

Тамара Алексеевна Сенотрусова^{1✉}, Юлия Ивановна Мелишкевич², Наталья Гаврошевна Ли³,
Татьяна Анатольевна Ершова⁴, Владимир Алексеевич Лях⁵

^{1,2,3,4,5}Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

¹senotrusova.tale@dvfu.ru

²melishkevich.iui@dvfu.ru

³li.ng@dvfu.ru

⁴ershova.ta@dvfu.ru

⁵lyah.va@dvfu.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА МОЛОКА

Цель исследования – изучить особенности аминокислотного состава молока сухого козьего и верблюжьего различных производителей для определения целесообразности включения в состав адаптированных смесей для детского питания раннего возраста. Задачи: изучить качественный и количественный анализ аминокислотного состава молока сухого козьего и верблюжьего с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии; провести оценку сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности молока сухого козьего и верблюжьего. Объекты исследования – молоко сухое козье торговых марок «Козочка с облачка» и «Твоя ферма» и молоко сухое верблюжье торговой марки «ИммуноМолоко». Получены данные о качественном и количественном аминокислотном составе молока сухого козьего и верблюжьего. Анализ аминокислотного состава молока сухого козьего и верблюжьего был проведен с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Результаты исследования показали, что содержание незаменимых аминокислот в исследуемых образцах сравнимо с «идеальным» белком и превосходит его на 49 % по некоторым показателям. Был проведен анализ сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности исследуемых образцов. Молоко сухое верблюжье содержит большую массовую долю незаменимых аминокислот, но при этом обладает более низкой биологической ценностью в сравнении с козьим молоком. Козье молоко обладает высокой биологической ценностью и более сбалансированным аминокислотным составом. Учитывая это, использование молока сухого козьего более перспективно при создании отечественной технологии сухих смесей для детского питания раннего возраста. Следующие исследования будут направлены на определение оптимальных компонентов и критериев качества исходного сырья для производства сухих смесей с высокой биологической ценностью.

Ключевые слова: аминокислотный состав молока, биологическая ценность молока, сухие смеси, козье молоко, верблюжье молоко, детское питание

Для цитирования: Сенотрусова Т.А., Мелишкевич Ю.И., Ли Н.Г., и др. Сравнительный анализ аминокислотного состава молока // Вестник КрасГАУ. 2025. № 9. С. 341–351. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-341-351.

Финансирование: исследование выполнено 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».

Tamara Alekseevna Senotrusova^{1✉}, Yulia Ivanovna Melishkevich², Natalya Gavroshevna Lee³, Tatyana Anatolyevna Ershova⁴, Vladimir Alekseevich Lyakh⁵

^{1,2,3,4,5}Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

¹senotrusova.tale@dvfu.ru

²melishkevich.iui@dvfu.ru

³li.ng@dvfu.ru

⁴ershova.ta@dvfu.ru

⁵lyah.va@dvfu.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF MILK AMINO ACID COMPOSITION

The aim of the study is to investigate the features of the amino acid composition of dry goat and camel milk from different manufacturers to determine the feasibility of including them in adapted formulas for early childhood nutrition. Objectives: to study the qualitative and quantitative analysis of the amino acid composition of dry goat and camel milk using high-performance liquid chromatography; to assess the balance of the amino acid composition and biological value of dry goat and camel milk. The objects of the study were dry goat milk of the brands Kozochka s oblachka and Tvoya ferma and dry camel milk of the brand ImmunoMoloko. Data were obtained on the qualitative and quantitative amino acid composition of dry goat and camel milk. The amino acid composition of dry goat and camel milk was analyzed using high-performance liquid chromatography (HPLC). The results of the study showed that the content of essential amino acids in the samples under study is comparable to the "ideal" protein and exceeds it by 49 % in some indicators. An analysis of the balance of the amino acid composition and biological value of the samples under study was conducted. Dry camel milk contains a large mass fraction of essential amino acids, but at the same time has a lower biological value compared to goat milk. Goat milk has a high biological value and a more balanced amino acid composition. Given this, the use of dry goat milk is more promising in the creation of domestic technology for dry mixtures for infant nutrition. The following studies will be aimed at determining the optimal components and quality criteria for the raw materials for the production of dry mixtures with high biological value.

Keywords: amino acid composition of milk, biological value of milk, dry mixtures, goat milk, camel milk, baby food

For citation: Senotrusova TA, Melishkevich Yul, Li NG, et al. Comparative analysis of milk amino acid composition. *Bulletin of KSAU*. 2025;(9):341-351. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-9-341-351.

Funding: the study was carried out at the expense of the federal budget under the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in the field of scientific activity, Supplementary Agreement to the Agreement on the provision of a subsidy from the federal budget for financial support for the implementation of the state assignment for the provision of public services (performance of work) dated 11.11.2022 № 075-03-2022-114/7, project № FZNS-2022-0012, project topic "Development of domestic technologies for dry mixes enriched with vitamin complexes, omega fatty acids with probiotic activity for therapeutic oral nutrition, including children and hospital patients, together with the R&D center and on the basis of the high-tech enterprise Arnika LLC".

Введение. Одним из основных направлений реализации Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г. (далее – Стратегия) является разработка перспективных технологий для производства качественных 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 заболе-

ваний, увеличение продолжительности и повышение качества жизни населения, стимулирование развития производства и обращения на рынке пищевой продукции надлежащего качества, в том числе для детей [1]. Полноценное питание имеет особое значение для детей в первые месяцы жизни, поскольку оптимальным вариантом является материнское (грудное) молоко, которое адаптировано к особенностям их пищеварительной системы и обмена веществ. В случаях, когда грудного молока недостаточно

или оно отсутствует, необходимо применять адаптированные молочные смеси, разработанные с учетом физиологических характеристик ребенка и современных требований к составу продукта. Детская смесь служит заменой грудного молока и имеет решающее значение для роста и развития ребенка. Качество и пищевая ценность детской смеси существенно влияют на здоровье и уровень физиологического развития детей. В настоящее время доступен широкий ассортимент молочных смесей, которые учитывают особенности метаболизма, пищеварения, а также физиологические потребности ребенка в основных питательных веществах, энергии, витаминах и минералах. Молочные смеси для детей, в зависимости от возраста ребенка, подразделяются на начальные – с рождения до 4–6 мес. жизни (обозначаются цифрой 1) и последующие – от 6 до 12 мес. (маркируются цифрой 2). В настоящий момент анализ производителей молочных смесей для детей раннего возраста в торговой сети показал, что ассортимент сухих молочных смесей представлен следующими производителями: Nutrilak, NAN, NutriMa, Kabrita, Мамако, Saumal, HIPP, Similac. Согласно последним статистическим данным, более 50 % младенцев нуждаются в потреблении детских смесей для обеспечения необходимого уровня физиологического развития и поддержания здоровья [2–6]. Мировой рынок детских смесей оценивался примерно в 40 млрд долл. США в 2023 г. и, как ожидается, значительно вырастет с 2024 по 2032 г. [2–5].

В последние десятилетия производство адаптированных молочных смесей для детей раннего возраста, которые не получают грудное молоко, достигло значительных успехов, и производимая продукция обладает высокой пищевой ценностью. Современные инновации в разработке детских молочных смесей основываются на композитной и функциональной имитации состава женского молока, которое считается уникальным продуктом для питания детей первого года жизни. Детские смеси в основном изготавливаются из коровьего молока. Они разработаны так, чтобы максимально точно имитировать грудное молоко и удовлетворять основные потребности детей в питании на ранних стадиях роста и развития [3]. Сухие смеси для детей раннего возраста обогащены соответствующими уровнями белков, жиров, углеводов, витаминов и минералов для поддержки

развития [4]. Специализированные детские смеси разрабатываются на основе конкретных потребностей в питании. Производство сухих смесей обычно включает в себя процесс смешивания в жидкой фазе, термическую обработку (например, пастеризацию, обработку при сверхвысоких температурах), гомогенизацию, выпаривание и распылительную сушку [2–4]. Эти этапы могут привести к изменениям физико-химических характеристик компонентов, что влияет на качество и пищевую ценность конечного продукта. Важно понимать, как эти факторы влияют на состав и взаимодействие ингредиентов для оптимизации смеси с целью обеспечения поддержки здоровья и развития детей. В частности, информация о белковом составе и содержании в детских смесях разрозненна, что затрудняет процесс оптимизации.

Постоянное совершенствование формул детских молочных смесей с добавлением новых функциональных компонентов, способствующих росту и развитию ребенка, направлено на достижение максимально близкого уровня развития детей, находящихся на естественном и искусственном вскармливании. Совершенствование состава и технологий сухих смесей для детского питания раннего возраста связано с возникновением у детей нежелательных пищевых реакций и аллергий. Пищевая аллергия является реакцией повышенной чувствительности к продуктам питания и имеет иммунологическую природу. У детей первого года жизни клинические проявления могут быть разнообразными: от атопического дерматита до желудочно-кишечных расстройств, включая синдром мальабсорбции, что может сопровождаться нарушением аппетита и снижением питательного статуса. Одним из основных аллергенов, вызывающих пищевую аллергию у детей грудного возраста, является белок коровьего молока, содержащий более 20 антигенов. Наиболее аллергенными из них являются р-лактоглобулин, казеин, α -лактоальбумин и бычий сывороточный альбумин. Аллергия на белки коровьего молока встречается у 2–7 % младенцев, находящихся на искусственном вскармливании, и у 0,5–1,5 % – на естественном. У 85–90 % детей с атопическим дерматитом наблюдается гиперчувствительность к молочным белкам. Для выявления аллергии на молочные белки у детей, находящихся на смешанном или искусственном вскармливании, требуется полная замена молочных смесей на специализированные продукты, учитывая тяжесть

клинических проявлений и спектр пищевой сенсибилизации. В периоды острых проявлений пищевой аллергии, таких как острый атопический дерматит и тяжелые гастроинтестинальные расстройства, целесообразно назначение смесей на основе высокогидролизованного молочного белка здоровья [2–6]. В связи с этим важно расширять ассортимент детских сухих смесей на основе молока, полученного от других сельскохозяйственных животных. К примеру, в настоящее время для производства сухих смесей используется козье молоко и реже верблюжье, которые отличаются высокой пищевой и биологической ценностью.

Цель исследования – изучить особенности аминокислотного состава молока сухого козьего и верблюжьего различных производителей для определения целесообразности включения в состав адаптированных смесей для детского питания раннего возраста.

Задачи: изучить качественный и количественный анализ аминокислотного состава молока сухого козьего и верблюжьего с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии; провести оценку сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности молока сухого козьего и верблюжьего.

Объекты и методы. Данная работа проводилась на базе научно-исследовательских лабораторий Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», а также на базе R&D площадки «Кормбиосинтез» высокотехнологичного предприятия ООО «Арника» в ТОО «Надеждинский».

В качестве объектов исследования были определены молоко сухое козье и молоко сухое верблюжье. В данном исследовании изучали сухое козье молоко торговых марок «Козочка с облачка» и «Твоя ферма», а также верблюжье молоко торговой марки «ИммуноМолоко».

Пищевая ценность на 100 г молока козьего сухого торговой марки «Козочка с облачка» (образец № 1) составляет: белки – 3,2 г; жиры – 2,8; углеводы – 4,6 г.

Пищевая ценность на 100 г молока козьего сухого торговой марки «Твоя ферма» (образец № 2) составляет: белки – 3,9 г; жиры – 3,3; углеводы – 3,9 г.

Пищевая ценность на 100 г молока верблюжьего сухого торговой марки «ИммуноМоло-

ко» (образец № 3) составляет: белки – 23 г; жиры – 34; углеводы – 25 г.

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

Разделение, качественный и количественный анализ аминокислот изучаемых образцов молока определяли стандартным методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, используя методы, предложенные Li et al. (2023) [7].

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). Не подвижная фаза: ультрасферы ODS, 5 мкм; подвижная фаза: элюенты – тетрагидрофуран (ТГФ)/0,05 М ацетат натрия (pH 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.

Расчет биологической ценности белков изучаемых образцов сухого молока проводили по стандартной методике для анализа аминокислотного состава исследуемых образцов, в том числе осуществили расчет утилитарности аминокислотного состава, следуя методологии, предложенной Meng et al. (2023) [8]. Применяли статистический метод обработки экспериментальных данных, в ходе которого определяли среднее значение искомой величины при 3-кратной повторности, а также среднеквадратическое отклонение и доверительный интервал при помощи MS Excel. В процессе исследования использовался метод, основанный на сравнении результатов определения аминокислотного состава белков исследуемых продуктов с «идеальным» белком. Для оценки качества аминокислотного состава и взаимосбалансированности незаменимых аминокислот в исследуемых образцах сухого молока рассчитали аминокислотный скор, %; коэффициент различия аминокислотного сора (КРАС, %), биологическую цен-

ность (БЦ) пищевого белка, %; коэффициент утилитарности аминокислотного состава (U) [8, 9]. Полноценность пищевого белка по аминокислотному составу оценивали в сравнении с аминокислотной шкалой Продовольственного комитета Всемирной организации здравоохранения (ФАО/ВОЗ, 2007).

Для расчета аминокислотного сора сопоставили содержание незаменимых аминокислот в исследуемых образцах сухого молока с их содержанием в «идеальном» белке и применяли следующую формулу:

$$\text{Аминокислотный скор} = A_x/A \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где A_x – массовая доля незаменимой аминокислоты в исследуемом объекте, г/100 г белка; A – массовая доля незаменимой аминокислоты в «идеальном» белке, г/100 г белка.

Для оценки важнейшей составляющей пищевой адекватности исследуемых образцов сухого молока рассчитали коэффициент различий аминокислотного сора (КРАС) и биологическую ценность (БЦ).

КРАС, % – это средняя величина избытка аминокислотного сора незаменимых аминокислот по сравнению с наименьшим уровнем сора какой-либо незаменимой аминокислоты (избыточное количество незаменимых аминокислот, не используемых на пластические нужды):

$$\text{КРАС} = \frac{\sum \Delta \text{РАС}}{n}, \quad (2)$$

где $\Delta \text{РАС}$ – различие аминокислотного сора аминокислоты; n – количество незаменимых аминокислот.

Биологическую ценность пищевого белка (БЦ, %) определяли по формуле

$$\text{БЦ} = 100 - \text{КРАС}. \quad (3)$$

Коэффициент утилитарности аминокислотного состава имеет практическое значение, так как возможность утилизации организмом аминокислот предопределена минимальным скором одной из них.

Коэффициент утилитарности j -й незаменимой аминокислоты, доли единицы, рассчитывают по формуле

$$a_j = C_{\min} / C_j, \quad (4)$$

где $C_{\min}$ – минимальный скор незаменимых аминокислот оцениваемого белка по отношению к физиологически необходимой норме (эталону), % или доли ед.; C_j – скор j -й незаменимой аминокислоты по отношению к физиологически необходимой норме (эталону), % или доли ед.

Коэффициент утилитарности аминокислотного состава U характеризует сбалансированность незаменимых аминокислот по отношению к физиологически необходимой норме (эталону). В идеале показатель U должен быть равен или приближаться к единице [8, 9].

Результаты и их обсуждение. Для разработки технологии получения сухих смесей для питания детей раннего возраста важно определить оптимальную основу с высокой биологической ценностью. При этом также важно учитывать качество используемого сырья, особенности его химического состава и органолептические характеристики. Изучаемые образцы молока сухого козьего и верблюжьего представляли собой порошок светло-кремового цвета с характерным ароматом и вкусом молока, без посторонних примесей и запахов. Сравнение органолептических характеристик и влажности изучаемых образцов молока козьего и верблюжьего в настоящем исследовании показало их сходство.

В рамках оценки перспективности использования изучаемых образцов в качестве основы для создания сухих смесей для детей раннего возраста изучили биологическую ценность, а также провели качественный и количественный анализ аминокислотного состава. Важным этапом исследования стало определение полноценности и сбалансированности белков изучаемого сухого молока для питания детей раннего возраста (КРАС, БЦ), коэффициента утилитарности аминокислотного состава), который является комплексным индикатором, отражающим содержание всех незаменимых аминокислот в белке изучаемого продукта. При разработке сухих смесей для детей раннего возраста необходимо учитывать особенности их метаболизма. В связи с этим при анализе аминокислотного состава было уделено внимание содержанию гистидина, поскольку эта аминокислота является незаменимой для детей. Результаты анализа аминокислотного состава изучаемых образцов (№ 1, № 2, № 3) и расчет аминокислотного сора представлены в таблице 1.

Таблица 1

Аминокислотный состав молока сухого для питания детей раннего возраста
Amino acid composition of milk powder for nutrition of young children

Аминокислота	Молоко сухое козье № 1, г/100 г белка	Молоко сухое козье № 2, г/100 г белка	Молоко сухое верблюжье № 3, г/100 г белка	Шкала ФАО/ВОЗ, г/100 г белка [10]	Аминокис- лотный скор, % № 1	Аминокис- лотный скор, % № 2	Аминокис- лотный скор, % № 3
Незаменимые аминокислоты							
Лизин	7,27±0,27	7,48±0,03	6,77±0,10	4,5	161,54	166,26	150,45
Фенилаланин + тирозин	4,37±0,15	4,43±0,12	4,05±0,18	3,8	115,03	116,51	106,63
Лейцин + изолейцин	12,10±0,34	12,33±0,31	14,62±0,39	8,9	135,91	138,48	164,23
Метионин + цистин	3,80±0,32	3,78±0,09	4,73±0,22	2,2	172,91	171,91	215,11
Валин	5,72±0,11	5,85±0,16	6,37±0,24	3,9	146,59	150,01	163,28
Треонин	4,41±0,22	4,50±0,25	5,21±0,06	2,3	191,91	195,77	226,51
Триптофан	4,44±0,11	4,32±0,13	4,54±0,15	3,9	113,95	110,87	116,51
Гистидин	3,46±0,38	2,45±0,07	4,25±0,08	1,5	230,62	163,44	283,09
Сумма незаменимых аминокислот	42,12	42,69	46,29	31,00			
Заменимые аминокислоты							
Пролин	2,86±0,17	2,92±0,10	1,41±0,03	–	–	–	–
Серин	5,43±0,12	5,56±0,05	5,16±0,14	–	–	–	–
Аланин	4,95±0,18	4,99±0,02	4,58±0,19	–	–	–	–
Сумма заменимых аминокислот	24,20	23,48	24,70	–	–	–	–

Из представленных данных в таблице 1 можно сделать вывод, что белки козьего и верблюжьего молока содержат все незаменимые аминокислоты и их аминокислотный скор выше 100 %. Следует отметить, что в исследуемых образцах наблюдается высокое содержание валина (от 5 до 7 г/100 г) и треонина (от 4 до 5 г/100 г), особенно в третьем образце – на 63 % выше значения в «идеальном» белке, в результате чего молоко сухое козье и верблюжье могут являться источником данных аминокислот.

В козьем молоке на 10 % больше содержится лизина (образец № 1 – 7,27 г/100 г; образец № 2 – 7,48 г/100 г) и фенилаланина, чем в верблюьем. Лизин участвует в синтезе белков, что важно для нормального формирования тканей организма и мышечной массы. Фенилаланин является предшественником таких важных веществ, как дофамин, норэпинефрин и эпинефрин, которые играют ключевую роль в передаче нервных импульсов и регуляции эмоционально-

го состояния человека, а также важен для нормальной работы мозга [6].

Важно отметить, что на 20 % выше содержание лейцина и изолейцина в верблюьем молоке, по сравнению с коровьим молоком. Также верблюжье молоко превосходит козье по содержанию валина и треонина [11]. В отдельных экспериментальных исследованиях авторы указывают на повышенное содержание данных аминокислот, а также ряд его преимуществ по сравнению с коровьим (более легкая усваиваемость белка и жира, лучшая биоусваиваемость микроэлементов). В связи с этим перспективно применение данного молока в технологии получения продукции для детского питания, поскольку валин участвует в энергетическом обмене и необходим для нормального роста и развития тканей. Важно учитывать при разработке продуктов для детского питания, что треонин и валин способствуют укреплению иммунной системы, что особенно важно для детей, которые подвержены различным инфекциям [4–7].

Наибольшее содержание гистидина наблюдается в верблюжьем молоке, а также по данной аминокислоте наблюдаются наибольшие различия по содержанию среди образцов, что указывает на возможное изменение условий хранения или кормления животных, дающих молоко.

Верблюжье молоко отличается высоким содержанием как заменимых, так и незаменимых аминокислот по сравнению с другими исследуемыми образцами. Это позволяет сделать вывод, что верблюжье молоко является наиболее перспективным источником незаменимых аминокислот при создании сухих смесей для детского питания раннего возраста.

С целью профилактики пищевой аллергии перспективно создавать специализированные (адаптированные) сухие молочные смеси на основе козьего или верблюжьего сухого молока, поскольку козье молоко по ряду показателей считается менее аллергенным, чем коровье.

Оно ближе по типу секреции и белковому составу к грудному молоку, поэтому легче переваривается и усваивается маленькими детьми. Кроме того, козье молоко перспективно для питания детей с риском аллергии на белки коровьего молока, так как в нем отсутствует агглютинин, который присутствует в коровьем молоке и затрудняет процесс переваривания. Также наблюдается, что верблюжье молоко обладает профилактическими свойствами при пищевых аллергиях и способно восстанавливать иммунную систему у детей [10].

В связи с этим важно оценить биологическую ценность изучаемого молока сухого для питания детей раннего возраста. Далее провели оценку сбалансированности аминокислотного состава козьего и верблюжьего молока определили КРАС, биологическую ценность и коэффициент утилитарности аминокислотного состава, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели аминокислотной сбалансированности исследуемых образцов
Indicators of amino acid balance of the studied samples

Наименование показателя, ед. изм.	Значение эталона ФАО/ВОЗ [10]	Наименование образца		
		Молоко сухое козье №1	Молоко сухое козье №2	Молоко сухое верблюжье №3
КРАС, %	0,00	3,37	4,21	6,41
БЦ, %	100	94,80	95,24	93,09
У дол. ед.	1,0	0,89	0,87	0,92

Из таблицы 2 следует, что показатели аминокислотной сбалансированности исследуемых образцов молока сухого для детского питания близки к эталонным значениям ФАО/ВОЗ. Важно отметить, что молоко сухое верблюжье № 3 обладает наивысшими показателями КРАС, это связано с высоким содержанием незаменимых аминокислот, по некоторым из них содержание превышало в 2 раза содержания в «идеальном» белке. Оба образца козьего сухого молока характеризуются низкими значениями КРАС (3,37 и 4,21 %), что может свидетельствовать о большей сбалансированности по аминокислотному составу. Все образцы молока сухого для питания детей раннего возраста приближены к значениям, близким к эталону ФАО/ВОЗ (100 %). Однако молоко сухое верблюжье № 3 имеет наименьшую биологическую ценность (93,09 %), в то время как молоко сухое козье № 1 и № 2 показывают более высокие значения (94,80 и 95,24 % соответственно). Из результатов, представленных в

таблице 2, можно сделать вывод, что верблюжье молоко обладает достаточно высокой биологической ценностью (93 %). Образцы молока сухого козьего № 1 и № 2 превосходят на 4 % по биологической ценности образец молока сухого верблюжьего № 3.

В результате оценки сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности наиболее перспективной основой для сухих смесей является молоко сухое козье. В свою очередь, молоко сухое верблюжье более сбалансировано по содержанию незаменимых аминокислот.

В ходе проведенного исследования осуществлялся анализ аминокислотного состава молока сухого козьего и молока сухого верблюжьего с применением метода высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Результаты исследования показали, что содержание незаменимых аминокислот в исследуемых образцах сравнимо с «идеальным» белком и превосходит

его на 49 % по некоторым показателям. Этот рост, вероятно, обусловлен особенностями вида молочных пород животных, условиями содержания и откорма, а также мягкими технологическими режимами при получении сухого молока. Salari et al. (2020) [10] в своем исследовании описывают влияние более щадящих технологических режимов на сохранение биологической ценности белков молока. В дальнейших планах проведения исследований – определение наиболее эффективных технологических условий для увеличения биологической ценности продукта.

Также сохранение пищевой ценности молока сухого может достигаться за счет применения в технологии сублимационной сушки. Проведенные испытания Н.О. Буровой (2019) [12] показали возможность использования сублимационных установок при производстве молока сухого и высокое качество полученного продукта, по всем контролируемым показателям ГОСТ 33629-2015 и ТР ТС 033/2013.

Исследования Western et al. (2020) [13] показывают значимость рациона питания сельскохозяйственных животных, в том числе коров, для повышения качества получаемого ими молока. Это, в свою очередь, оказывает прямое влияние на характеристики производимых из этого молока продуктов, включая сухие молочные смеси. Рацион коров влияет на такие параметры молока, как его жирность, белковый состав, концентрацию витаминов и минералов, а также на наличие и содержание различных аминокислот. Например, рацион с высоким содержанием белка и витаминов может повысить уровень незаменимых аминокислот в молоке, что делает его более ценным для производства высококачественных сухих молочных смесей. В то же время недостаток определенных нутриентов в питании животных может привести к снижению пищевой ценности молока и, как следствие, ухудшению качества продукта. Таким образом, правильный выбор питания для сельскохозяйственных животных является ключевым аспектом для обеспечения высокого качества сырья для производства сухих молочных смесей. Это подчеркивает необходимость интегрированного подхода в сельском хозяйстве, где внимание к деталям кормления животных напрямую влияет на качество конечной продукции пищевой промышленности.

В исследовании Л.Г. Хромовой, Н.В. Байловой, Е.А. Пилюгиной (2015) [14] показано, что применение современного технологического

оборудования и молочного скота с высоким продуктивным потенциалом на российских фермах, а также введение белка в качестве одного из критериев формирования цен при продаже молока, способствовали повышению качества молочного сырья, поступающего на переработку. Так, содержание белка в молоке составляло в среднем от 3,15 до 3,18 %. В условиях интенсивной технологии беспривязного содержания животных в сельхозпредприятиях Воронежской и Липецкой областей массовая доля белка в молоке основных молочных пород выше указанных значений и составляло 3,22–3,28 %. В результате чего важными факторами, влияющими на качество молока, полученного от сельскохозяйственных животных, являются условия содержания и рацион питания, которые влияют на уровень содержания белка в молоке.

Данное исследование подтвердило потенциал использования молока козьего и верблюжьего при производстве сухих смесей для питания детей раннего возраста. В молоке сухом отмечается высокое содержание валина (от 5 до 7 г/100 г) и треонина (от 4 до 5 г/100 г), которые способствуют росту и развитию мышечной ткани и ускорению метаболических процессов [13, 15].

Для повышения качества производимой продукции и расширения ассортимента важно применять различное качественное сырье для получения сухих смесей. В исследовании Jie-cheng Li, Fan Zhu (2024) [16] показано, что в качестве основы для сухих смесей зачастую используют различные виды молока, к примеру козье молоко, в то время как верблюжье молоко по-прежнему реже используется в детских смесях. Козье молоко имеет такие преимущества, как более высокое содержание казеина α -2 по сравнению с коровьим молоком, что может улучшить усвояемость. Однако ограниченные масштабы его производства и различия в биологических компонентах создают проблемы для более широкого применения. Верблюжье молоко, которое содержит более низкие уровни β -казеина и не содержит β -лактоглобулина, является еще одной многообещающей альтернативой, но реже используется в детских смесях. Кроме того, в качестве альтернатив изучаются растительные белки, такие как гороховый, рисовый и соевый белок, из-за потребительского спроса. Однако эти белки демонстрируют различия в усвояемости, биодоступности, аллергенности, вкусе и растворимости по сравнению с белками животного происхождения. Оптимизация рецеп-

тур для решения этих проблем при обеспечении адекватного питания для младенцев представляет собой новую задачу.

Полученные данные о составе молока сухого козьего и верблюжьего указывают на его широкие перспективы использования в технологии сухих смесей для детей раннего возраста, что находит отражение в работах исследователей [16], изучающих аминокислотный профиль молочных белков. Так, уровень лизина, валина и треонина в сухом молоке делает его ценным компонентом как для сухих смесей, так и для специализированного питания, например для продуктов спортивного питания, включая батончики, белковые смеси и коктейли. Исследование также выявило, что содержание таких аминокислот, как фенилаланин, в опытном образце превосходит его содержание в «идеальном белке», что важно для метаболизма в организме человека, а триптофан участвует в синтезе серотонина, фенилаланинрегулирует эмоционального состояния человека, может использоваться для профилактики психических расстройств. Таким образом, полученные данные подтверждают значительный потенциал молока сухого козьего и верблюжьего при создании сухих смесей для детей раннего возраста. На основе этих результатов можно рассмотреть возможности их использования для повышения качества питания различных групп населения. Дальнейшие

исследования в данном направлении требуют изучения биологической ценности других видов молока и качественных характеристик молока, полученного от сельскохозяйственных животных с различными рационами питания, для оценки влияния данного фактора на качество готовой продукции.

Заключение. В результате исследования получены данные о качественном и количественном аминокислотном составе молока сухого козьего и верблюжьего. Был проведен анализ сбалансированности аминокислотного состава и биологической ценности исследуемых образцов. Молоко сухое верблюжье содержит большую массовую долю незаменимых аминокислот, но при этом отличается более низкой биологической ценностью в сравнении с козьим молоком. В свою очередь козье молоко обладает высокой биологической ценностью и более сбалансированным аминокислотным составом. Учитывая это, использование молока сухого козьего более перспективно при создании отечественной технологии сухих смесей для детского питания раннего возраста. В рамках полученных результатов следующие исследования будут направлены на определение оптимальных компонентов и критериев качества исходного сырья для производства сухих смесей с высокой биологической ценностью.

Список источников

1. Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2016 года № 1364-р. Доступно по: <https://docs.cntd.ru/document/420363999>. Ссылка активна на 04.09.2024.
2. Li J., Zhu F. Whey protein hydrolysates and infant formulas: Effects on physicochemical and biological properties // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2024. Vol. 23, is. 3. P. e13337. DOI: 10.1111/1541-4337.13337. EDN: VVMBQV.
3. Masum A.K.M., Chandrapala J., Huppertz T., et al. Production and characterization of infant milk formula powders: A review // *Drying Technology*. 2021. Vol. 39. P. 1492–1512. DOI: 10.1080/07373937.2020.1767645. EDN: BZNTBV.
4. Tinghäll Nilsson U., Lönnardal B., Hernell O., et al. Low-protein infant formula enriched with alpha-lactalbumin during early infancy may reduce insulin resistance at 12 months: A follow-up of a randomized controlled trial // *Nutrients*. 2024. Vol.16. P. 1026. DOI: 10.3390/nu16071026. EDN: ENBEEF.
5. Dharani M., Karthiayani A., Manoharan A.P., et al. 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*. 2022. Vol. 1. P. 100–109. DOI: 10.1016/j.focha.2022.100109. EDN: EDTZML.
6. Тимакова Р.Т., Ильюхина Ю.В., Старцев В.Г. Оценка сбалансированности аминокислотного состава белка сухого кобыльего молока // *Пищевая промышленность*. 2023. № 8. С. 16–21. DOI: 10.52653/PPI.2023.8.8.003. EDN: XPULZQ.
7. Li Gao, Piao Xu, Jiaoyan R. 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 dis-

- crimination // Food Chemistry. 2023. Vol. 410. P. 135382. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.135382. EDN: XCJPUB.
8. Li M., Li J., Huang Y., et al. Insight into comparison of binding interactions and biological activities of whey protein isolate exposed prior to two structurally different sterols // Food Chemistry. 2023. Vol. 405. P. 134827. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134827. EDN: KZIGPL.
 9. Тышко Н.В., Жминченко В.М., Никитин Н.С., и др. Комплексные исследования биологической ценности белка личинки *Hermetia Illucens* // Вопросы питания. 2021. Т. 90, № 5 (537). С. 49–58. DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-5-49-58. EDN: USDMIO.
 10. Salari S., Jafari S.M. The influence of Ohmic heating on degradation of food bioactive ingredients // Food Engineering Reviews. 2020. Vol. 12. P. 191–208. DOI: 10.1007/s12393-020-09217-0. EDN: LJYHFI.
 11. Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. WHO technical report series N 935. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2007. 265 p.
 12. Бурова Н.О. Технология сухого молока с использованием сублимационной сушильной установки // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2019. № 21. С. 191–195. EDN: KCZGLE.
 13. 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. 2020. Vol. 103, is. 6. P. 5131–5142. DOI: 10.3168/jds.2019-17242. EDN: QNDZMG.
 14. Хромова Л.Г., Байлова Н.В., Пилюгина Е.А. Проблема повышения белковости молочного скота // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2015. № 4-2 (47). С. 56–61. EDN: VNTSPX.
 15. Na G., Shuang Y., Ganghua Z., et al. Effect of ultrasound treatment on interactions of whey protein isolate with rutin // Ultrasonics Sonochemistry. 2023. Vol. 95. P. 106387. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2023.106387. EDN: WPCCUR.
 16. Li J., Zhu F. Protein factors affecting the quality of infant formula: Optimization, limitations and opportunities // Current Opinion in Food Science. 2024. Vol. 62. P. 101264. DOI: 10.1016/j.cofs.2024.101264.

References

1. *Strategiya povysheniya kachestva pishchevoj produkcii v Rossijskoj Federacii do 2030 goda, utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 29 iyunya 2016 goda № 1364-r.* Available at: <https://docs.cntd.ru/document/420363999>. Accessed: 04.09.2024. (In Russ.).
2. Li J, Zhu F. Whey protein hydrolysates and infant formulas: Effects on physicochemical and biological properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2024;23(3):e13337. DOI: 10.1111/1541-4337.13337. EDN: VVMBQV.
3. Masum AKM, Chandrapala J, Huppertz T, et al. Production and characterization of infant milk formula powders: A review. *Drying Technology*. 2021;39:1492-1512. DOI: 10.1080/07373937.2020.1767645. EDN: BZNTBV.
4. Tinghäll Nilsson U, Lönnerdal B, Hernell O, et al. Low-protein infant formula enriched with alpha-lactalbumin during early infancy may reduce insulin resistance at 12 months: A follow-up of a randomized controlled trial. *Nutrients*. 2024;16:1026. DOI: 10.3390/nu16071026. EDN: ENBEEF.
5. Dharani M., Karthiayani A., Manoharan A.P., et al. 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*. 2022;1:100-109. DOI: 10.1016/j.focha.2022.100109. EDN: EDTZML.
6. Timakova RT, Il'yukhina YuV, Startsev V.G. Valuation of the balance of amino acid composition of dry mare's milk protein. *Food Industry*. 2023;8:16-21. (In Russ.). DOI: 10.52653/PPI.2023.8.8.003. EDN: XPULZQ.
7. Gao Li, Xu P, Ren J. 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*. 2023;410:135382. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.135382. EDN: XCJPUB.

8. Li M, Li J, Huang Y, et al. Insight into comparison of binding interactions and biological activities of whey protein isolate exposed prior to two structurally different sterols. *Food Chemistry*. 2023;405:134827. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134827. EDN: KZIGPL.
9. Tyshko NV, Zhminchenko VM, Nikitin NS, et al. The comprehensive studies of *Hermetia Illucens* larvae protein's biological value. *Problems of Nutrition*. 2021;90(5):49-58. (In Russ.). DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-5-49-58. EDN: USDMIO.
10. Salari S, Jafari SM. The influence of Ohmic heating on degradation of food bioactive ingredients // *Food Engineering Reviews*. 2020;12:191-208. DOI: 10.1007/s12393-020-09217-0. EDN: LJYHFI.
11. *Protein and amino acid requirements in human nutrition: Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. WHO technical report series N 935*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2007. 265 p.
12. Burova NO. Tekhnologiya suhogo moloka s ispol'zovaniem sublimacionnoj sushil'noj ustanovki. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produkci sel'skogo hozyajstva*. 2019;(21):191-195. (In Russ.). EDN: KCZGLE.
13. Western MM, Souza de J, Lock AL. Effects of commercially available palmitic and stearic acid supplements on nutrient digestibility and production responses of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2020;103(6):5131-5142. DOI: 10.3168/jds.2019-17242. EDN: QNDZMG.
14. Khromova LG, Bailova NV, Pilyugina EA. The problem of increasing protein content in dairy cattle. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2015;4-2:56-61. (In Russ.). EDN: VNTSPX.
15. Na G, Shuang Y, Ganghua Z, et al. Effect of ultrasound treatment on interactions of whey protein isolate with rutin. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2023;95:106387. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2023.106387. EDN: WPCCUR.
16. Li J, Zhu F. Protein factors affecting the quality of infant formula: Optimization, limitations and opportunities. *Current Opinion in Food Science*. 2024;62:101264. DOI: 10.1016/j.cofs.2024.101264.

Статья принята к публикации 27.02.2025 / The article accepted for publication 27.02.2025.

Информация об авторах:

Тамара Алексеевна Сенотрусова¹, доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии, кандидат технических наук

Юлия Ивановна Мелишкевич², младший научный сотрудник базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии

Наталья Гаврошевна Ли³, доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии, кандидат технических наук

Татьяна Анатольевна Ершова⁴, заведующая базовой кафедрой пищевой и клеточной инженерии, кандидат технических наук

Владимир Алексеевич Лях⁵, декан факультета агропищевых биотехнологий и пищевой инженерии, кандидат технических наук

Information about the authors:

Tamara Alekseevna Senotrusova¹, Associate Professor at the Basic Department of Food and Cell Engineering, Candidate of Technical Sciences

Yulia Ivanovna Melishkevich², Junior Researcher at the Basic Department of Food and Cell Engineering

Natalya Gavroshevna Lee³, Associate Professor at the Basic Department of Food and Cell Engineering, Candidate of Technical Sciences

Tatyana Anatolyevna Ershova⁴, Head of the Basic Department of Food and Cell Engineering, Candidate of Technical Sciences

Vladimir Alekseevich Lyakh⁵, Dean of the Faculty of Agro-Food Biotechnology and Food Engineering, Candidate of Technical Sciences