %	ИСБ, %	Биологические функции и свойства
β -лактоглобулин (β -Lg)	50–60	44–69	Действует как транспортный белок для липофильных соединений, таких как токоферол и витамин А.
α -лактальбумин (α -La),	12–16	14–15	Модулирует синтез лактозы в молочной железе. Является превосходной добавкой к детским смесям.
Бычий сывороточный альбумин (БСА)	15–21	2–20	Обладает липидосвязывающими свойствами и способствует окислению липидов.
Иммуноглобулин (Ig)	3–5	1–3	Является превосходным средством для повышения иммунитета, в том числе для новорожденных.
Гликомакропептид (ГМП)	5–8	2–3	Уменьшает желудочную секрецию, подавляет агрегацию тромбоцитов, подавляет аппетит через стимуляцию выделения холецистокинина – гормона поджелудочной железы. Действует как пребиотик и обладает иммуномодулирующим действием.
Лактоферрин (LF)	<1	–	Обладает антимикробными свойствами, способностью связывания железа и ингибирования свободных радикалов.
Лактопероксидаза (LP)	<1	–	Обладает антимикробными свойствами.

обладает высокой биологической ценностью и является важным источником для различных диетических продуктов. Используется в смесях для детского питания, является естественным источником аминокислот, необходимых для правильного/здорового роста и развития, а также часто применяется в качестве эмульгатора и стабилизатора в пищевой промышленности. ИСБ также популярен среди спортсменов благодаря способности быстро перевариваться и восстанавливать организм из катаболического состояния в анаболическое. ИСБ обладает определенными биологическими функциями, такими как противовоспалительные и противораковые [42]. Основные белковые фракции БСК и ИСБ (сухое вещество, %), их функции и биологические преимущества представлены в табл. 5.

Гидролизаты сывороточного белка (ГСБ) получают из продуктов, содержащих белки и обработанных кислотой при нагревании, или предпочтительнее добавлением протеолитических ферментов, после чего они отделяются от обрабатываемой смеси. Каждый белковый гидролизат представляет собой сложную смесь пептидов с разной длиной цепи и с определенным составом свободных аминокислот. Гидролизаты сывороточного белка теряют способность вызывать аллергические реакции, поэтому их можно использовать в гипоаллергенных смесях для детского питания [45, 46].

5. *Функциональные и пищевые свойства сывороточных белков и производных из молочной сыворотки.*

Пищевая ценность сывороточных белков обусловлена составом аминокислот,

усвояемостью белков, биодоступностью незаменимых аминокислот и их физико-химическими изменениями после переваривания и всасывания, во многом обусловлена высоким содержанием незаменимых аминокислот, особенно серосодержащих. Высокая растворимость, адсорбция воды, гелеобразование и эмульгирующие свойства являются важными факторами, позволяющими считать сывороточные белки функциональной пищевой добавкой [47, 48]. В табл. 6 представлено содержание аминокислот в некоторых белковых концентратах.

Функциональные свойства сывороточных белков (СБ) в основном связаны с их физическими, химическими и структурно-конформационными свойствами, к которым относятся: размер, форма, аминокислотный состав и их последовательность, заряд и его распределение, гидрофильное/гидрофобное соотношение, содержание вторичной структуры и ее распределение, третичное и четвертичное расположение сегментов полипептида, внутри- и межпоперечные связи, а также жесткость/гибкость белка в ответ на внешние условия. Такие факторы, как условия обработки, параметры окружающей среды (например, pH, температура, ионная сила и т.д.), метод выделения и взаимодействие с другими пищевыми компонентами, изменяют функциональные свойства сывороточных белков [51].

Функциональные свойства сывороточных производных определяются свойствами сывороточных белков. Они обладают растворимостью в широком диапазоне pH, создают вязкость благодаря связыванию с водой, образуют гели, эмуль-

Таблица 6. Аминокислотный состав различных типов коммерческих белковых концентратов (г/100 г белка) [49, 50]

Аминокислота	КСоБ	ИСоБ	ЯБ (сухой)	ИМБ	КК	БСК (80%)	ИСБ (ИО)	ИСБ (ПМ)	ГСБ
Аланин	4,60	4,30	5,77	3,50	3,00	4,82	5,60	5,60	5,20
Аргинин*	7,90	7,60	5,43	3,50	3,70	3,18	3,00	1,70	3,00
Аспарагиновая кислота	11,90	11,60	10,18	8,00	6,90	12,26	12,30	12,70	12,30
Цистеин/цистин	1,40	1,30	2,59	0,60	0,40	2,28	1,90	2,50	2,90
Глютаминовая кислота	19,00	19,10	13,29	20,80	20,90	15,41	17,10	19,70	18,30
Глицин	4,60	4,20	3,49	1,90	1,80	2,00	1,90	2,00	2,30
Гистидин*	2,80	2,60	2,26	2,70	2,90	2,41	2,00	1,80	1,90
Изолейцин ^{Н*}	5,20	4,90	5,66	4,40	4,60	6,41	5,40	6,80	5,50
Лейцин ^{Н*}	8,50	8,20	8,81	10,30	9,10	11,60	13,50	10,90	14,20
Лизин*	6,90	6,30	6,80	8,10	7,70	9,83	10,90	9,50	10,20
Метионин*	1,50	1,30	3,44	3,30	2,90	2,35	3,50	3,10	2,40
Фенилаланин*	5,40	5,20	5,82	5,00	5,10	3,56	3,40	2,50	3,80
Пролина	5,60	5,10	3,91	9,50	10,40	6,28	4,80	6,30	5,10
Серин	5,10	5,20	6,88	6,20	5,80	6,24	4,50	5,30	5,00
Треонин*	4,20	3,80	4,55	4,50	4,30	8,44	5,30	8,30	5,50
Триптофан*	1,20	1,30	1,23	1,40	1,20	1,80	1,50	2,00	2,30
Тирозин	4,00	3,80	3,91	5,20	5,50	3,26	3,90	3,10	3,90
Валин ^{Н*}	5,40	5,00	6,37	5,70	5,70	6,09	5,40	6,40	5,90
Суммарный АРБЦ ^Н	19,10	18,10	20,45	20,40	19,40	24,10	24,30	24,10	25,60
Суммарный НАК*	49,00	52,14	49,97	48,90	47,20	55,67	53,90	53,00	54,70

^НАминокислоты с разветвленными боковыми цепями (АРБЦ); *Незаменимые аминокислоты (НАК); КСоБ – концентрат соевого белка; ИСоБ – изолят соевого белка; ЯБ – яичный белок; ИМБ – изолят молочного белка; КК – казеинат кальция; БСК – белково-сывороточный концентрат; ИСБ – изолят сывороточного белка; ИО – ионный обмен; ПМ – перекрестная микрофльтрация; ГСБ – гидролизат сывороточного белка.

гируют, связывают жир, облегчают взбивание, вспенивание и аэрацию, улучшают цвет, вкус, текстуру и обеспечивают многочисленные питательные преимущества [52].

Можно рассматривать сывороточные белки, особенно белковые концентраты и гидролизаты сывороточных белков, как добавки, полезные для здоровья благодаря питательному составу аминокислот и низкой аллергенности. Сывороточные белки и их различные формы выполняют определенные биологические функции, например антиоксидантные, противораковые, предотвращают ожирение, снижают артериальное давление и др. [53, 54].

Растворимость. Сывороточные белки обладают повышенной растворимостью по сравнению с казеинатом натрия и соевыми белками, зависят от способности связывать воду в соответствии с их физико-химическими свойствами. Белково-сывороточные концентраты обычно очень хорошо растворимы, хотя их способность связывать воду относительно низкая [52]. Нагрев до температуры выше 70°C может вызвать денатурацию или частичную потерю растворимости между рН 3–5, так как

некоторые белки молочной сыворотки образуют агрегаты и осаждаются в их изоэлектрической точке (рН 4,5–5,5). Сывороточные белки, неденатурированные нагреванием, имеют отличную растворимость в широком диапазоне рН [55]. Растворимость сывороточных белков при тепловой обработке пищевых продуктов может быть улучшена путем добавления сахара, что позволяет их применение как в кондитерских изделиях, так и в готовых к употреблению продуктах. В смесях с высокой кислотностью, рН<3,5, таких как фруктовые напитки или заправки для салатов, значительную роль играет растворимость сывороточных белков в кислой среде [56].

Вязкость и свойства связывания воды представляют собой взаимодействующие функциональные свойства белков молочной сыворотки [57]. При нагревании сывороточных белков связи, которые отвечают за их глобулярную структуру, разрушаются. По мере разворачивания молекулы белка формируются дополнительные участки для связывания воды, которые создают условия для увеличения вязкости растворов [58]. Низкая вязкость при

разработке различных напитков позволяет повышать уровень белка без ущерба для их органолептических свойств. Сыворотка может создать мутность или непрозрачность, способствуя кремовому или молочному виду напитка. В таких продуктах, как пудинги и йогурты, водосвязывающие свойства обеспечивают более вязкую текстуру и позволяют контролировать фазовое разделение [59]. В мясных и хлебобулочных изделиях свойства связывания воды способствуют улучшению их текстуры, снижению потерь при варке и выпечке. Повышенное содержание влаги в молочных продуктах позволяет улучшить сенсорный профиль за счет повышения вкусовых качеств. Водосвязывающие свойства белков молочной сыворотки способствуют созданию продуктов с пониженным содержанием жира [52, 59].

Эмульгирование. Белки молочной сыворотки имеют гидрофильные и гидрофобные группы, образуют межфазные мембраны вокруг масляных шариков путем абсорбции на границе раздела фаз масло-вода, где белки частично раскрываются, способствуют стабилизации глобулярной структуры, предотвращая их слияние и отслоение. Работают как традиционные эмульгаторы и имеют более низкое содержание холестерина. Стабильность эмульсий сывороточных белков может быть улучшена путем добавления камеди или нагревания системы для создания белкового геля [60]. Свойства эмульгирования сывороточных белков могут быть использованы в большинстве обработанных пищевых продуктов, включая маргарин, соусы, мясо и морепродукты, смеси для мороженого, тесто для хлеба, батончики и заправки для салатов [52]. Важными факторами, определяющими эмульгирующие свойства, являются концентрация белка, рН, ионная концентрация, концентрация кальция и лактозы, способ обработки [51].

Гелеобразование. Сывороточные белки могут образовывать гели, способные поддерживать воду, липиды и другие компоненты, обеспечивая текстурные свойства. Характеристики геля зависят от концентрации белка, рН раствора, содержания ионов кальция и натрия. Сывороточные белки образуют два типа гелей: индуцированные теплом и холодного затвердения. Образование геля представляет собой двухэтапный процесс: первоначальное развитие белковых структур и агрегация денатурированных полипептидов в результате различных взаимодействий. Белково-сывороточные концентраты имеют различную желеобразующую способность, они могут образовывать гели при температуре 60–90°C в концентрации 80–120 г/л. Гели,

полученные из БСК, образуются благодаря гидрофобным, электростатическим и дисульфидным взаимодействиям [61, 62].

Взбивание, вспенивание, аэрация. Пенообразующие свойства сывороточных белков во многом зависят от степени их денатурации. Степень денатурации белка, концентрация ионов кальция, температура, рН и содержание липидов влияют на пенообразующие свойства [51]. Пенообразование – результат поведения белков на границе раздела воздух–вода. Белки способствуют образованию пенной пленки за счет снижения межфазного натяжения. Они концентрируются на поверхности ячеек пены, где подвергаются частичному разворачиванию и последующему взаимодействию посредством межмолекулярного соединения, что приводит к образованию когезионной пленки и стабилизирует таким образом ячейки пены. Пенообразующая способность сывороточного белка может быть улучшена за счет снижения содержания жира [63].

Ароматизирующие свойства. При нагревании сывороточных белков образуются летучие сульфиды. Свободные аминокислоты также превращаются в ароматические соединения путем термического и химического взаимодействия с другими соединениями. Сывороточные белки обладают свойством усиления широкого вкусового спектра (в хлебобулочных изделиях, напитках и кондитерских изделиях, в молочных продуктах), позволяют сохранить фруктовые ароматы и даже запах шоколада. В супах и соусах подчеркивают благоухание специй и растительные ароматы. Минералы МС также способствуют улучшению вкусовых качеств молочных и мясных продуктов [64, 65].

Диспергируемость. Ингредиенты МС имеют хорошую диспергируемость, что особенно важно для их применения в качестве сухой смеси. Для производства продуктов с использованием ингредиентов МС с хорошей и быстрой растворимостью в воде и без чрезмерного перемешивания рекомендуется использовать белково-сывороточные концентраты и белково-сывороточные изоляты, полученные распылительной сушкой, при которой образуются агломераты с улучшенными характеристиками смачиваемости, текучести и диспергируемости [52].

Антиоксидантная активность. Исследование антиоксидантной активности МС и ее производных, например БСК, выявляет способность предотвращать окисление липидов, например в мясных продуктах. Коммерческое применение сыворотки для этой цели не оценивалось, но благодаря этому свойству произ-

водные молочной сыворотки могут быть благополучно использованы как добавки в продуктах с высоким содержанием жира в качестве антиоксидантов [52, 66, 67].

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Применение производных молочной сыворотки в пищевой промышленности имеет широкий спектр. Сывороточные белки используются в детских смесях благодаря составу, богатому незаменимыми аминокислотами и другими питательными веществами, полезными для детей. Они позволяют регулировать соотношение белок:казеин (20:80) детской смеси на основе коровьего молока аналогично материнскому молоку (60:40). Включение любого типа сывороточного белка (например, α -лактальбумина или лактоферрина) в детские смеси требует понимания сложных взаимодействий с другими питательными веществами и ионными компонентами для обеспечения стабильности процесса при нагревании, эмульгировании, концентрировании и сушке. Термическое воздействие при получении различных производных, содержащих сывороточные белки, оказывает непосредственное влияние на физико-химическое качество составов детского питания в жидкой форме, особенно при обработке β -лактоглобулина (β -Lg), который имеет модулирующую роль. Питательные и функциональные свойства сывороточных белков играют важную роль в обеспечении качественной иммунной и аллергенной реакции при производстве детских смесей [68–72].

Способность сывороточных белков образовывать гели и микрокапсулы при относительно небольшом нагревании и без необходимости использования химических реагентов делает их подходящими для использования в пищевой и медицинской областях благодаря гидрофобным и гидрофильным свойствам. Образование гидрогелей и наночастиц зависит от термических условий и свойств гелеобразования при контролируемых условиях pH и ионной устойчивости [73–75].

Сывороточные препараты применяются и в качестве среды для микроинкапсулирования восприимчивых пищевых ингредиентов, таких как ароматизаторы, красители и различные пробиотические бактерии (например, *Bifidobacterium*-BB-12). Использование сывороточных белков способствует защите указанных активных ингредиентов и предотвращает потерю их свойств на продолжительный период [76, 77].

Белковые производные из МС могут быть использованы в качестве пищевых пленок и покрытий с целью контроля массопереноса газов (например, O_2 , CO_2), ароматических соединений, воды и масла из/или в пищу для сохранения тем самым ее качества и увеличения срока хранения и повышения безопасности. Пищевые покрытия включают формирование пленки непосредственно на поверхности объектов для их защиты и улучшения качества. Покрытия обычно тоньше пленок и остаются на продукте в течение всего срока его использования и потребления. Они также могут повысить пищевую ценность продуктов за счет их состава. Улучшают внешний вид и качество продукта, делают его более привлекательным благодаря блеску и цвету и предотвращают микробиологическую активность [78–81].

Изолят сывороточного белка (ИСБ) вызывает все больший интерес в свете производства пищевых упаковочных пленок. Компоненты белка молочной сыворотки (α -лактальбумин и β -лактоглобулин) потенциально могут быть использованы в качестве агентов, способных образовывать съедобные или биоразлагаемые пленки [82].

Белковое покрытие пищевых поверхностей (таких как свежее или обработанное мясо, рыба, сыр) имеет антимикробную активность, которая может снизить или даже предотвратить развитие патогенных микроорганизмов, что позволяет использовать их для обеспечения постоянной среды при хранении [83].

Молочная сыворотка используется в качестве субстрата для ферментации, производства биологических продуктов благодаря разнородной смеси лактозы, белков, жиров, витаминов, минералов и т.д., которая является источником питательных веществ для роста микроорганизмов и позволяет получать ряд производных: биоэтанол, глицерин, сывороточные вина, ацетат магния и кальция, летучие ароматизаторы, грибковые ферменты и др. [84].

Использование сывороточных производных в мясоперерабатывающей промышленности. Такие сывороточные продукты, как сухая МС, порошковая сладкая МС, белково-сывороточные концентраты (БСК 34–80%), изоляты (ИЗБ > 90% белка), МС с низким содержанием лактозы, деминерализованная МС и лактоза, имеют широкое применение в мясоперерабатывающей промышленности [66, 85]. Они в основном используются при производстве колбас, сосисок, мортаделлы или сурими [86]. Сывороточный белок может частично заменить мясной или полностью соевый белок, модифицированный

крахмал, гидроколлоиды и другие добавки [86–88].

Использование сывороточных производных в продуктах с низким содержанием жира. Сывороточные белки широко используются при производстве заправок для салатов, супов и соусов, майонеза, мяса, йогуртов, мороженого с низким содержанием жира [89–91].

Согласно Джонсону [88], эти аналоги можно разделить на две группы: заменители и миметики. БСК классифицируются как миметики жира, потому что имеют различные функциональные свойства, аналогичные свойствам липидов. БСК34 и БСК80 могут полностью или частично заменить яичный желток, гидроколлоиды, соевый белок или модифицированный крахмал. Наиболее важными функциями БСК в продуктах с низким содержанием жира являются: связывание воды, эмульгирование, высокая растворимость, гелеобразование, повышение вязкости, усиление адгезионного взаимодействия [89, 91]. Низкобелковые концентраты, такие как БСК34, могут придавать продуктам слегка сладковатый вкус молока, но состав продукта должен быть скорректирован добавлением специй и ароматизаторов [91].

Использование сывороточных продуктов в кондитерских изделиях и при выпечке. Сыворотка может широко использоваться в хлебулочной и кондитерской промышленности для производства хлеба, тортов, различных видов печенья, кексов, глазури [88, 92–95]. Продукты из сыворотки, включая деминерализованные порошки МС, порошки из МС с низким содержанием лактозы, БСК, изоляты и лактозу, используются в кондитерских изделиях: шоколад и шоколадные чипсы, конфеты, желе и др. [96, 97].

Лактоза может служить отличным наполнителем для различных напитков благодаря ее свойствам; она менее сладкая и менее растворимая, чем сахароза, имеет низкий уровень гигроскопичности [88, 97].

Использование сывороточных производных в молочной промышленности. Производные из МС придают молочным продуктам важные функциональные свойства (вязкость, гелеобразование, связывание воды, растворимость, сенсорные свойства, эмульгирование, пенообразование и т.д.), заменяя некоторые ингредиенты, например сухое обезжиренное молоко. При производстве йогурта чаще всего используются сывороточные производные: сладкий порошок; деминерализованный порошок; концентрат сывороточных белков (БСК34, БСК80); изолят сывороточного белка. Они обогащают йогурт минералами и

белками, улучшают вкус, увеличивают вязкость и стабилизируют структуру [98, 99].

Добавление БСК позволяет частичную замену сухого обезжиренного молока, замену крахмала или других загустителей, что приводит к улучшению вкуса. Из-за низкого содержания лактозы и жира изолят сывороточного белка используется в йогуртах с низким содержанием лактозы. Сухая молочная сыворотка и деминерализованный молочно-сывороточный порошок ускоряют процесс брожения, в то же время неправильное использование этих продуктов может вызвать некоторые побочные эффекты. Замена 25–50% сухого обезжиренного молока порошком сладкой молочной сыворотки приводит к изменению pH йогурта и соответственно снижению его качества [98, 99].

Молочная сыворотка и ее производные успешно используются при производстве мороженого и холодных молочных десертов. Сладкая молочная сыворотка (порошкообразная/сухая), белково-сывороточные концентраты (34–80%) и изоляты сывороточного белка (> 90% белка) являются одними из наиболее часто используемых производных при получении холодных молочных десертов. Они в основном используются для улучшения функциональных свойств (эмульгирование, связывание воды, пенообразование, вязкость). Препараты из сыворотки, такие как сухая МС/порошок сладкой МС, порошок с низким содержанием лактозы, БСК и ИСБ, успешно используются в производстве плавленого сыра и его аналогов. Добавление сывороточных белковых ингредиентов помогает создать кремовую, гладкую структуру. Однако сывороточные белки не плавятся, не растягиваются и не сохраняют твердость готового сыра, как при использовании казеина молока. Этого можно избежать при правильном выборе типа и количества используемых сывороточных производных. Их вязкость также влияет на экструзируемость, защитное покрытие, измельчение и др. [100, 101].

Напитки, полученные из производных МС, дифференцируются на смеси сыворотки (обработанной или необработанной, включая пермеат и УФ) с фруктовыми, реже овощными соками; «густые» молочные напитки (ферментированные или неферментированные); газированные напитки (типа «Ривелла»); алкогольные напитки (пиво, вино или ликеры). Благодаря хорошей диспергируемости в воде, эмульсионной стабильности и пенообразованию сывороточных белков их успешно используют в производстве различных напитков [102].

Применение ГСБ в напитках с высоким содержанием белка повышает усвояемость,

абсорбцию азота, пищевую ценность, снижает аллергенность, их все чаще используют в напитках для спортсменов, а также в напитках на молочной основе, например в горячем шоколаде, кофе, чае [52]. Производство алкогольных напитков на основе молочной сыворотки включает: сывороточное пиво, вино, игристые вина (шампанские) из сыворотки, характеризующиеся низким содержанием алкоголя (1,5%) [103–109].

ЦЕЛЕБНОСТЬ МОЛОЧНОЙ СЫВОРОТКИ

Сывороточные белки являются ценным и важным источником белков для здоровья человека благодаря биологическим свойствам активных компонентов, таких как: антиоксиданты, иммуномодуляторы и стимуляторы, противоопухолевые комплексы и т.д., обусловленные различными механизмами действия, связанными с их функциональными свойствами.

Антиоксидантная активность сыворотки, скорее всего, связана с ее вкладом в синтез глутатиона (GSH). Цистеин, который содержит антиоксидантную тиоловую группу, соединяется с глицином и глутаматом с образованием глутатиона. GSH является основным эндогенным антиоксидантом, продуцируемым клетками, обеспечивающими выработку РНК, ДНК и белков посредством окислительно-восстановительного цикла от восстановленной формы GSH к окисленной форме дисульфида глутатиона (GSSG). Через прямое конъюгирование GSH детоксифицирует ряд эндогенных и экзогенных токсинов, включая токсичные металлы, нефтяные дистилляты, перекись липидов, билирубин и простагландины [108].

Лактоферрин демонстрирует способность стимулировать иммунные ответы с участием NK-клеток (естественные клетки-киллеры), нейтрофилов, а также активировать макрофаги за счет увеличения цитокинов [109, 110].

Исследования показали, что лактоферрин действует как противовоспалительное средство, регулируя фактор некроза опухоли и уровни интерлейкина-6 [110]. Из-за способности хелатировать железо организмы, нуждающиеся в нем для репликации, оказываются особенно уязвимыми к воздействию лактоферрина [111].

β -Lg содержит антигипертензивные пептиды, которые снижают артериальное давление так же значительно, как и ингибиторы ангиотензинпревращающего фермента (АПФ). Эффекты, понижающие холестерин, были отмечены в результате изменений растворимости мицеллярного холестерина в кишечнике. Другим механизмом обеспечения полезных эффектов может быть образование пептидов в результате гидро-

лиза сывороточных белков. Пептид молочной сыворотки является одним из основных, ингибирующих АПФ, который вызывает эффекты, регулирующие кровяное давление [112].

Исследования показали, что сывороточные белки могут предотвращать диабет 2-го типа и заболевания, связанные с накоплением жира, благодаря их способности снижать уровень сахара в крови и повышать секрецию инсулина. Они могут стимулировать секрецию глюкозозависимых гормонов инсулинотропного полипептида (GIP) и глюкагоноподобного пептида-1 (GLP-1), особенно из стенки толстой кишки. Эти два гормона, также стимулируя бета-клетки поджелудочной железы, могут увеличить секрецию инсулина и снизить уровень сахара в крови у пациентов с диабетом [113–115].

Потребление белков молочной сыворотки людьми с избыточным весом и ожирением снижает уровень липидов в крови. В некоторых исследованиях утверждается, что эти белки снижают уровень триглицеридов и холестерина за счет содержания биологически активных компонентов (лактальбуминов, ингибиторов АПФ и аминокислот с разветвленной цепью). Они также вызывают выведение жиров и предотвращают накопление жира в организме [116–119].

Добавки из сывороточных белков могут укрепить иммунную систему и улучшить состояние организма, вызванное сахарным диабетом. Различные соединения сывороточного белка, такие как α -лактальбумин, β -лактальбумин и лактоферрин, возможно, предотвращают образование интерлейкина 6 (IL-6) и действие других воспалительных факторов [120].

По мнению некоторых авторов, сывороточные белки могут: вызывать значительное увеличение глутатиона в плазме у пациентов с ВИЧ; предотвращать рост опухоли и образование рака толстой кишки, причем этот эффект сильнее при использовании гидролизатов сывороточного белка [121–124]; уменьшать воспаление и повышать антиоксидантную защиту у пожилых пациентов, особенно после инфаркта миокарда; уменьшать воздействие воспалительных факторов, предотвращая накопление и хранение жира в тканях [125, 126].

Сывороточные белки влияют на иммунные клетки, секрецию цитокинов, антитела, фагоцитарную активность, гранулоциты и активность NK-клеток. Могут повышать антиоксидантную активность глутатионпероксидазы, каталазы, супероксиддисмутазы, снижать активность противовоспалительных и воспалительных факторов, таких как: интерлейкин 1, бета(IL-1 β),

интерлейкин 6(IL-6) и фактор некроза опухоли (TNF- α) у людей с ожирением, диабетиков и пациентов с инфарктом миокарда [127].

Другим свойством сывороточных белков является противораковый эффект [128], они также могут стимулировать выработку Т- и В-клеток [129]. Показано, что сывороточный протеин оказывает противовоспалительное действие у пациентов с ВИЧ и с дефицитом глутатиона.

Сывороточный лактоферрин обеспечивает защиту пациентов после операций, регулируя иммунную систему и снижая риск инфекций [130]. Белково-сывороточный концентрат обладает антиоксидантной активностью и способствует выведению свободных радикалов [131].

Сывороточные белки могут способствовать предотвращению рака (груди, кишечника), а также защищать от опухолей толстой кишки и молочной железы. Исследования *in vivo* показали, что противораковые и противоопухолевые активности концентрата сывороточного белка обусловлены повышением концентрации глутатиона (GSH) в соответствующих тканях и стимулированием иммунитета через GSH, а также фактически вызывают противоопухолевые эффекты в начальной стадии развития опухолей. БСК может уменьшить опухолевые клетки, которые имеют более высокую концентрацию GSH, чем нормальные, делая их более уязвимыми для химиотерапии [132].

Гидролизированный изолят сывороточных белков (ИСБ) защищает от клеточной гибели, вызванной окислительным воздействием, вследствие повышенного синтеза GSH. ИСБ также может защищать от рака благодаря воздействию в качестве дополнения к байкалеину – противораковому препарату. Цитотоксичность этой молекулы усиливается путем индукции нескольких апоптозов в клеточной линии гепатомов человека Hep G2, что, в свою очередь, связано с истощением GSH [133].

Использование сывороточных белков у пациентов с гепатитом В демонстрирует улучшение маркеров функции печени, снижение уровня сывороточной липидпероксидазы и повышение активности интерлейкина-2 и NK-клеток. Что касается гепатита С, исследование *in vitro* показало, что лактоферрин предотвращает вирус гепатита С в линии гепатоцитов человека [134, 135].

Потеря мышечной массы с возрастом, известная как саркопения, представляет собой синдром, характеризующийся прогрессирующей генерализованной потерей массы и силы

скелетных мышц у пожилых людей. Саркопения возникает, когда пожилые люди становятся менее активными и не потребляют достаточного количества пищевого белка, что приводит к снижению массы тела и функциональных возможностей [136]. В настоящее время рекомендуемая белковая диета (RDA) составляет 0,8 г/кг/день, но почти 40% людей старше 70 лет не следуют этой рекомендации. Сывороточный белок является превосходным выбором, чтобы заполнить этот пробел. ИСБ имеет хорошее питательное качество с высоким содержанием незаменимых аминокислот и аминокислот с разветвленной цепью, в частности аминокислоты лейцин, по сравнению с другими источниками белка [137, 138]. Имеющиеся данные убедительно свидетельствуют, что сывороточный белок можно использовать как уникальную, хорошо документированную качественную белковую добавку для предотвращения саркопении во время старения [139].

Все макро- и микроэлементы молочной сыворотки могут использоваться для энергетического поддержания организма человека. Углеводы МС являются превосходным источником для получения широкого спектра пребиотиков. Особую роль играет белковый состав МС, который является ценным источником с богатым содержанием незаменимых аминокислот и обладает структурными, функциональными и целебными свойствами для поддержания здоровья. Минеральные вещества МС жизненно важны для организма и являются необходимой составляющей человеческого рациона питания [140].

ВЫВОДЫ

Молочная сыворотка, которая первоначально в течение десятилетий считалась бесполезным побочным продуктом после первичной обработки молока, стала чрезвычайно важной для получения ценных пищевых добавок, обладающих высокой усвояемостью [141]. При обработке молочной сыворотки нужно учесть исходное содержание сухих веществ каждого типа исследуемой МС (в особенности белкового и минерального состава), что, в свою очередь, непосредственно определяется условиями и особенностями получения первичных молочных продуктов.

Таким образом, на основе анализа значительного количества публикаций и накопленного опыта в части химического состава, классификации, производных следует подчеркнуть очевидность и целесообразность использования молочной сыворотки (МС) для извлечения и широкого употребления содержащихся ценных компонентов сухого вещества, разработки и

освоения новейших технологий. Разнообразный белковый состав позволяет создать множество сывороточных белковых производных, таких как: сухой МС/сывороточный порошок из КСМ и СМС; сухая деминерализованная сывортка (25, 50 и 90%); сывороточный порошок без лактозы; белково-сывороточные концентраты с содержанием 34, 50, 60, 75 и 80%; изоляты сывороточного белка; гидролизаты сывороточного белка; белково-минеральные концентраты; лактоза (промышленная, пищевая, фармацевтическая); производные лактозы – лактитол, лактулоза, галактоолигосахариды; отдельные белки (лактоферрин, лактопероксидаза, гликомакропептиды); молочные минералы; пермеат.

Многочисленные функциональные и пищевые свойства сывороточных белков и продуктов на их основе позволяют обеспечить применение производных молочной сывортки в широких разветвлениях пищевой промышленности.

Целебные свойства молочной сывортки и ее производных, такие как антиоксидантные, иммуномодуляторные и стимуляторные, противоопухолевые, обусловленные различными механизмами действия, связанными с их функциональными свойствами, позволяют получить разнообразный спектр биологически активных добавок, применяемых в фармацевтической отрасли.

Выделение и получение широкого спектра ценных производных из молочной сывортки предопределяют возможность применения различных методов, основанных на определенных процессах обработки молочной сывортки, или их комбинирования для эффективной экстракции ценных компонентов, создания безотходных циклов обработки при одновременном сокращении энергетических затрат и соблюдении высоких экологических требований.

Во второй части работы будут рассмотрены процессы и методы обработки молочной сывортки: термические, химические, физико-химические, биотехнологические, электрофизические.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках проекта ANCD 20.80009.5007.06 (2020–2023) «Интенсификация процессов переноса и обработки в электрических, электромагнитных, кавитационных полях; практичность».

ЛИТЕРАТУРА

- Baldasso, C., Barros, T.C., Tessaro, I.C., Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration, *Desalination*, 2011, vol. 278, p. 381.
- Spalatel, C., Biotechnological valorization of whey, *Innov. Rom. Food Biotechnol.*, 2012, no. 10, p. 1.
- Koller, M., Bona, R., Braunegg, G., Hermann, C., et al., Production of polyhydroxyalkanoates from agricultural waste and surplus materials, *Biomacromolecules*, 2005, vol. 6, no. 2, p. 561.
- El-Tanboly, E.S., El-Hofi, M.K., Recovery of cheese whey, a by-product from the dairy industry for use as an animal feed, *J. Nutr. Health Food Eng.*, 2017, vol. 6, no. 5, p. 148. doi:10.15406/jnhfe.2017.06.00215.
- Pais Chanfrau, J.M., Núñez Pérez, J., Lara Fiallos, M.V., Rivera Intriago, L.M., et al., Milk whey-from a problematic byproduct to a source of valuable products, *Prensa Med. Argent.*, 2017, vol. 103, no. 4, p. 1. doi: 10.4172/lpma.1000257.
- Kassem Jihan, M., Future challenges of whey proteins, *Int. J. Dairy Sci.*, 2015, vol. 10, no. 4, p. 139.
- Photis, P., Paschalia, K., Technological utilization of whey towards sustainable exploitation, *J. Adv. Dairy Res.*, 2019, vol. 7, no. 231, p. 1. doi: 10.35248/2329-888X.19.7.231.
- Geoffrey, W.S., Ballard, F.J., Copeland, A.D., Kirthi J., de Silva et al., New opportunities from the isolation and utilization of whey proteins, *J. Dairy Sci.*, 1996, vol. 79, no. 8, p. 1454.
- Сенкевич, Т., Ридель, К.Л., *Молочная сывортка: переработка и использование в агропромышленном комплексе*, М.: Агропромиздат, 1989, 270 с.
- Clare, D., Swaisgood, H., Bioactive milk peptides: A prospectus, *J. Dairy Sci.*, 2000, vol. 83, p. 1187.
- Mohamed, N.E., Anwar, M.M., Chemical and biological evaluation of whey, *Egypt. J. Rad. Sci. Applic.*, 2013, vol. 26, no. 1–2, p. 55.
- Gangurde, H., Patil, P.S., Chordiya, M., Baste, N.S., Whey protein, *Scholars' Research J.*, 2011, vol. 1, no. 2, p. 69.
- Silviya, R.M., Bhumika, K.D., Parmar, S.C., Aparnathi, K.D., Whey and its Utilization, *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, 2016, vol. 5, no. 8, p. 134.
- Храмцов, А.Г., Панова, Н.М., Рябцева, С.А., Евдокимов, И.А., и др., Разработка технологии бифидо-активных кормовых добавок на основе молочного белково-углеводного сырья, *Сборник научных трудов. Серия «Продовольствие»*. Ставрополь: ГОУВПО «СевКавГТУ», 2002, № 5, с. 67.
- Rojas, E., Torres, G., Isolation and recovery of glycomacropeptide from milk whey by means of thermal treatment, *Food. Sci. Technol. Int.*, 2013, vol. 33, no. 1, p. 14.
- Чабаев, М.Г., Абилов, Б.Т., Крючков, П.Г., Использование бифидоактивной кормовой добавки при выращивании молодняка сельскохозяйственных животных, *Сельскохозяйственный журнал*, 2003, vol. 1, no. 2–2, с. 29.

17. Храпцов, А.Г., Василисин, С.В., Рябцева, С.А., Воротникова, Т.С., *Технология продуктов из вторичного молочного сырья*, Санкт-Петербург, ООО Издательство ГИОРД, 2009, с. 424.
18. Храпцов, А.Г., *Новації молочной сыворотки*, Санкт-Петербург: Профессия, 2016, с. 490.
19. Barukčić, I., Lisak, J.K., Božanić, R., Valorisation of whey and buttermilk for production of functional beverages – An overview of current possibilities, *Food Technol. Biotechnol.*, 2019, vol. 57, no. 4, p. 448. doi:10.17113/ftb.57.04.19.6460
20. Ramos, O.L., Pereira, R.N., Rodrigues, R.M., Teixeira, J.A., et al., *Whey and whey powders: Production and uses*, The Encyclopedia of Food and Health vol. 5, Caballero, B., Finglas, P., Toldrá, F. (eds.), Oxford: Academic Press, 2016, p. 498–505.
21. Božanić, R., Barukčić, I., Jakopović, K.L. and Tratnik, L., Possibilities of whey utilisation, *Austin J. Nutri. Food Sci.*, 2014, vol. 2, no. 7, p. 1.
22. Davoodi, S.H., Shahbazi, R., Esmaeili, S., Sohrabvandi, S., et al., Health-related aspects of milk proteins, *Iranian journal of pharmaceutical research: IJPR*, 2016, vol. 15, no. 3, p. 573.
23. Lievore, P., Simões, D.R., Silva, K.M., et al., Chemical characterisation and application of acid whey in fermented milk, *J. Food Sci. Technol.*, 2015, vol. 52, no. 4, p. 2083. doi: 10.1007/s13197-013-1244-z.
24. Лукин, А.А., Применение молочной сыворотки в технологии продуктов питания, *Сборник работ 67-й научной конференции Секции технических наук*, Челябинск, Издательский центр ЮУрГУ, 2015, ч. 48, н. 34, с. 523–527.
25. Храпцов, А.Г., *Молочная сыворотка*, Москва: Агропромиздат, 1990, с. 240.
26. Nishanthi, M., Chandrapala, J., Vasiljevic, T., Compositional and structural properties of whey proteins of sweet, acid and salty whey concentrates and their respective spray dried powders, *Int. Dairy J.*, 2017, vol. 74, p. 49. doi: 10.1016/j.idairyj.2017.01.002.
27. Chandrajith, V.G.G., Karunasena, G.A.D.V., Applications of whey as a valuable ingredient in food industry, *Dairy and Vet. Sci. J.*, 2018, vol. 6 no. 5, p. 555. doi: 10.19080/JDVS.2018.06.555698.
28. Didukh, G., Sweet whey as a raw material for the dietary supplements obtaining with immunomodulatory effect, *Food Sci. Technol. Int.*, 2017, vol. 11, no. 2, p. 1. doi: 10.15673/fst.v11i2.506
29. Ong, L., Dagastine, R., Kentish, S., Gras, S., Microstructure and composition of full fat cheddar cheese made with ultrafiltered milk retentate, *Foods*, 2013, vol. 2, no. 3, p. 310. doi: 10.3390/foods2030310.
30. Kapoor, R., Metzger, L.E., Evaluation of salt whey as an ingredient in processed cheese, *J. Dairy Sci.*, 2004, vol. 87, no. 5, p. 1143.
31. El-Tanboly, El-Hofi, M., Youssef, Y.B., El-Desoki, W., et al., Utilization of salt whey from Egyptian Ras (cephalotyre) cheese in microbial milk clotting enzymes production, *Acta scientiarum polonorum. Technologia alimentaria*, 2013, vol. 12, no. 1, p. 9.
32. Blaschek, K.M., Wendorff, W.L., Rankin, S.A., Survey of salty and sweet whey composition from various cheese plants in Wisconsin, *J. Dairy Sci.*, 2007, vol. 90, no. 4, p. 2029. doi: 10.3168/jds.2006-770.
33. Nishanthi, M., Chandrapala, J., Vasiljevic, T., Properties of whey protein concentrate powders obtained by spray drying of sweet, salty and acid whey under varying storage conditions, *J. Food Eng.*, 2017, vol. 214, p. 137.
34. Uniacke-Lowe, T., Huppertz, T., Fox, P.F., Equine milk proteins: chemistry, structure and nutritional significance, *Int. Dairy J.*, 2010, vol. 20, no. 9, p. 609. doi:10.1016/j.idairyj.2010.02.007.
35. Junior, I., Santos, J., Costa L., Costa, R., et al., Sheep milk: Physical-chemical characteristics and microbiological quality, *Arch. Latinoam. Nutr.*, 2015, vol. 65, no. 3, p. 193.
36. Park, Y.W., Juarez, M., Ramos, M., Haenlein, G.F.W., Physicochemical characteristics of goat and sheep milk, *Small Ruminant Research*, 2007, vol. 68, no. 1–2, p. 88.
37. Moatsou, G., Hatzinaki, A., Samolada, M., Anifantakis, E., Major whey proteins in ovine and caprine acid wheys from indigenous greek breeds, *Int. Dairy J.*, 2005, vol. 15, p. 123.
38. Birsan, B.S., Nihat, A., Functionality of Whey Protein, *Int. J. Health Nutr.*, 2012, vol. 3, no. 1, p. 1.
39. Madureira, A.R., Pereira, C.I., Gomes, A.M.P., et al., Bovine whey proteins – Overview on their main biological properties, *Food Res. Int.*, 2007, vol. 40, no. 10, p. 1197.
40. Gernigon, G., Schuck, P., Jeantet, R., Burling, H., *Deminceralisation. Whey Processing. In: Encyclopedia of Dairy Sciences*, 2nd Fuquay JF editor, Academic Press – An Imprint of Elsevier, 2011, vol. 4, p. 738–743.
41. O'Regan, J., Ennis, M.P., Mulvihill, D.M., *Milk proteins. Handbook of Hydrocolloids*, Second Edition, G.O. Phillips, P.A. Williams, Ireland: Woodhead Publishing, 2009, p. 298–358.
42. Alexandra, L.Y., Laetitia, M.B., Winnie, Y., Andrew, M., et al., Fractionation of whey protein isolate with supercritical carbon dioxide—process modeling and cost estimation, *Int. J. Mol. Sci.*, 2012, vol. 13, p. 240. doi: 10.3390/ijms13010240.
43. Torres-León, C., Ramírez-Guzmán, N., Londoño-Hernández, L., Martínez-Medina, G.A., et al., Food waste and byproducts: an opportunity to minimize malnutrition and hunger in developing countries. *Front. Sustain. Food Syst.*, 2018, vol. 2, p. 1. doi: 10.3389/fsufs.2018.00052.
44. Kadam, B., Ambadkar, R., Rathod, K., Landge, S., Health benefits of whey- a brief review, *Int. J. Livest.*

- Res.*, 2018, vol. 8, no. 5, p. 31. doi: 10.5455/ijlr.20170411022323.
45. Antonio, G., Fernando, C., Emilia, M.G., Production of whey protein hydrolysates with reduced allergenicity in a stable membrane reactor, *J. Food Eng.*, 2006, vol. 72, p. 398.
 46. Anssi, H.M., Protein hydrolysates in sports nutrition, *Nutr. Metab.*, 2009, vol. 6, no. 38, p. 1. doi: 10.1186/1743-7075-6-38.
 47. Patel, S., Functional foods relevance of whey protein: A review of recent findings and scopes ahead, *J. Func. Foods*, 2015, vol. 19, p. 308.
 48. Baldasso, C., Barros, T.G., Tessaro, I.C., Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration, *Desalination*, 2011, vol. 278, no. 1–3, p. 381.
 49. Bucci, L., Unlu, L., *Proteins and amino acid supplements in exercise and sport. Energy yielding macronutrients and energy metabolism in sports nutrition*, Driskell J., Wolinsky I., Boca Raton, FL: CRC Press. 2000, p. 191–212.
 50. Hulmi, J.J., Lockwood, C.M., Stout, J.R., Effect of protein/essential amino acids and resistance training on skeletal muscle hypertrophy: A case for whey protein, *Nutr. Metab.*, 2010, vol. 7, no. 1, p. 1. doi: 10.1186/1743-7075-7-51.
 51. Snežana, J., Miroljub, B., Ognjen, M., Whey proteins-properties and possibility of application, *Mljekarstvo*, 2005, vol. 55, no. 3, p. 215.
 52. Soares de Castro, R.J., Aliciane, F.D.M., Ohara, A., Okuro, P.K., et al., Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications, *Food Struct.*, 2017, vol. 14, p. 17.
 53. Ha, E., Zemel, M.B., Functional properties of whey, whey components, and essential amino acids: Mechanisms underlying health benefits for active people (review), *J. Nutr. Biochem.*, 2003, vol. 14, no. 5, p. 251.
 54. Dalziel, J.E., Anderson, R.C., Bassett, S.A., Lloyd-West, C.M., et al., Influence of bovine whey protein concentrate and hydrolysate preparation methods on motility in the isolated rat distal colon, *Nutrients*, 2016, vol. 8, no. 12, p. 809.
 55. Pelegrine, D.H.G., Gomes, M.T.M.S., Analysis of whey proteins solubility at high temperatures, *Int. J. Food Eng.*, 2012, vol. 8, no. 3, p. 1556.
 56. Jeewanthi, R.K.C., Paik, H.D., Kim, M.H., Lee, N.K., et al., Characteristics of whey protein hydrolysates from cheese whey, favors on various food applications, *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.*, 2014, vol. 20, no. 4, p. 503.
 57. Kriti, S., Chauhan, E.S., Multifaceted whey protein: its applications in food industry, *Int. J. Med. Sci. Public Health*, 2018, vol. 8, no. 10, p. 262.
 58. Peters, J.P., Vergeldt, F., As, H.V., Luyten, H., et al., Time domain nuclear magnetic resonance as a method to determine and characterize the water-binding capacity of whey protein microparticles, *Food Hydrocoll.*, 2016, vol. 54, p. 170.
 59. Ranganathan, K., Sulaxana, K.C., Gokul, S., Vijayalakshmi, S. et al., Whey Proteins: A potential ingredient for food industry – A review, *Asian J. Dairy & Food Res.*, 2018, vol. 37, no. 4, p. 283.
 60. Guzey, D., McClements, D.J., Formation, stability and properties of multilayer emulsions for application in the food industry, *Adv. Colloid Interface Sci.*, 2006, vol. 128–130, p. 227.
 61. Marta, H., David, G., Carlos, P., Liquid whey protein concentrates produced by ultrafiltration as primary raw materials for thermal dairy gels, *Food Technol. Biotechnol.*, 2017, vol. 55, no. 4, p. 454.
 62. Skelte, G.A., Effect of whey protein addition and pH on the acid gelation of heated skim milk, *Int. Dairy J.*, 2018, vol. 79, p. 5.
 63. Davis, J.P., Doucet, D., Foegeding, E.A., Foaming and interfacial properties of hydrolyzed β -lactoglobulin, *J. Colloid Interface Sci.*, 2005, vol. 288, no. 2, p. 412.
 64. Wright, B.J., Zevchak, S.E., Wright, J.M., Drake, M.A., The impact of agglomeration and storage on flavor and flavor stability of whey protein 80% and whey protein isolate, *J. Food Sci.*, 2009, vol. 74, no. 1, p. 17.
 65. Renda, K.C.J., Na-Kyoung, L., Hyun-Dong, P., Improved functional characteristics of whey protein hydrolysates in food industry, *Korean J. Food Sci. An.*, 2015, vol. 35, no. 3, p. 350.
 66. Patel, S., Emerging trends in nutraceutical applications of whey protein and its derivatives, *J. Food Sci. Tech. Mys.*, 2015, vol. 52, no. 11, p. 1. doi: 10.1007/s13197-015-1894-0.
 67. Sithole, R., McDaniel, M.R., Goddik, L.M., Rate of maillard browning in sweet whey powder, *J. Dairy Sci.*, 2005, vol. 88, no. 5, p. 1636. doi:10.3168/jds.S0022-0302(05)72835-6.
 68. Mallee, L., Steijns, J., Whey protein concentrates from acidic whey: Benefits for use in infant formulas, *Agro Food Ind. Hi Tech*, 2007, vol. 18, no. 2, p. 24.
 69. Murphy, E.G., Roos, Y.H., Hogan, S.A., Maher, P.G., et al., Physical stability of infant milk formula made with selectively hydrolysed whey proteins, *Int. Dairy J.*, 2015, vol. 40, p. 39.
 70. López-Rubio, A., Lagaron, J.M., Whey protein capsules obtained through electrospraying for the encapsulation of bioactives, *Innov. Food Sci. Em. Technol.*, 2012, vol. 13, p. 200.
 71. Picaud, J.C., Pajek, B., Arciszewska, M., Tarczón, I., et al., An infant formula with partially hydrolyzed whey protein supports adequate growth and is safe and well-tolerated in healthy, term infants: A randomized, double-blind, equivalence trial, *Nutrients*, 2020, vol. 12, no. 7, p. 2072.
 72. Awad, R.A., Hassan, Z.M.R., Farrag, A.F., El-Sayed, M.M., et al., The use of whey protein isolate in microencapsulation of curcumin, *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 2015, vol. 4, no. 3, p. 125.

73. Tavares, G.M., Croguennec, T., Carvalho, A.F., Bouhallab, S., Milk proteins as encapsulation devices and delivery vehicles: Applications and trends, *Trends Food Sci. Tech.*, 2014, vol. 37, no. 1, p. 5.
74. Kerche, F., Weterings, M.J., Beyrer, M., The effect of temperature and shear upon technological properties of whey protein concentrate: Aggregation in a tubular heat exchanger, *Int. Dairy J.*, 2016, vol. 60, p. 32.
75. Pinto, S.S., Fritzen-Freire, C.B., Benedetti, S., Murakami, F.S., et al., Potential use of whey concentrate and prebiotics as carrier agents to protect *Bifidobacterium*-BB-12 microencapsulated by spray drying, *Food Res. Int.*, 2015, vol. 67, p. 400.
76. Galus, S., Kadzińska, J., Whey protein edible films modified with almond and walnut oils, *Food Hydrocoll.*, 2016, vol. 52, p. 78.
77. Frenzel, M., Steffen-Heins, A., Whey protein coating increases bilayer rigidity and stability of liposomes in food-like matrices, *Food Chem.*, 2015, vol. 173, p. 1090.
78. Pintado, C.M.B.S., Ferreira, M.A.S.S., Sousa, I., Properties of whey-protein based films containing organic acids and nisin to control *Listeria monocytogenes*, *J. Food Prot.*, 2009, vol. 72, no. 9, p. 1891.
79. Seydim, A.C., Sarikus, G., Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oil, *Food Res. Int.*, 2006, vol. 39, no. 5, p. 639.
80. Mostafa, S., Dilek, S., Nuray, S., Functional properties and nutritional quality of whey proteins, *J. Int. Environ. Appl. Sci.*, 2017, vol. 12, no. 4, p. 334.
81. Marshall, K., Therapeutic applications of whey protein, *Altern. Med. Rev.*, 2004, vol. 9, no. 2, p. 136.
82. Kokoszka, S., Debeaufort, F., Lenart, A., Voilley, A., Water vapour permeability, thermal and wetting properties of whey protein isolate based edible films, *Int. Dairy J.*, 2010, vol. 20, no. 1, p. 53.
83. Min S., Rumsey, T.R., Krochta, J.M., Diffusion of the antimicrobial lysozyme from a whey protein coating on smoked salmon, *J. Food Eng.*, 2008, vol. 84, no. 1, p. 39.
84. Lappa, I.K., Papadaki, A., Kachrimanidou, V., Terpou, A., et al., Cheese whey processing: Integrated biorefinery concepts and emerging food applications, *Foods*, 2019, vol. 8, no. 8, p. 347.
85. Dutra, M.P., Cardoso, G.P., Ramos, E., Ramos, A.L., et al., Technological and sensory quality of restructured low-fat cooked ham containing liquid whey, *Cienc. Agrotec.*, 2012, vol. 36, p. 86.
86. Taylor, B.J., Walsh, M.K., Development and Sensory analysis of a textured whey protein meatless patty, *J. Food Sci.*, 2002, vol. 64, p. 1555.
87. Youssef, M.K., Barbut, S., Effects of two types of soy protein isolates, native and preheated whey protein isolates on emulsified meat batters prepared at different protein levels, *Meat Sci.*, 2011, vol. 87, no. 1, p. 54.
88. Kusio, K., Szafrńska, J.O., Radzki, W., Sołowiej, B.G., Effect of whey protein concentrate on physicochemical, sensory and antioxidative properties of high-protein fat-free dairy desserts, *Appl. Sci.*, 2020, vol. 10, no. 20, p. 7064.
89. Yilsay, T.O., Yilmaz, L., Bayazit, A.A., The effect of using a whey protein fat replacer on textural and sensory characteristics of low-fat vanilla ice cream, *Eur. Food Res. Technol.*, 2006, vol. 222, no. 1, p. 171.
90. Zhang, T., McCarthy, J., Wang, G.R., Liu, Y.Y., et al., Physicochemical properties, microstructure, and probiotic survivability of nonfat goats' milk yogurt using heat-treated whey protein concentrate as fat replacer, *J. Food Sci.*, 2015, vol. 80, no. 4, p. 788.
91. Ognean, C., Darie, N., Ognean, M., Fat replacers – Review, *J. Agroaliment. Processes Technol.*, 2006, 12, no. 2, p. 433.
92. Ceglińska, A., Pluta, A., Skrzypek, J., Krawczyk, P., Study on the application of nanofiltrated whey-derived mineral components in the production of bread, *Zywnosc. Nauka. Technologia Jakosc*, 2007, vol. 6, no. 55, p. 234.
93. Jisha, S., Padmaja, G., Whey protein concentrate fortified baked goods from cassava-based composite flours: nutritional and functional properties, *Food Bioprocess Technol.*, 2011, vol. 4, p. 92. doi: 10.1007/s11947-008-0175-6.
94. Nastaj, M., Sołowiej, B., Gustaw, W., Physicochemical properties of high protein meringues made from different whey protein preparations, *Zywnosc. Nauka. Technologia. Jakosc*, 2014, vol. 21, no. 2, p. 33.
95. Jooyandeh, H., Minhas, K.S., Kaur, A., Sensory quality and chemical composition of wheat breads supplemented with fermented whey protein concentrate and whey permeate, *J. Food Sci. Technol.*, 2009, vol. 46, no. 2, p. 146.
96. Conforti, P.A., Lupano, C.E., Functional properties of biscuits with whey protein concentrate and honey, *Int. J. Food Sci.*, 2004, vol. 39, p. 745.
97. Flinois J., Dando, R., Padilla-Zakour, O., Yogurt acid whey utilization for production of baked goods: pancakes and pizza crust, *Foods*, 2019, vol. 8, no. 12, p. 615. doi:10.3390/foods8120615.
98. Delikanli, B., Ozcan, T., Effects of various whey proteins on the physicochemical and textural properties of set type nonfat yoghurt, *Int. J. Dairy Technol.*, 2014, vol. 67, p. 495.
99. Salvatore, E., Pes, M., Falchi, G., et al., Effect of whey concentration on protein recovery in fresh ovine ricotta cheese., *J. Dairy Sci.*, 2014, vol. 97, no. 8, p. 4686.
100. Pinto, S., Rathour, A.K., Prajapati, J., Jana, A., et al., Utilization of whey protein concentrate in processed cheese spread, *Indian J. Nat. Prod. Resour.*, 2007, vol. 6, p. 398.
101. Hosseini, M., Najafi, M.H., Mohebbi, M., Modification in the functional properties of sodium caseinate-based imitation cheese through use of whey

- protein and stabilizer, *J. Agric. Sci. Technol.*, 2014, vol. 16, p. 1313.
102. Chavan, R.S., Shraddha, R.C., Kumar, A., Nalawade, T., Whey based beverage: Its functionality, formulations, health benefits and applications, *J Food Process Technol.*, 2015, vol. 6, no. 10, p. 1. doi:10.4172/2157-7110.1000495.
 103. Smithers, G.W., Whey and whey proteins – From ‘gutter-to-gold’, *Int. Dairy J.*, 2008, vol. 18, no. 7, p. 695.
 104. Baldissera, A.C., Della Betta, F., Penna, A.L.B., Lindner, J.D., Functional foods: a new frontier for developing whey based protein beverages, *Semin.-Cienc. Agrar.*, 2011, vol. 32, 1497.
 105. Jeličić, I., Božanić, R., Tratnik, L., Whey-based beverages – a new generation of dairy products, *Mljekarstvo*, 2008, vol. 58, no. 3, p. 257.
 106. Jolanta, B.K., Tomasz, D., Emilia, J.T., Bartosz, S., Use of whey and whey preparations in the food industry – a Review, *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 2016, vol. 66, no. 3, p. 157.
 107. Chung, C.S., Yamini, S., FDA’s health claim review: Whey-protein partially hydrolyzed infant formula and atopic dermatitis, *Pediatrics*, 2012, vol. 130, no. 2, p. 408.
 108. Rosa, G.D., Yang, D., Tewary, P., Varadhachary, A., et al., Lactoferrin Acts as an Alarmin to Promote the Recruitment and Activation of APCs and Antigen-Specific Immune Responses, *J. Immunol. Res.*, 2008, vol. 180, p. 6868.
 109. Actor, J.K., Hwang, S.A., Kruzel, M.L., Lactoferrin as a natural immune modulator, *Curr. Pharm. Des.*, 2009, vol. 15, no. 17, p. 1956. doi: 10.2174/138161209788453202.
 110. FitzGerald, R., Murray, B.A., Walsh, D.J., Hypotensive peptides from milk proteins, *J. Nutr.*, 2004, vol. 134, no. 4, p. 980. doi: 10.1093/jn/134.4.980s.
 111. Tsutsumi, Y.M., Peptides and proteins in whey and their benefits for human health, *Austin J. Nutri. Food Sci.*, 2014, vol. 1, no. 1, p. 1.
 112. Frid, A.H., Mikael, N., Jens, J.H., Inger, M.E.B., Effect of whey on blood glucose and insulin responses to composite breakfast and lunch meals in type 2 diabetic subjects, *Am. J. Clin. Nutr.*, 2005, vol. 82, no. 1, p. 69.
 113. Nilsson, M., Marianne, S., Anders, H.F., Jens, J.H., et al., Glycemia and insulinemia in healthy subjects after lactose-equivalent meals of milk and other food proteins: The role of plasma amino acids and incretins, *Am. J. Clin. Nutr.*, 2004, vol. 80, no. 5, p. 1246.
 114. Karamanlis, A., Chaikomin, R., Doran, S., Bellon, M., Effects of protein on glycemic and incretin responses and gastric emptying after oral glucose in healthy subjects, *Am. J. Clin. Nutr.*, 2007, vol. 86, no. 5, p. 1364.
 115. Shertzer, H.G., Woods, S.E., Krishan, M., Genter, M.B., et al., Dietary whey protein lowers the risk for metabolic disease in mice fed a high-fat diet., *J. Nutr.*, 2011, vol. 141, no. 4, p. 582.
 116. Sattler, F.R., Rajcic, N., Mulligan, K., Yarasheski, K.E., et al., Evaluation of high-protein supplementation in weight-stable HIV-positive subjects with a history of weight loss: A randomized, double-blind, multicenter trial, *Am. J. Clin. Nutr.*, 2008, vol. 88, no. 5, p. 1313.
 117. Pal, S., Ellis, V., Dhaliwal, S., Effects of whey protein isolate on body composition, lipids, insulin and glucose in overweight and obese individuals, *Br. J. Nutr.*, 2010, vol. 104, no. 5, p. 716.
 118. Bohl, M., Bjørnshave, A., Larsen, M., Gregersen, S., et al., The effects of proteins and medium-chain fatty acids from milk on body composition, insulin sensitivity and blood pressure in abdominally obese adults, *Eur. J. Clin. Nutr.*, 2017, vol. 71, p. 76.
 119. Sookan, T., Motala, A., Ormsbee, M., Antonio, J., et al., Improvement in muscular strength in HIV-infected individuals receiving antiretroviral therapy, *J. Funct. Morphol. Kinesiol.*, 2019, vol. 4, no. 3, p. 66.
 120. Ronis, M., Hakkak, R., Korourian, S., Badger, T., Whey protein hydrolysate but not whole whey protein protects against 7,12-Dimethylbenz(a)anthracene-induced mammary tumors in rats, *Nutr. Cancer.*, 2015, vol. 67, no. 6, p. 949.
 121. Sugihara, Y., Zuo, X., Takata, T., Jin, S., et al., Inhibition of DMH-DSS-induced colorectal cancer by liposomal bovine lactoferrin in rats, *Oncol. Lett.*, 2017, vol. 14, no. 5, p. 5688.
 122. Tsuda, H., Fukamachi, K., Xu, J., Sekine, K., et al., Prevention of carcinogenesis and cancer metastasis by bovine lactoferrin, *Proc. Jpn. Acad. Ser. B. Phys. Biol. Sci.*, 2006, vol. 82, no. 7, p. 208. doi:10.2183/pjab.82.208
 123. Xiao, R., Badger, T.M., Simmen, F.A., Dietary exposure to soy or whey proteins alters colonic global gene expression profiles during rat colon tumorigenesis, *Mol. Cancer*, 2005, vol. 4, no. 1. doi: 10.1186/1476-4598-4-1.
 124. Teixeira, F.J., Santos, H.O., Howell, S.L., Pimentel, G., Whey protein in cancer therapy: A narrative review, *Pharmacol. Res.*, 2019, vol. 144, p. 245. doi: 10.1016/j.phrs.2019.04.019
 125. Attaallah, W., Yilmaz, A.M., Erdoğan, N., Yalçın, A.S., et al., Whey protein versus whey protein hydrolyzate for the protection of azoxymethane and dextran sodium sulfate induced colonic tumors in rats, *Pathology oncology research: POR*, 2012, vol. 18, no. 4, p. 817. doi:10.1007/s12253-012-9509-9
 126. Luhovyy, B.L., Akhavan, T., Anderson, G.H., Whey proteins in the regulation of food intake and satiety, *J. Am. Coll. Nutr.*, 2007, vol. 26, no. 6, p. 704.
 127. Tomé, D., Schwarz, J., Darcel, N., Fromentin, G., Protein, amino acids, vagus nerve signaling, and the brain, *J. Am. Coll. Nutr.*, 2009, vol. 90, no. 3, p. 838.
 128. Gauthier, S.F., Pouliot, Y., Saint-Sauveur, D., Immunomodulatory peptides obtained by the enzymatic hydrolysis of whey proteins, *Int. Dairy J.*, 2006, vol. 16, no. 11, p. 1315.

129. Castro, G.A., Maria, D.A., Bouhallab, S., Sgarbieri, V.C., In vitro impact of a whey protein isolate (WPI) and collagen hydrolysates (CHs) on B16F10 melanoma cells proliferation, *J. Dermatol. Sci.*, 2009, vol. 56, no. 1, p. 51.
130. Vilela, R.M., Lands, L.C., Chan, H.M., Azadi, B., et al., High hydrostatic pressure enhances whey protein digestibility to generate whey peptides that improve glutathione status in CFTR-deficient lung epithelial cells, *Mol. Nutr. Food Res.*, 2006, vol. 50, no. 11, p. 1013.
131. Artym, J., Kocięba, M., Zaczyńska, E., Adamik, B., et al., Immunomodulatory properties of human recombinant lactoferrin in mice: Implications for therapeutic use in humans, *Adv. Clin. Exp. Med.*, 2018, vol. 27, no. 3, p. 391.
132. Gad, A.S., Khadrawy, Y.A., El-Nekeety, A.A., Mohamed, S.R., et al., Antioxidant activity and hepatoprotective effects of whey protein and Spirulina in rats, *Nutrition*, 2011, vol. 27, no. 5, p. 582.
133. Foad, A., Elham, H., Hossein, J., Sayed, A.H.Z.M., et al., Whey proteins: health benefits and food applications, *Int. J. Med. Res. Pharm. Sci.*, 2016, vol. 9, no. 2, p. 63.
134. El-Ansary, M.R., Asaad, A., Khalifa, R.A., Rahman, A.T., et al., Antiviral and immunomodulatory effects of oral bovine lactoferrin therapy among patients with chronic hepatitis C, *Egypt. Liver J.*, 2016, vol. 6, no. 4, p. 81.
135. Redwan, E.M., Almehdar, H.A., El-Fakharany, E.M., Baig, A.K., et al., Potential antiviral activities of camel, bovine, and human lactoperoxidases against hepatitis C virus genotype 4, *RSC Advances*, 2015, vol. 5, p. 60441.
136. Gilmartin, S., O'Brien, N., Giblin, L., Whey for Sarcopenia. Can whey peptides, hydrolysates or proteins play a beneficial role, *Foods*, 2020, vol. 9, no. 6, p. 750.
137. Burton, L.A., Sumukadas, D., Optimal management of sarcopenia, *Clin. Interv. Aging.*, 2010, vol. 5, p. 217.
138. Coker, R.H., Miller, S., Schutzler, S., Deutz, N., et al., Whey protein and essential amino acids promote the reduction of adipose tissue and increased muscle protein synthesis during caloric restriction-induced weight loss in elderly, obese individuals, *Nutr. J.*, 2012, vol. 11, no. 1, p. 105.
139. Pennings, B., Boirie, Y., Senden, J.M., Gijzen, A.P., et al., Whey protein stimulates postprandial muscle protein accretion more effectively than do casein and casein hydrolysate in older men, *Am. J. Clin. Nutr.*, 2011, vol. 93, no. 5, p. 997.
140. Bologna, M.K., Vrabie, E.G., Stepurina T.G., Features of mineralization of protein concentrates during the electrophysical treatment of whey, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2013, vol. 49, no. 6, p. 504.
141. Liao, Y., Peng, Z., Chen, L., Zhang, Y., et al., Prospective views for whey protein and/or resistance training against age-related sarcopenia, *Aging and disease*, 2019, vol. 10, no. 1, p. 157.

Summary

The current state of the art on studying whey is presented. The properties of whey, its chemical composition, classification, and derivatives are represented; the emphasis is made on the usefulness of the valued components of a dry substance and the necessity to develop new technological processes. The protein composition and the characteristics of the whey protein derivatives are presented. The functional and nutritional properties of the whey proteins and products on their basis and the application of whey derivatives in food industry are described. The curative properties of whey and its derivatives (antioxidant, immunomodulatory, stimulatory, antitumor properties) are determined by different mechanisms of the actions associated with their functional properties.

Keywords: whey, whey powder, demineralized whey, concentrates, isolates, hydrolysates, lactose, lactulose