

УДК 664

Перспективы использования сывороточного изолята в технологии сухих смесей для специализированного питания

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**Тамара Алексеевна Сенотрусова**

E-mail: toma.1107@mail.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Сенотрусова, Т.А., Ершова, Т.А., Ли, Н.Г., Лях, В.А., & Медведев, Г.В. (2023). Перспективы использования сывороточного изолята в технологии сухих смесей для специализированного питания. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 125–134. <https://doi.org/10.36107/spfr.2023.4.441>

ПОСТУПИЛА: 03.07.2023**ПРИНЯТА:** 15.12.2023**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.12.2023**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

**АННОТАЦИЯ**

Введение: В современном мире ключевым направлением здравоохранения является поддержка общего здоровья населения, особенно в области предотвращения пищевых заболеваний. В диетологии, при коррекции пищевых рационов для людей, подверженных интенсивным физическим нагрузкам, активно используются сухие белковые смеси, обладающие высокой биологической ценностью. Изолят сывороточного белка, благодаря сбалансированному аминокислотному составу и легкой усвояемости, идеально подходит в качестве основы для таких смесей. Разработка собственных технологий производства специализированных продуктов, включая сухие смеси, является важным шагом в этом направлении.

Цель: Рассмотреть перспективы использования сывороточного изолята, полученного с помощью отечественной технологии.

Материалы и методы: Изучили качественный и количественный анализ аминокислот опытного и контрольного образцов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и осуществили оценку их биологической ценности. Опытным образцом являлся изолят сывороточного белка (СТО ДВФУ 02067942-014-2019), особенностью технологии получения, которого являются усовершенствованные технологические режимы и ультрафильтрация. В качестве контрольного образца применяли изолят сывороточного белка (Pure Iso Whey, VP Laboratory, Великобритания), полученный по стандартной технологии с помощью микро- и ультрафильтрации. Опытный образец: изолят сывороточного белка СТО ДВФУ 02067942-014-2019, полученный с помощью ультрафильтрации. В качестве контрольного образца использовали изолят сывороточного белка (Pure Iso Whey, VP Laboratory, Великобритания), полученный с помощью микро- и ультрафильтрации.

Результаты и их обсуждение: Опытный образец изолята сывороточного белка не отличается от контрольного (промышленного) образца по содержанию незаменимых аминокислот и в некоторых случаях его превосходит. В опытном образце наблюдается высокое содержание аминокислот с разветвленными боковыми цепями – валин, лейцин и изолейцин, которые поддерживают нормальный обмен веществ в мышцах, головном и спинном мозге, нормальное течение регенерации и процесс азотистого баланса в организме, а также данные аминокислоты используются мышцами в качестве источника энергии. Отсюда, опытный образец изолята сывороточного белка может использоваться для производства сухих смесей специализированного назначения, в том числе для спортсменов и населения с повышенными физическими нагрузками.

Выводы: Получены данные об особенностях аминокислотного состава изолята сывороточного белка с помощью использования метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) – наблюдается увеличение содержания незаменимых аминокислот в опытном образце на 5 % по сравнению с контрольным, что может связано с щадящими режимами термической обработки в технологическом процессе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

изолят сывороточного белка; аминокислотный состав; аминокислоты; специализированные продукты питания; сухие смеси

Prospects of Using Whey Isolate in the Technology of Dry Mixes for Specialized Nutrition

Far Eastern Federal University,
Vladivostok, Russian Federation

Tamara A. Senotrusova, Tatyana A. Ershova, Natalia G. Li,
Vladimir A. Lyakh, Georgy V. Medvedev

CORRESPONDENCE:

Tamara Alekseevna Senotrusova

E-mail: shibanoved@mgupp.ru

DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

FOR CITATIONS:

Senotrusova, T.A., Ershova, T.A., Li, N.G., Lyakh, V.A., & Medvedev, G.V. (2023). Prospects of using whey isolate in the technology of dry mixes for specialized nutrition. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 125 – 134. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.4.441>

RECEIVED: 03.07.2023

ACCEPTED: 15.12.2023

PUBLISHED: 30.12.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Introduction: In the modern world, a key direction of healthcare is the support of the general health of the population, especially in the area of preventing food-related diseases. In dietetics, when adjusting diets for people subjected to intense physical activity, dry protein mixes with high biological value are actively used. Whey protein isolate, due to its balanced amino acid composition and easy digestibility, is ideally suited as a base for such mixes. The development of own production technologies for specialized products, including dry mixes, is an important step in this direction.

Purpose: To explore the potential use of whey isolate obtained through domestic technology.

Materials and Methods: We conducted qualitative and quantitative amino acid analysis of experimental and control samples using high-performance liquid chromatography (HPLC). The experimental sample was a whey protein isolate (STO DVFU 02067942-014-2019), characterized by advanced technological regimes and ultrafiltration. The control sample was a whey protein isolate (Pure Iso Whey, VP Laboratory, UK), produced by standard technology using micro- and ultrafiltration.

Results: The experimental whey protein isolate sample showed no significant difference from the commercial (control) sample in terms of essential amino acid content and in some cases even surpassed it. The experimental sample exhibited a high content of branched-chain amino acids – valine, leucine, and isoleucine, which support normal metabolism in muscles, brain, and spinal cord, facilitate regeneration, and maintain nitrogen balance in the body. These amino acids are also used as an energy source by muscles. Therefore, the experimental whey protein isolate sample can be used to produce specialized dry mixtures, including for athletes and people with increased physical demands.

Conclusion: The study provides insights into the amino acid composition of whey protein isolate using high-performance liquid chromatography (HPLC), revealing a 5 % increase in essential amino acids in the experimental sample compared to the control. This increase may be attributed to the gentle thermal treatment regimes in the technological process.

KEYWORDS

Whey protein isolate; amino acid composition; amino acids; specialized food products; dry mixes

ВВЕДЕНИЕ

Одно из основных направлений реализации Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года¹ (далее — Стратегия) является разработка перспективных технологий для производства продуктов питания функционального и специализированного назначения, а также улучшение качества продукции, расширение ассортимента и обеспечение эффективности ее производства, в том числе Стратегия ориентирована на обеспечение профилактики заболеваний, увеличение продолжительности и повышение качества жизни населения, стимулирование развития производства и обращения на рынке пищевой продукции надлежащего качества.

Полноценное питание является особенно важным при лечении и реабилитации населения (Alex, 2022; Morgan-Bathke, 2023; Perugini, 2022). В связи с этим широкое распространение приобрело использование специализированных пищевых продуктов направленного действия — перорального энтерального питания, ассортимент и объем выпуска продукции, которого динамично развивается на международном и национальных уровнях. Искусственное питание может быть энтеральным и парентеральным. В ситуациях, когда работает желудочно-кишечный тракт, предпочтительнее использовать более физиологичное энтеральное питание. Энтеральное питание в последние десятилетия неуклонно внедряется в практику стационаров, хосписов, становится частью домашнего ухода. Это научно обоснованная система назначения питательных веществ (смесей), вводимых в желудок или тонкую кишку через назогастральный или назоеюнальный зонд, гастро-(энтеро)стому или методом сипинга (Alex, 2022; Morgan-Bathke, 2023; Perugini, 2022; Na, 2023; Xiaoshan, 2023).

Уже разработан целый ряд пищевых продуктов и рационов для питания отдельных групп населения (населения с различными заболеваниями, спортсменов, детей различного возраста, беременных и кормящих женщин, различных профессиональных групп рабочих промышленных предприятий и др.), объединенных в одну категорию — специализированное питание. Наиболее часто в качестве

основы сухих смесей для специализированного питания используют изоляты белков растительного или животного происхождения. К примеру, молочный белок сбалансирован по аминокислотному составу и является легкоусвояемым продуктом (Shufang, 2023; Kaili, 2023; Yichen, 2023; Kefan, 2023). В связи с этим наиболее часто используются сывороточные белки для получения сухих смесей. В настоящее время белки отделяются от молока с использованием различных химических и физических методов обработки. Выделение данных белков из молочных композиций является достаточно сложной задачей для исследователей и производителей, поскольку для сохранения активности белков, они не должны быть повреждены или денатурированы во время процесса очистки (Yong, 2023; Dharani, 2022; Mengyao, 2023; Guang-yao, 2023). В связи с этим следует избегать жестких условий обработки, таких как нагревание или длительное воздействие сильной кислоты. Изучены три основных свойства молока как пищевого продукта: легкую усвояемость, способность к возбуждению органов пищеварения и лучшее усвоение азота молока по сравнению с азотом других продуктов. Перевариваемость молока и молочных продуктов колеблется от 95 до 98 % (Xiangyu, 2022; Gessirin, 2022; Xin, 2022; Karoline, 2023).

Щадящие условия технологических режимов при производстве сывороточного изолята белка позволят сохранить уникальные свойства белков, входящих в состав молочных продуктов. Известно, что молоко обладает следующими свойствами: легкая усвояемость, способность к возбуждению органов пищеварения и лучшее усвоение азота молока по сравнению с азотом других продуктов. Перевариваемость молока и молочных продуктов колеблется от 95 до 98 % (Xiangyu, 2022; Gessirin, 2022; Xin, 2022; Karoline, 2023).

Белки молока рекомендуется применять в рациональном питании, важная роль в котором принадлежит белкам животного происхождения. По переваримости и сбалансированности аминокислотного состава белки молока относятся к наиболее биологически ценным, их усвояемость составляет от 96 до 98 %. Белки, входящие в состав молока, разнообразны по строению, физико-хи-

¹ Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 года № 1364-п. <https://docs.cntd.ru/document/420363999>

мическим свойствам и биологическим функциям (Yue, 2023; Yun, 2023; Meng, 2023; Lili, 2023). Установлено, что растворимость в воде препаратов молочных белков зависит от способа их получения. Растворимость большинства концентратов сывороточных белков, полученных ультрафильтрацией, составляет около 90 % в интервале pH 3–8 (максимальная растворимость до 96 % наблюдается при pH 6,5) (Yue, 2023; Yun, 2023; Meng, 2023; Lili, 2023). Перспективным направлением в области производства продуктов переработки молока является усовершенствование технологии производства изолятов сывороточных белков, в том числе изучение особенностей их состава (Tomczyńska-Mleko, 2023; Mazza, 2023; Yao, 2023; Xiaoya, 2023; Yun, 2023).

В современных условиях санкционного режима сухие смеси импортного производства, которые составляют более 80 % рынка, перестали поставляться в РФ, или поставляются по высокой стоимости (Jinpeng, 2023; Kefan, 2022; Yong, 2023). Одни из перспективных, экономически приемлемых и научно обоснованных путей решения проблемы, связанной с коррекцией структуры питания, по мнению многих ученых и практиков в России и за рубежом, является производство и внедрение биологически активных добавок и пищевых функциональных ингредиентов, которые содержат в необходимом количестве комплекс веществ животного и растительного происхождения, необходимых организму. Исходя из этого усовершенствование технологий и разработка продуктов для специализированного питания в виде сухих обогащенных смесей является актуальной задачей.

Целью исследования явилось изучение особенностей аминокислотного состава изолята сывороточного белка (СТО ДВФУ 02067942–014-2019) для оценки его биологической ценности.

Задачи исследования: (1) осуществить качественный и количественный анализ аминокислот изолята сывороточного белка методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ); (2) сравнить качественный и количественный состав аминокислот опытного и контрольного образца.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

*Изолят сывороточного белка
СТО ДВФУ 02067942–014-2019*

Изолят сывороточного белка СТО ДВФУ 02067942–014-2019, полученный с помощью ультрафильтрации. Содержание белка в продукте 92 % (в сухом веществе). Технология получения сывороточного изолята включает концентрирование белков с помощью нагревания сыворотки до 85–88 °С и ультрафильтрации (размер пор мембран не более 0,1 мкм), далее осуществляли высушивание при температуре не более 50 °С до содержания влаги не более 10 %.

*Изолят сывороточного белка
(Pure Iso Whey, VP Laboratory, Великобритания)*

В качестве контрольного образца использовали изолят сывороточного белка (Pure Iso Whey, VP Laboratory, Великобритания), полученный с помощью микро- и ультрафильтрации. Содержание белка в продукте 92 % (в сухом веществе). Технология получения сывороточного изолята включает концентрирование белков с помощью нагревания сыворотки до 90–95 °С, ультра- (размер пор мембран не более 0,1 мкм) и микрофильтрации (от 10 до 0,1 мкм), далее осуществляется высушивание.

Оборудование

Для изучения аминокислотного состава применяли систему высокоэффективной жидкостной хроматографии LC-20 Prominence Shimadzu (Япония, 2011).

Методы

Разделение, качественный и количественный анализ аминокислот сывороточного изолята определяли стандартным методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, используя методы, предложенные Li (2023) и Harun (2023).

Процедура исследования

На первом этапе проводили подготовку образцов по методике, основанной на кислотном гидролизе пептидных связей белков. Далее осуществляли разделение полученных производных на высокоэффективном жидкостном хроматографе LC-20 Prominence Shimadzu. Предколоночная модификация производилась фталевым альдегидом (ФА-производные аминокислот). Неподвижная фаза: ультрасферы ODS, 5 мкм; Подвижная фаза: элюенты- тетрагидрофуран (ТГФ) / 0,05 М ацетат натрия (рН 6,6)/метанол. Хроматографирование проводили в линейно-ступенчатом, градиентном режиме, детектирование (флуоресцентный детектор) — при длине волны в пределах 330 нм. Количественное определение проводили с использованием метода абсолютной калибровки. После выполнения экспериментальной части работы проводили анализ и статистическую обработку полученных данных.

Анализ данных

Расчет биологической ценности белков проводили по стандартной методике для анализа аминокислотного состава опытного и контрольного образцов, в том числе осуществили расчет индекса незаменимых аминокислот (ИНАК), следуя методологии, предложенной Meng (2023). Применяли статистический метод обработки экспериментальных данных, в ходе которого определяли среднее значение искомой величины при 3-х кратной повторности, а также среднеквадратическое отклонение и доверительный интервал при помощи MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В предыдущих исследованиях разработали технологию изготовления изолята сывороточного белка, предназначенного для использования в основе обогащенных сухих смесей². Эта технология отличается применением мягких термических режимов обработки и ультрафильтрации. Полученный по этой технологии изолят (СТО ДВФУ 02067942–014-2019) представляет собой порошок светло-кремового цвета с характерным ароматом и вкусом, без примесей вкуса и запаха, при этом содержание влаги не пре-

вышает 10%. Сравнение органолептических характеристик и влажности опытного образца в текущем исследовании с контрольным показало их сходство.

В рамках оценки пищевой и биологической ценности изолята был проведен качественный и количественный анализ аминокислотного состава как опытного, так и контрольного образцов. Важным этапом исследования стало и определение индекса незаменимых аминокислот (ИНАК), который является комплексным индикатором, отражающим содержание всех незаменимых аминокислот в белке изучаемого продукта. Для «идеального белка» ИНАК составляет 1 (Meng, 2023). Результаты анализа аминокислотного состава и расчет аминокислотного сора представлены в Таблицах 1–3.

Таблица 1

Содержание аминокислот в изолятах сывороточного белка

Наименование аминокислот	Содержание, г/100 г (опытный образец)	Содержание, г/100 г (контрольный образец)
<i>Незаменимые</i>		
Валин	5,7 ± 0,13	5,9 ± 0,10
Изолейцин	6,5 ± 0,18	6,4 ± 0,18
Лейцин	10,9 ± 0,25	10,7 ± 0,21
Лизин	9,4 ± 0,31	9,7 ± 0,28
Метионин	2,3 ± 0,07	2,2 ± 0,13
Треонин	6,8 ± 0,17	6,6 ± 0,15
Триптофан	1,2 ± 0,02	1,3 ± 0,02
Фенилаланин	3,3 ± 0,05	2,9 ± 0,01
Сумма аминокислот	51,5	45,7
<i>Заменимые</i>		
Аланин	5,2 ± 0,19	5,0 ± 0,17
Аргинин	2,5 ± 0,03	2,1 ± 0,05
Аспарагиновая кислота	10,7 ± 0,27	11,1 ± 0,41
Гистидин	1,4 ± 0,01	1,7 ± 0,02
Глутаминовая кислота	18,5 ± 0,76	18,2 ± 0,63
Пролин	5,9 ± 0,04	5,5 ± 0,01
Серин	4,8 ± 0,15	4,6 ± 0,11
Тирозин	2,5 ± 0,01	2,6 ± 0,01
Гистидин	1,6 ± 0,06	1,7 ± 0,04
Сумма аминокислот	51,5	52,5
Общее содержание АК	99,2	98

² СТО ДВФУ 02067942–014-2019, Патент на изобретение RU 2799431 C1, 05.07.2023

Из данных Таблицы 1 следует, что опытный и контрольный образец содержат 8 незаменимых аминокислот для взрослого человека, содержание которых составило в пределах 50 % от общей суммы аминокислот. Аминокислотный состав опытного образца приближен к контрольному образцу, в опытном образце наблюдается более высокое содержание аминокислот по сравнению с контрольным — лейцин, треонин, фенилаланин, аланин, аргинин, глютаминовая кислота и серин. Увеличение массовой доли данных аминокислот наблюдается в пределах от 1,5 до 2 %, данное изменение быть связано с усовершенствованием технологических режимов при производстве изолята сывороточного белка.

Для оценки сбалансированности аминокислотного состава изолята сывороточного белка осуществили расчет аминокислотного сора, который представлен в Таблице 2 и 3.

Анализ опытного образца изолята сывороточного белка показывает, что его аминокислотный профиль близок к характеристикам «идеального белка». Особенно высокое содержание аминокислот

наблюдается у лизина (170,9 %) и треонина (170 %). Метионин (65 %) и фенилаланин (55 %) выступают в роли лимитирующих аминокислот, что, вероятно, обусловлено диетой сельскохозяйственных животных. При сопоставлении общего количества аминокислот в опытном образце изолята сывороточного белка (461 мг) с рекомендованными значениями ФАО/ВОЗ для «идеального белка» (360 мг), можно констатировать, что аминокислотный состав исследуемого образца превышает стандартные показатели на 22 %.

Из анализа данных, представленных в Таблице 3, следует, что аминокислотный состав контрольного образца изолята сывороточного белка приближается к стандартным параметрам «идеального белка». Особенно высокий аминокислотный индекс демонстрируют лизин (176,36 %) и треонин (165 %). В то же время метионин (62,86 %) и фенилаланин (48,33 %) являются лимитирующими аминокислотами, что может быть обусловлено особенностями питания сельскохозяйственных животных. При сравнении общего содержания аминокислот контрольного образца изолята (457 мг) с эталонными значениями ФАО/ВОЗ для «идеального белка»

Таблица 2

Результаты расчета аминокислотного сора (опытный образец)

Наименование аминокислоты	Шкала ФАО/ВОЗ (мг/1 г идеального белка) ³	Содержание в образце, мг/1 г белка	Аминокислотный скор, %
Изолейцин	40	65 ± 0,13	162,50
Лизин	55	94 ± 0,06	170,91
Лейцин	70	109 ± 0,18	155,71
Метионин	35	23 ± 0,25	65,71
Фениланин	60	33 ± 0,31	55,00
Треонин	40	68 ± 0,07	170,00
Триптофан	10	12 ± 0,17	120,00
Валин	50	57 ± 0,02	114,00
Сумма аминокислот	360	461	—

Таблица 3

Результаты расчета аминокислотного сора (контрольный образец)

Наименование аминокислоты	Шкала ФАО/ВОЗ (мг/1 г идеального белка) ⁴	Содержание в образце, мг/1 г белка	Аминокислотный скор, %
Изолейцин	40	64	160,00
Лизин	55	97	176,36
Лейцин	70	107	152,86
Метионин	35	22	62,86
Фениланин	60	29	48,33
Треонин	40	66	165,00
Триптофан	10	13	130,00
Валин	50	59	118,00
Сумма	360	457	—

³ Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. WHO technical report series No. 935. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2007. — 265 p.

⁴ Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. WHO technical report series No. 935. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2007. — 265 p.

(360 мг), контрольный образец превышает стандарт на 21 %. Индекс незаменимых аминокислот (ИНАК) для опытного образца составляет 1,9, а для контрольного — 1,8. Также отмечается увеличение содержания незаменимых аминокислот в продукте на 5 %, что может быть связано с более мягкими условиями термообработки в процессе его изготовления.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ходе проведенного исследования осуществлялся анализ аминокислотного состава разработанного изолята сывороточного белка (СТО ДВФУ 02067942–014-2019), применяя метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Исследование показало, что содержание незаменимых аминокислот в опытном образце сравнимо с контрольным и превосходит его на 5 % по некоторым показателям. Этот рост, вероятно, обусловлен усовершенствованными технологическими режимами тепловой обработки, как предполагает Salari (2020) в своем исследовании о влиянии мягких термических режимов на сохранение биологической ценности белков молока. В планах дальнейших исследований — определение наиболее эффективных технологических условий для увеличения биологической ценности изолята.

Исследования de Souza et al. (2018), Western et al. (2020) и Jinpeng (2022) подчеркивают значимость рациона питания сельскохозяйственных животных, особенно коров, для качества производимого ими молока. Это, в свою очередь, оказывает прямое влияние на характеристики получаемых из этого молока продуктов, включая изолят сывороточного белка. Рацион коров влияет на такие параметры молока, как его жирность, белковый состав, концентрацию витаминов и минералов, а также на наличие и пропорции различных аминокислот. К примеру, богатый на протеины и витамины рацион способен повысить уровень незаменимых аминокислот в молоке, что делает его более ценным для производства высококачественных изолятов сывороточного белка. И наоборот, дефицит определенных элементов в питании животных может привести к уменьшению питательной ценности молока и, как следствие, снижению качества изолята. Таким образом, подбор оптимального питания для сельскохозяйственных животных является ключе-

вым аспектом для обеспечения высокого качества сырья для производства изолятов сывороточного белка. Это подчеркивает необходимость интегрированного подхода в сельском хозяйстве, где внимание к деталям кормления животных напрямую влияет на качество конечной продукции пищевой промышленности.

Данное исследование подтвердило потенциал использования сывороточного изолята в производстве сухих смесей для специализированного питания, что актуально для различных групп населения. Авторы, такие как Alex (2022), Morgan-Bathke (2023) и Perugini (2022), также рассматривают использование сухих белковых смесей в диетах спортсменов и других категорий населения. В изоляте отмечается высокое содержание треонина (6,8 г), который, как указывают Xiaoya (2023), Na (2023) и Xiaoshan (2023), способствует восстановлению мышечной ткани и ускорению метаболических процессов.

Полученные данные о составе изолята сывороточного белка указывают на его широкие перспективы использования в пищевой промышленности, что находит отражение в работах исследователей, таких как Li (2023), изучающих аминокислотный профиль молочных белков. Так, уровень треонина в изоляте делает его ценным компонентом для продуктов спортивного питания, включая батончики, белковые смеси и коктейли. Исследование также выявило, что содержание таких аминокислот, как триптофан и валин, в опытном образце близко к «идеальному белку», что важно для метаболизма в организме человека, а триптофан участвует в синтезе серотонина и может использоваться в терапии психических расстройств. Таким образом, полученные данные подтверждают значительный потенциал изолята сывороточного белка для создания специализированных сухих смесей направленного действия, включая искусственное питание. На основе этих результатов можно рассмотреть возможности его использования для улучшения качества питания различных групп населения. Дальнейшие исследования по проблематике требуют изучения биологической ценности изолятов сывороточных белков, полученных из молочной продукции сельскохозяйственных животных с различными рационами для оценки влияния данного фактора на качество получаемой продукции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования была достигнута поставленная цель, и получены данные о характеристиках аминокислотного состава изолята сывороточного белка. Был проведен анализ качественного и количественного состава аминокислот опытного и контрольного образцов. Опытный образец, разработанный в соответствии с новой технологией, показал содержание незаменимых аминокислот, сопоставимое с контрольным образцом. В нем отмечается увеличение уровня незаменимых аминокислот на 5% по сравнению с контрольным образцом, что, вероятно, связано с бережными режимами термической обработки в процессе производства. Учитывая это, использование полученного изолята сывороточного белка представляется перспективным для импортозамещения при создании сухих смесей специализированного питания.

В свете данных результатов, следующие исследования будут сосредоточены на определении оптимальных критериев качества исходного сырья для производства изолята сывороточного белка с высокой биологической ценностью.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Сенотрусова Тамара Алексеевна: концептуализация, методология, руководство исследованием, создание рукописи и ее редактирование, выполнение исследования.

Ершова Татьяна Анатольевна: администрирование данных, верификация данных, создание рукописи и ее редактирование, выполнение исследования.

копирование и ее редактирование, выполнение исследования.

Ли Наталья Гаврошевна: администрирование проекта, получение финансирования, создание черновика рукописи, выполнение исследования.

Лях Владимир Алексеевич: выполнение исследований, верификация данных, создание рукописи и ее редактирование, выполнение исследования.

Медведев Георгий Валентинович: выполнение исследования, создание черновика рукописи, визуализация.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета по государственному заданию Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в сфере научной деятельности, Дополнительное соглашение к Соглашению о предоставлении субсидии из федерального бюджета на финансовое обеспечение выполнения государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) от 11.11.2022 № 075–03–2022–114/7, проект № FZNS–2022–0012, тема проекта «Разработка отечественных технологий сухих смесей, обогащенных витаминными комплексами, омега жирными кислотами с пробиотической активностью для лечебного перорального питания, в т.ч. детей и больных стационаров совместно с R&D центром и на базе высокотехнологичного предприятия ООО «Арника».

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCE

- Alex, E.M., Cherine, H.G., Sikand, M., Rozga, L., Moloney, J., Sullivan, D., De, W., & Deepa, H. (2022). Effectiveness of medical nutrition therapy in the management of adult dyslipidemia: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Lipidology*, 16(5), 547–561. <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2022.06.008>
- Dharani, M., Karthiayani, A., Manoharan, A.P., & Sudha, K. (2022). Optimization and formulation of Conjugated Linoleic Acid (CLA) oil-in-water beverage emulsion stabilized in whey protein isolate using response surface methodology. *Food Chemistry Advances*, 1, 100109. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100109>
- Gessirin, S., Akkaratch, R., Sunee, N., & Pakamon, C. (2022). Microencapsulating role of whey protein isolate and sucrose in protecting the cell membrane and enhancing survival of probiotic lactobacilli strains during spray drying, storage, and simulated gastrointestinal passage. *Food Research International*, 159, 111651. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111651>
- Guang-yao, Z., Cong, S., Jing-ru, S., Wei-yi, J., Yue, T., Da-yong, Z., & Liang, S. (2023). Glycation of whey protein isolate and stachyose modulates their in vitro digestibility: Promising prebiotics as functional ingredients. *Food Bioscience*, 52, 102379. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102379>

- Jiale, Z., Weimin, L., Jingxin, G., Han, G., & Xueying, M. (2022). Limited hydrolysis as a strategy to improve the non-covalent interaction of epigallocatechin-3-gallate (EGCG) with whey protein isolate near the isoelectric point. *Food Research International*, 161, 111847. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111847>
- Jinpeng, L., Jiajie, Y., Jinzhe, Li, Munkh-Amgalan, G., Xuan, W., Kwang-Chol, O., & Zhanmei, J. (2023). Structure and rheological properties of extruded whey protein isolate: Impact of inulin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 226, 1570–1578. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.11.268>
- Kaili, W., Xu, Z., Munkh-Amgalan, G., Jinzhe, L., Yuxuan, H., Narantuya, S., Tian, B., & Zhanmei, J. (2023). Extrusion of casein and whey protein isolate enhances anti-hardening and performance in high-protein nutrition bars. *Food Chemistry: X*, 18, 100719. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100719>
- Karoline, F., Silva, C., Suprani, M., Anderson, de F. J., Marali, V. D., & Fábio, A. M. (2023). Whey protein isolate and kraft lignin multifunctional films for potential food packaging application: UV block and antioxidant potential. *Food Bioscience*, 53, 102581. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102581>
- Kefan, O., Hexiang, X., Yufeng, W., Fangjian, N., Hua, X., & Qiang, Z. (2023) Color formation during the fibrillation of whey protein isolate: Maillard reaction and protein oxidation. *Food Hydrocolloids*, 142, 108819. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108819>
- Kefan, O., Hexiang, X., Yufeng, W., Meng, W.W., Qian, C., Sixing, L., Hua, X., & Qiang, Z. (2022). Whey protein isolate nanofibrils formed with phosphoric acid: Formation, structural characteristics, and emulsion stability. *Food Hydrocolloids*, 135, 108170. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108170>
- Li, Gao, Piao, Xu, & Jiaoyan, R. (2023). A sensitive and economical method for simultaneous determination of D/L- amino acids profile in foods by HPLC-UV: Application in fermented and unfermented foods discrimination. *Food Chemistry*, 410, 135382. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135382>
- Lili, T., Yrjö, H. R., & Song, M. (2023). Phase behavior and complex coacervation of whey protein isolate-Tremella fuciformis polysaccharide solution. *Food Hydrocolloids*, 143, 108871. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108871>
- Mazza, K.E.L., Costa, A.M.M., Silva, J.P., Lima, da A. D. S., Bizzo, H. R., & Tonon, R.V. (2023). Microencapsulation of marjoram essential oil as a food additive using sodium alginate and whey protein isolate. *International Journal of Biological Macromolecules*, 233, 123478. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123478>
- Meng, L., Jinzhe, L., Yuxuan, H., Zengli, G., Zhanmei, J., & Zhishen, M. (2023). Insight into comparison of binding interactions and biological activities of whey protein isolate exposed prior to two structurally different sterols. *Food Chemistry*, 405(A), 134827. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134827>
- Mengyao, L., Shan, Sh., Xin, G., Yudong, S., & Weihong, L. (2023). The effect of sweet tea polysaccharide on the physicochemical and structural properties of whey protein isolate gels. *International Journal of Biological Macromolecules*, 240, 124344. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124344>
- Morgan-Bathke M., Raynor H.A., Baxter S. D., Halliday T. M., Lynch A., Neal M., Garay J.L., & Rozga M. (2023). Medical Nutrition Therapy Interventions Provided by Dietitians for Adult Overweight and Obesity Management: An Academy of Nutrition and Dietetics Evidence-Based Practice Guideline. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 123(3), 520–545.e10. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2022.11.014>
- Na, G., Shuang, Y., Ganghua, Z., Yimeng, Z.g, Fangyan, Z., Jingjing, X., Shenyu, P., Guilan, Z., & Ziyang, W. (2023). Effect of ultrasound treatment on interactions of whey protein isolate with rutin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 95, 106387. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106387>
- Perugini, M., Johnson, T.J., Beume, T.M., Dong, O.M., Guerino, J., Hao, H., Kerr, K, Kindilien, S., Nuijten, M., Ofili, T.U., Taylor, M., Wong A., & Freijer, K. (2022). Are We Ready for a New Approach to Comparing Coverage and Reimbursement Policies for Medical Nutrition in Key Markets: An ISPOR Special Interest Group Report. *Value in Health*, 25(5), 677–684. <https://doi.org/10.1016/j.jval.2022.01.011>
- Salari, S., Jafari S.M. (2020) The influence of Ohmic heating on degradation of food bioactive ingredients. *Food Engineering Reviews*, 12, 191–208. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09217-0>
- Shufang, X., Gusonghan, M., Yuan, L., Yue, C., Mengting, G., Jianyun, H., Wei, T., & Ziyuan, L. (2023). Whey protein isolate attenuates depression-like behavior developed in a mouse model of breast tumor. *Food Research International*, 169, 112849. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112849>
- Souza, de J., Preseault C.L., Lock A.L. (2018) Altering the ratio of dietary palmitic, stearic, and oleic acids in diets with or without whole cottonseed affects nutrient digestibility, energy partitioning, and production responses of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 172–185. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13460>
- Tomczyńska-Mleko, M., Katsuyoshi, N., Mleko, S., Terpiłowski, K., & Pérez-Huertas, S. (2023). Cold gelation of whey protein isolate with sugars in an ultrasound environment. *Food Hydrocolloids*, 139, 108510. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108510>
- Western, M.M., Souza de J., Lock A.L. Effects of commercially available palmitic and stearic acid supplements on nutrient digestibility and production responses of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103(6), 5131–5142. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17242>
- Xiangyu, L., Xiaoli, Q., Yonghua, W., & Jinfeng, Z. (2022). Physicochemical properties and formation mechanism of whey protein isolate-sodium alginate complexes: Experimental and computational study. *Food Hydrocolloids*, 131, 107786. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107786>
- Xiaoshan, W., Meihui, Z., Mengxue, G., Peng, L., Haohao, S., Xueying, Z., Zhongyuan, L., & Guanghua, X. (2023). Characterization of coacervation behavior between whey protein isolate and gum Arabic: Effects of

- heat treatment. *Food Chemistry: X*, 18, 100703. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100703>
- Xiaoya, T., Cheng, C., Yaochang, L., Xinguang, Q., Haizhi, Z., Yuanyuan, H., Zhengqi, L., Xiaoming, G., & Gang, L. (2023). Improving the antioxidant activity, in vitro digestibility and reducing the allergenicity of whey protein isolate by glycosylation with short-chain inulin and interaction with cyanidin-3-glucoside. *Food Hydrocolloids*, 139, 108586. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108586>
- Xin, L., Siqu, F., Zhuosui, H., Fangfang, N., Chengzhi, L., Min, H., Lei, C., Gerui, R., Xuan, Z., Qunfang, L., Wenjun, F., & Hujun, X. (2022). Preparation of alginate-whey protein isolate and alginate-pectin-whey protein isolate composites for protection and delivery of *Lactobacillus plantarum*. *Food Research International*, 161, 111794. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111794>
- Yao, M., Xiao, Z., Yunqing, J., Qingfeng, B., & Xibo, W. (2023). Effect of Maillard reaction conditions on the gelation and thermal stability of whey protein isolate/d-tagatose conjugates. *Food Chemistry*, 405(A), 134928. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134928>
- Yichen, L., Han, D., Yrjö, R., & Song, M. (2023). Binary complexes of whey protein fibers/isolates and fish gelatins for emulsion stabilization. *Food Hydrocolloids*, 143, 108880. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108880>
- Yong, C., Xi, C., Tian, Y., Zhaojun, W., Qiuming, C., Maomao, Z., Fang, Q., Jie, C., & Zhiyong, H. (2023). Effects of whey protein isolate and ferulic acid/phloridzin/naringin/cysteine on the thermal stability of mulberry anthocyanin extract at neutral pH. *Food Chemistry*, 425, 136494. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136494>
- Yong, C., Xi, C., Tian, Y., Zhaojun, W., Qiuming, C., Maomao, Z., Fang, Q., Jie, C., & Zhiyong, H. (2023). Storage stability and multi-spectroscopy analysis of the ternary complex induced by mulberry anthocyanin extract interacting with whey protein isolate and rutin under acidic conditions. *Food Hydrocolloids*, 143, 108911. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108911>
- Yue, Z., Zheng, Z., Yuan, F., Yawen, G., Wanchun, G., Ruifeng, H., & Xuejun, L. (2023). Effects of different pH on properties of heat-induced *Auricularia auricula-judae* polysaccharide-whey protein isolate composite gels. *Food Structure*, 36, 100317. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2023.100317>
- Yun, W., Cheng, Y., Jian, Z., & Lianfu, Z. (2023). Influence of rose anthocyanin extracts on physicochemical properties and in vitro digestibility of whey protein isolate sol/gel: Based on different pHs and protein concentrations. *Food Chemistry*, 405(B), 134937. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134937>
- Yun, J.K., Bum-Keun, K., & Min, H.L. (2023). Effect of small molecular surfactants on physical, turbidimetric, and rheological properties of Pickering nanoemulsions stabilized with whey protein isolate. *Food Bioscience*, 51, 102214. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102214>