УДК 636.2:637.046 doi: 10.15389/agrobiology.2022.4.681rus

МИНЕРАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СОСТАВЕ МОЛОКА КОРОВ — МИНИ-ОБЗОР*

О.А. ВОРОНИНА✉, Н.В. БОГОЛЮБОВА, С.Ю. ЗАЙЦЕВ

Молоко коров — секрет железы, синтетическая способность которой чрезвычайно высока на пике лактации. Коровье молоко считается общепризнанным источником Ca, K, Mg, Na, P, Se, Zn в питании человека (Š. Zamberlin, 2012). Всего в нем обнаружено порядка 50 минеральных элементов (A.V. Skalny, 2019). С учетом того, что дефицит микро- и макроэлементов приобретает глобальный характер (R.L. Bailey, 2015; A.V. Skalny, 2019), интерес к оценке потенциала молока в решении этой проблемы повышается (M.L. Astolfi, 2020). Молоко — единственный источник нутриентов для новорожденных телят, при этом состав и пропорции компонентов молока оптимальны для их усвоения, что обеспечивает успешное выживание вида. Количество и структурная композиция макро- и микроэлементов молока комплементарны активному анаболизму и развитию скелетно-мышечной системы, в частности костяка молодняка. Цель нашего обзора — провести комплексный анализ данных по содержанию микро- и макроэлементов в молоке во взаимосвязи с их биологической ролью в организме коров. Сравнительный анализ накопленных данных демонстрирует достаточно широкий количественный диапазон для минеральных элементов в молоке. Так, содержание Zn может колебаться от 3,09 до 6,48 мг/кг, Cu — от 0,83 до 1,73 мг/кг (S.M. Zain, 2016; S. Kinal, 2007). Среди главных причин этого выделяют алиментарный фактор (A. Costa, 2021), тесно связанный с естественным распределением микро- и макроэлементов в земной коре (S.M. Zain, 2016), и синергические и антагонистические взаимодействия элементов при их усвоении (N. Bortey-Sam, 2015; A.V. Skalny, 2019). Например, избыток калия и кальция снижает усвоение магния и фосфора (A.V. Skalny, 2019), а нарушение всасывания Ca наблюдается при дефиците витамина D (W.P. Weiss, 2017). Отметим и изменчивое поступление минеральных элементов в молоко, связанное с периодом лактации, сезоном года (S.M. O'Kane, 2018; Е.С. Кандинская, 2019), типом содержания и кормления (В.С. Козырь, 2015; I. Orjales, 2018). Результаты количественного анализа методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой показали, что содержание йода и селена в молоке выше значений, приведенных в существующих базах данных о составе пищевых продуктов (S.M. O'Kane, 2018). Таким образом, при выборе молока в качестве источника минеральных элементов для компенсации их дефицита в рационе человека можно использовать созданные ранее базы лишь в части подтвержденных сведений. Вновь формируемые базы данных должны быть более доступными для потребителя. Кроме того, активное развитие и внедрение в практику молекулярных методов исследования позволяет проводить идентификацию целевых генов и белков в качестве маркеров для оценки содержания макро- и микроэлементов (W.P. Weiss, 2017; A. Costa, 2021). Однако пока успехи здесь слабые. Тем не менее точный элементный анализ молока необходим как для подтверждения его безопасности в отношении токсичных макро- и микроэлементов, так и для решения проблемы дефицита макро- и микроэлементов в питании человека.

Ключевые слова: коровье молоко, минеральный состав, микроэлементы, макроэлементы, корма, кровь.

Молоко — сложная биологическая жидкость, значение питательной ценности которой трудно переоценить (1). Молочная диета играет важную роль в предотвращении развития хронических заболеваний (2, 3) — ожирения, диабета, рака и некоторых сердечно-сосудистых патологий (2, 3). Факт ценности молока для питания человека (1, 3) вызывает постоянный интерес в разных странах (5, 6) у ученых, представляющих разные области науки (2, 4-6).

Важное направление современных исследований молока (1, 7) — биохимия молока и молочных продуктов (8-12). В работе M.L. Astolfi с соавт. (8) уточняется известное положение о том, что коровье и козье молоко служит важными источниками макро- и микроэлементов (ММЭ) (1), в частности Ca, K, Mg, Na, P, Se и Zn (8). Растительные аналоги (соевое,

* Работа выполнена при финансовой поддержке фундаментальных научных исследований Минобрнауки России, номер государственного учета НИОКТР АААА-А18-118021590136-7. Регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР ГЗ 2021-2023 121052600314-1.

рисовое, овсяное, миндальное, кокосовое молоко) проигрывают молоку животных по содержанию как ММЭ, так и других веществ (8). В то же время соевое и кокосовое молоко служат хорошими источниками магния, а молоко из фундука богато ионами натрия (8). В своем обзоре S. Sethi с соавт. (9), признавая конкуренцию стремительно развивающегося рынка растительного молока, отмечают, что для большинства из альтернатив коровьего молока (типа растительного молока) характерно отсутствие необходимого человеку питательного баланса по ММЭ. Растительные виды молока уступают животному по целому ряду параметров, а их употребление рассматривается скорее как вынужденная мера (8, 9). При этом функционально активные компоненты, на которые делает акцент производитель, — единственное преимущество растительных видов молока, которое способствует решению узких, точечных задач (9, 10), тогда как в составе коровьего молока обнаружено около 50 макро- и микроэлементов, которые оптимально сбалансированы (1, 11).

Выкармливание молоком — это определенная стратегия эволюционного развития у млекопитающих, их заботы о потомстве и, в итоге, выживания вида. В продукции молока участвует не только молочная железа, но и различные органы и системы, молекулы-переносчики (12). В результате энзиматической трансформации макро- и микроэлементов кормов (13) формируется композиция (1, 14) с соотношением и балансом компонентов молока (15), способствующими их лучшей кишечной абсорбции и утилизации (13, 14). Это важно, поскольку от избытка или недостатка лишь одного микро- или макроэлемента изменяется характер всех межэлементных взаимоотношений (15, 16), что затрагивает и нарушает работу ряда органов и систем (17-19). Кроме того, взаимодействие ММЭ друг с другом в процессе пищеварения и всасывания может сопровождаться эффектами синергизма и антагонизма (15, 16). Так, присутствие ртути и мышьяка приводит к дефициту селена, кадмия — к дефициту селена и цинка, кальция — к дефициту цинка и фосфора, железа — к дефициту меди и цинка, марганца — к дефициту меди и магния, молибдена — к дефициту меди, цинка — к дефициту меди и железа (15). Вдобавок почвообразующие породы, состав воды и воздуха (20) на разных участках земной поверхности часто характеризуются неравномерным распределением ММЭ (21), что во многом определяет состав микроорганизмов, растений и животных (21). Рассеивание в окружающей среде ММЭ (главным образом, металлов) при добыче и использовании приводит к серьезному антропогенному загрязнению (17). Это сказывается как на здоровье лактирующих коров, так и на качестве молока, на состав которого прямо влияют процессы, происходящие в окружающей среде (17, 19, 22).

В ряде комплексных исследований (12, 13) по выяснению метаболических механизмов продукции молока (18), например в работе H. Sun с соавт. (23), одновременно оценивали рубцовую жидкость, молоко, сыворотку крови и мочу. Отмечается, что по сравнению с биохимическим анализом крови (15, 24, 25) анализ состава молока более показателен при оценке минерального статуса животного (15, 23). Кроме того, информацию об составе молока по ММЭ можно использовать как для оценки баланса ММЭ в рационе дойных коров, так и для информирования конечного потребителя об уровне содержания ММЭ в продукте.

И хотя многие исследователи (10, 15, 26) сосредоточены на проблеме глобального дефицита питательных микроэлементов (15, 26) и решении вопросов повышения эффективности и безопасности обеспечения человека

ММЭ за счет продуктов питания (15, 26, 27), мало внимания уделяется информированию конечного потребителя о составе продуктов питания, в частности молока, по ММЭ. В России объем информации, предоставляемой потребителю на упаковке молока, строго регламентирован (27) ФЗ РФ № 88, техническим регламентом на молоко и молочную продукцию от 13.06.2008 с поправками от 22.03.2014 и техническим регламентом Таможенного союза 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» от 09.05.2014. В документах прописаны правила маркировки молока и молочной продукции (указывается содержание в готовом продукте жира, белков, углеводов в процентах или в граммах в расчете на 100 г продукта, энергетическая ценность в калориях или килокалориях), но при этом не регламентируется порядок информирования потребителей о содержании ММЭ. Однако содержание в готовом продукте ММЭ, витаминов указывают только в случае обогащения, то есть их дополнительного введения в готовый продукт.

Цель представленного мини-обзора — комплексный анализ данных по содержанию микро- и макроэлементов (ММЭ) в молоке коров с учетом биологической роли ММЭ в организме животного.

В промышленных условиях на состав ММЭ молока (28, 29) оказывают влияние основные рационы и применяемые кормовые добавки (16), особенности метаболизма животных (30, 31), технология их содержания (32) и доения (33), продуктивность (34), генетические особенности (35), время года (36), возраст первого отела (37) и другие факторы (38, 39). В период доминанты лактации поступление в молочную железу метаболитов, в частности ММЭ, носит приоритетный характер (12). В случае недостатка ММЭ происходит мобилизация резервов этих метаболитов из их депо в крови, костях, мышцах, печени, коже, жировой ткани (24, 25, 40).

Кальций и фосфор (Ca, P). Эти элементы необходимы для формирования костной ткани теленка, поскольку процессы их всасывания из кишечника и участие в процессе окостенения идут одновременно (15). Без кальция не обходится передача нервных импульсов и сокращение мускулатуры, реакция кровяного сгустка и многие другие реакции (24, 25). Е.С. Кандинская с соавт. (41) установили, что среднее содержание Ca в сыром молоке коров голштинской и черно-пестрой пород составляет от 0,7 до 1,1 г/л. В этом же исследовании (41) отмечена тенденция к повышению количества Ca в молоке, полученном в осенний период. Известно (12, 41), что каким бы ни было содержание Ca и P в коровьем молоке, их соотношение стремится к пропорции 1:1-1,4:1. Отдельно стоит отметить роль фосфора в поддержании целлюлозолитической функции микроорганизмов рубца (42), а также в синтезе микробного протеина, что крайне важно для жвачных животных (12, 42).

Кроме того, поскольку Ca и P — важные составляющие казеиновых мицелл (14, 43), эти химические элементы оказывают влияние и на способность молока к сычужной коагуляции. В работе M. Malacarne с соавт. (43) установлено, что для производства сыров наиболее пригодно молоко с самым высоким содержанием белковых фракций и минералов, низкой концентрацией хлоридов и высокими значениями титруемой кислотности (1, 11, 43). Несвертывающееся молоко имело высокие значения pH и низкую титруемую кислотность (43). Для формирования казеиновых мицелл оптимальны самые высокие значения коллоидного Ca, связанного с казеинами P. Однако чрезмерная минерализация может привести к снижению количества фосфатных групп казеина, доступного для образования творога (43).

Натрий и калий (Na, K). Натрий (24, 25) играет важную роль в

поддержании буферной емкости крови, активации пищеварительных ферментов (12), регуляции нервной и мышечной проводимости, водно-солевом обмене. Калий поддерживает осмотическое давление (24, 25), регулирует кислотно-щелочное равновесие, участвует в передаче нервных импульсов, сокращении мышц, транспортировке кислорода и двуокиси углерода, в фосфорилировании креатинина, выступает в роли активатора или кофактора ферментативных реакций (12, 24, 25). При помощи атомно-эмиссионного метода установлено, что содержание в молоке натрия составляет 350,3-427,2 мг/кг, калия — 1159,8-1337,9 мг/кг (44). При этом количество Na в молоке увеличивается в динамике лактации, в то время как количество K уменьшается. Субклинический мастит и внутриматочная инфекция повышают концентрацию Na и снижают концентрацию K в молоке (45).

Магний (Mg). Этот химический элемент входит в состав и влияет на активность более 300 ферментов (24, 25), регулирующих биоэнергетические процессы в организме (15), деятельность сердечно-сосудистой системы и уровень жиров в крови (25). Внеклеточный магний необходим для работы нервной системы, функционирования мышечной ткани, образования костной ткани. Гипомагниемия служит основной причиной травяной тетании.

Медь (Cu). Медь влияет на активность ферментов, ответственных за окисление метаболитов и клеточное дыхание (12, 15, 25). Cu стимулирует выработку половых гормонов, тироксина и нейромедиаторов (24, 25), необходима для синтеза гема, мобилизации и транспорта железа из печени в костный мозг (46) и поддержания эритропоэза (24, 46). Ионы Cu облегчают процесс передачи возбуждения в мозге (15). Роль меди крайне важна для образования соединительной ткани (хрящей, связок, стенок сосудов), поскольку именно медь катализирует формирование перекрестных связей десмозина в коллагене и эластине (12). Cu входит в состав супероксиддисмутазы (EC 1.15.1.1) (24), которая предохраняет клетки от метаболитов реакций окисления и важна для поддержания активного фагоцитоза (15). Известно (1), что повышенные концентрации Cu в молоке приводят к риску развития окислительных процессов и появлению специфического привкуса (11). Дефицит Cu приводит к снижению биологической доступности железа, депонированного в печени (15, 46). Со временем это становится причиной изменения гематологических показателей, что проявляется в форме нормоцитарной нормохромной или гипохромной микроцитарной анемии (46). Первичный дефицит меди у молочных коров связан с биогеохимическими провинциями, в которых медь менее распространена, вторичный вызван избыточным поступлением антагонистов (15) — молибдена, серы, железа и цинка, что снижает всасывание меди из желудочно-кишечного тракта (46).

Кобальт (Co). Co входит в состав витамина B_{12} (кобаламина), который синтезируют микроорганизмы рубца (12). Недостаток Co и, как следствие витамина B_{12}, особенно остро ощутим при активной клеточной пролиферации, в частности в системе кроветворения (15). Молодые животные наиболее чувствительны к недостатку Co (12), поскольку резерв витамина B_{12} в их печени еще мал, в то время как у взрослых особей запаса витамина может хватить на несколько месяцев.

Железо (Fe^{2+}). Двухвалентное железо — жизненно необходимый элемент (15, 24), участвующий в метаболизме в виде Fe^{2+} (в составе гемоглобина, миоглобина) или в виде окислительно-восстановительной пары Fe^{2+}/Fe^{3+} (например, в ферментах дыхательной цепи). Его основная функция связана с транспортом кислорода и углекислого газа в составе гемоглобина (25), участии в качестве кофактора для осуществления функции

ферментов электронной транспортной цепи и ряда других ферментов (25). Стоит отметить, что у взрослых животных дефицит железа встречается редко (46), что связано со значительной распространенностью железа в окружающей среде, а также с загрязнением грубых кормов почвой (12, 15), зато часто проявляется у телят до отъема (46, 47). Биологическая доступность Fe из молока млекопитающих не всегда удовлетворяет потребности потомства в полной мере (12, 47). Пожалуй, это тот исключительный случай, когда при проблеме дефицита Fe молоко следует исключить из диеты. По нашему мнению, это связано с наличием в молоке большого количества антагонистов Fe — фосфатов, марганца, никеля и селена, поскольку они препятствуют абсорбции Fe в проксимальном отделе тонкой кишки (15, 47). В свою очередь, J. Joerling и K. Doll (47) связывают низкий уровень Fe и развитие анемии у телят в основном с их кормлением цельным молоком без пищевых добавок. Безусловно, этот факт также следует учитывать при назначении диеты пациентам с анемией и использовать заменители молока, приготовленные из растительного сырья, как продемонстрировано в работе M.L. Astolfi с соавт. (8). В этом случае соевое и кокосовое молоко лучше обеспечат потребность в Fe, кроме того, эти продукты не содержат такого количества антагонистов Fe, препятствующих его всасыванию.

Йод (I). Йод — важный микроэлемент (15, 25), поступающий из океанов (15). Он необходим для синтеза тиреоидных гормонов, регулирующих метаболизм энергии (24), рост и развитие (25), в некоторой степени процессы передачи нервных раздражителей и развитие мозга (48, 49). Во время лактации происходит активный синтез тиреоидных гормонов (12), что требует большого поступления йода к щитовидной железе (12, 48). Кроме того, большая часть поступающего с кормом йода выводится с молоком и мочой (12, 15). Молоко может содержать от 530,40 до 588,85 мкг йода на 1 л (50). Это зависит от источника йода и его содержания в кормах, наличия антагонистов, выбора в пользу йодсодержащих препаратов для дезинфекции сосков вымени (48, 49). Молоко и молочные продукты считаются важными источниками йода (48, 49), что особенно актуально для территорий с его выраженным дефицитом — Западной (Тюменская область, Башкирия) и Восточной (Красноярский край, Якутия, Тыва) Сибири, а также в регионах России, пострадавших при аварии на Чернобыльской АЭС, которые эндемичны по зобу (15, 26).

В работе A. Costa с соавт. (49) на выборке из 4072 коров установлено, что содержание йода в коровьем молоке — это признак, который наследуется с низкой частотой. Таким образом, стратегии разведения существенно уступают стратегиям кормления по эффективности повышения уровня йода в молоке.

Марганец (Mn). Наибольшее накопление марганца характерно для гипофиза, печени, неорганической матрицы костной ткани, щитовидной и поджелудочной желез, а также молочной железы во время лактации (12). Mn-супероксиддисмутаза (EC 1.15.1.1) (51) совместно с другими антиоксидантами ограничивает аккумуляцию реактивных форм кислорода (3, 51). Недостаток поступления марганца в организм телят приводит к замедленному росту, аномалиям в развитии скелета, что связано с недостатком ферментов галактотрансферазы и гликозилтрансфераз (EC 2.4) (12). Содержание марганца в молоке может варьировать от 51,24 до 101,84 мкг/л (50).

Цинк (Zn). Цинк входит в состав многих металлосодержащих ферментов (24, 25), непосредственно участвующих в обмене углеводов, белков, липидов и нуклеиновых кислот (12, 15). Примером служат Zn- и Cu-содержащая супероксиддисмутаза (EC 1.15.1.1) (3, 51), карбоангидраза (EC

4.2.1.1), алкогольдегидрогеназа (EC 1.1.1.1), РНК-полимеразы (EC 2.7.7) (12, 15). Zn участвует в регуляции деления клеток, воспроизводстве потомства, выработке белков и пищеварительных ферментов (15, 25). Содержание цинка в молоке, по разным данным, сильно варьирует — от 3,09 до 6,48 мг/кг (22). Введение хелатных форм Zn, Cu, Mn в рацион высокопродуктивных коров увеличивает надои молока на 6,5 % за 305 сут лактации, положительно влияет на уровень ММЭ и иммуноглобулинов в молозиве (52, 53).

Селен (Se). Se действует как мощный иммуностимулятор, участвуя в регуляции образования и активности Т-хелперов, натуральных киллеров, фагоцитарной активности нейтрофилов (54, 55). Его антиоксидантные свойства реализуются благодаря действию ферментов, содержащих селеноцистеин (например, семейство глутатионпероксидаз, EC 1.11.1.9) (29, 55). Se обнаружен в протеинах, задействованных в метаболизме гормонов щитовидной железы, — дейодиназах йодтиронинов (EC 1.21.99.4 и EC 1.21.99.3) и таким образом влияет на обмен веществ (55). Непосредственно в молоке Se препятствует накоплению продуктов перекисного окисления липидов (3, 12, 29). Органические формы селена в рационе дойных коров увеличивали содержание Se в молоке — до 57,25 мкг/л на 90-е сут эксперимента против 21,98-25,25 мкг/л в контроле (29).

Количественный состав макро- и микроэлементов и его формирование. При сравнительном анализе результатов исследований, выполненных в период с 2005 по 2018 год (табл. 1), очевидна сильная вариация образцов молока по количественному составу ММЭ (22, 29, 44, 50, 52, 53, 55-58).

1. Содержание минеральных элементов в молоке коров (по данным публикаций)

Элемент	Содержание
Кальций	1,273-2,156 мкг/мл (56), 1,06-1,20 г/кг (53), 0,81-0,85 г/кг (52), 942,2-1009,3 мг/л (57)
Фосфор	719,93-1216,55 мкг/мл (56), 0,95-1,01 г/кг (53), 0,88-0,93 г/кг (52)
Натрий	350,3-427,2 мг/кг (44), 0,47-0,49 г/кг (52), 321,3-452,9 мл/л (57), 372-495,1 мг/л (22)
Калий	1159-1337 мг/кг (44), 1474-1550 мг/кг (22), 764,7-1206,5 мг/л (57)
Магний	119,7-130,9 мкг/мл (56), 0,11-0,13 г/кг (53), 0,095-0,097 г/кг (52), 62,8-128,3 мл/л (57)
Железо	0,198-0,258 мкг/мл (56), 1,33-4,58 мг/кг (22), 0,16-0,63 мг/л (57), 1,01-3,48 мг/кг (22)
Медь	1,49-1,73 мг/кг (53), 65,37-89,85 мкг/л (50), 0,83-1,30 мг/кг (22), 0,01471-0,1420 мкг/мл (56)
Цинк	3,69-4,98 мг/кг (53), 3085,42-3163,68 мкг/л (50), 3,09-6,48 мг/кг (22), 2,026-4,800 мкг/мл (56)
Марганец	0,02 мкг/мл (55), 51,24-101,84 мкг/л (50), 0,08 мг/кг (22), 0,0116-0,0407 мкг/мл (56)
Молибден	10,39-10,65 мкг/л (50), 0,05-0,098 мг/кг (22)
Кобальт	5,16-8,34 мкг/л (50)
Йод	530,4-588,9 мкг/л (50), 423,1-534,3 мкг/кг (58)
Селен	0,0100-0,0209 мкг/мл (56), 22,44-39,20 мкг/л (50), 21,98-57,25 мкг/л (29)

Примечание. В ссылке (55) приведены данные для симментальской и голштино-фризской пород.

Например, по имеющимся сообщениям, содержание Zn в молоке колеблется от 3,09 до 6,48 мг/кг (22), Cu — от 0,83 мг/кг (22) до 1,73 мг/кг (53), Ca — от 0,81 г/кг (52) до 1,20 г/кг (53). Сравнительное исследование состава ММЭ у симментальской и голштино-фризской пород, проведенное R. Pilarczyk с соавт. (56), показало лучшее сочетание ММЭ в молоке симментальской породы. В нем больше Fe, Mg и меньше Pb и Cd (56). В выполненной в 2016 году работе S.M. Zain с соавт. (22) Ca, Na, Fe, Zn, Mn, K, Ba и Mg отмечены в качестве определяющих минеральных элементов при сравнительном исследовании проб малазийского молока и молока из других регионов мира (22). Такая разница, очевидно, в большей степени связана с составом ММЭ почв, характерных для конкретных географических зон (17).

В свою очередь, повсеместное применение добавок ММЭ в кормлении молочного скота (29, 52, 57-59) и антропогенное воздействие (20, 21) вносят свои коррективы в аутоинтефикацию молока по составу ММЭ (22),

что требует регулярного анализа и своевременного внесения полученных результатов в текущие базы данных. Так, работа S.M. O'Kane с соавт. (58) показала, что концентрации йода и селена, установленные ими в 2018 году, были выше, чем в текущих базах данных по составу пищевых продуктов в Соединенном Королевстве.

Безусловно, свою роль в определении количества ММЭ в молоке играют методы анализа. Достаточно подробно об этом сообщает W.P. Weiss (59). Развитие метода пламенной спектроскопии значительно упростило элементный анализ (59) и повысило аналитическую чувствительность. Конец 1960-х годов ознаменовался бумом в исследовании Co, Cu, Fe, Mn, Se, J, Zn и многих других элементов (15, 59). В настоящее время 22 ММЭ относят к подлежащим нормированию при составлении рациона молочного скота (59). Š. Zamberlin с соавт. (10) выделяют 20 ММЭ в качестве необходимых в питании человека, и, повторимся, все они содержатся в молоке. Элементный состав молока напрямую связан с качеством элементного питания молочных коров. Современные методы анализа, доступные для контроля ММЭ в кормах, биологических жидкостях и тканях, — это атомно-абсорбционная спектрометрия (52, 57), атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно связанной плазмой (56), масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (50, 60), атомно-флуоресцентная спектрометрия (29). Их применение позволяет кратно повысить скорость и точность выполняемых исследований одновременно по нескольким ММЭ при контроле рационов, элементного статуса животных и качества молочных продуктов.

В настоящее время осуществляются попытки приложения молекулярных методов применительно к элементному анализу (59). К примеру, рассматривается возможность идентификации специфичных генов и белков в качестве маркеров для оценки уровня ММЭ. В работе L.A. Sinclair с соавт. (60) было проверено влияние источника Cu на экспрессию мРНК в печени. Однако авторы не наблюдали эффекта ($p > 0,05$) как в присутствии антагонистов меди (S и Mo), так и без них.

Изучение породных особенностей в качестве фактора влияния на количественный состав ММЭ в молоке (56, 57) показало, что у симментальских коров в сравнении с голштинскими обнаружено больше Ca, Mn, Se и достоверно больше Fe и Mg ($p < 0,05$) (56). Оценка содержания минеральных элементов в молоке у шести различных пород (симментальской, голштино-фризской, черно-пестрой и красно-пестрой, польской красной, белохвостой) показала, что в молоке симментальских коров и аборигенных пород содержалось больше K, Ca, Na, Mg, Zn, Fe (57). При этом авторы подчеркивают, что аборигенные и симментальская породы коров получали больше зеленых кормов в сравнении с голштино-фризскими, черно- и красно-пестрыми (57).

Продуктивное долголетие молочных коров и минеральный обмен. Лактация как физиологический процесс связана с повышенной метаболической нагрузкой (61-63). Разные стадии лактации сопровождаются характерными гормональными, гематологическими, биохимическими и иммунологическими перестройками (61, 62). По мнению A. Sundrum (64), функциональные адаптации, которые происходят у лактирующей коровы, затрагивают весь организм. Так, в пик лактации S.B. Kim с соавт. (61) наблюдали снижение гемоглобина и гематокрита, повышение концентрации азота мочевины и общего холестерина, увеличение активности аланинаминотрансферазы (EC 2.6.1.2) (61). Высокая молочная продук-

тивность неизбежно сказывается на минеральном обмене (61, 62). Самый яркий пример этого — парез гладкой и поперечнополосатой мускулатуры, вызванный активным выведением Са с молоком (59, 61) в первые дни и даже часы (64) после отела. Для раннего периода лактации характерна увеличенная потребность не только в Са (повышение в 6,8 раза), но и в глюкозе (повышение в 2,7 раза), аминокислотах (повышение в 2 раза), жирных кислотах (повышение в 6,8 раза) (64). Целенаправленный отбор на повышение молочной продуктивности значительно увеличил разрыв между расходом ресурсов в организме и способностью их потребить (64, 65). В том числе это касается ММЭ. Энергию, затрачиваемую на обеспечение высокой молочной продуктивности, животное восполняет за счет собственных тканей (65), что приводит к хроническому метаболическому ацидозу (64, 65). В таких условиях даже усиленное всасывание Са из кишечника и мобилизация этого элемента из депо костной ткани не поддерживают нормальный уровень электролита в крови (64).

Следовательно, необходимо регулярно контролировать состояние лактирующих животных. В таблице 2 мы приводим некоторые данные по содержанию ММЭ в крови молочных коров (12, 66).

2. Содержание минеральных элементов в крови коров (по данным публикаций)

Элемент	Содержание
Кальций	2,50-3,11 ммоль/л (25), 1,90-2,33 г/кг (53), 2,53±0,25 ммоль/л (61)
Фосфор	1,45-2,10 ммоль/л (25), 1,94±0,06 ммоль/л (61), 1,57-2,42 г/кг (53)
Натрий	139-148 ммоль/л (25)
Калий	4,1-4,9 ммоль/л (25)
Магний	0,5-1,5 ммоль/л (25), 1,14-1,30 г/кг (53), 1,08±0,08 ммоль/л (61)
Железо	17,9-29,0 ммоль/л (25), 29,7-39,7 ммоль/л (24), 26,5-29,2 мкмоль/л (60)
Медь	0,593-0,776 мг/л (63), 5,14-5,54 ммоль/л (24), 12,8-13,5 мкмоль/л (60)
Цинк	0,851-0,87 мг/л (63), 16,54-18,83 мкмоль/л (53), 10,2-10,6 мкмоль/л (60)
Марганец	2,72-4,48 мкг/л (63)
Молибден	13,1-36,2 мкг/л (63), 0,16-0,36 мкмоль/л (60)
Кобальт	0,884-1,111 мкг/л (63)
Йод	48,4-83,6 мкг/л (63)
Селен	33,9-59,8 мкг/л (63), 118,19-125,08 мкг/л (29), 0,08-0,16 мг/л (55)

Очевидно, что для крови характерны более жесткие границы состава ММЭ, обусловленные гомеостатической регуляцией (67, 68). Определяющим в сохранении продуктивного долголетия будет то, насколько успешно организм справляется с метаболическими нагрузками как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе (64, 65).

Нужно учитывать, что в условиях крупных современных животноводческих комплексов, где тип кормления и состав рациона строго регламентированы, влияние особенностей региона (в том числе геохимических провинций) на минеральный статус животного и качество молочной продукции или минимально, или полностью нивелируется введением в рацион соответствующих минеральных добавок. При органическом производстве и минеральный обмен животных, и качество получаемой от них продукции в большей степени зависят от местных условий (66). Так, при свободном выпасе и кормлении силосом в молоке повышалось содержание As, Cr, Fe, Pb. Безусловно, и в подобных случаях возможно нормирование ММЭ и их дополнительное введение в рацион, однако при этом исключить и/или учесть влияние ММЭ, характерных для местности и поступающих с кормами, будет сложнее. Как вариант, можно учитывать наличие, например, избыточного количества железа в воде, почве, кормах и вводить в рацион или воду антагонисты железа, препятствующие его избыточному поступлению в организм. Концентратный тип кормления обогащает мо-

локо Co, Cu, I, Se, Zn (66), однако имеет свои особенности влияния на здоровье продуктивных животных (этих вопросов в рамках настоящей публикации мы не касаемся).

Подводя итог обсуждению макро- и микроэлементного состава коровьего молока, и факторов, определяющих его формирование, отметим, что, по-нашему мнению, необходима система мер, обеспечивающих возможность использовать молоко как продукт, компенсирующий дефицит элементного питания человека. Во-первых, необходимо сформировать достаточное по численности здоровое поголовье с молочной продуктивностью, соответствующей физиологическим возможностям организма животных. Во-вторых, кормление молочных коров должно быть сбалансировано по ММЭ с учетом местных особенностей (в частности, данных по составу ММЭ в почве и воде, по удаленности от предприятий, которые потенциально опасны и загрязняют окружающую среду токсичными ММЭ, по сезонности условий, по макро- и микроэлементному составу кормов, особенно привозных). В-третьих, важен регулярный мониторинг ММЭ в молоке с указанием достоверной и точной информации о готовом продукте.

Возможно, стоит также обратить больше внимания на использование в молочном скотоводстве местных аборигенных пород, сконцентрировавшись на их адаптационном потенциале по использованию ММЭ.

Итак, коровье молоко считается общепризнанным источником макро- и микроэлементов (ММЭ), в частности Ca, K, Mg, Na, P, Se, Zn, в питании человека. Содержание ММЭ в молоке обусловлено геохимическими условиями региона (в основном, при беспривязном содержании) и кормлением (с учетом добавок ММЭ в той или иной форме). Количественный состав ММЭ молока показателен при оценке минерального статуса дойных коров и баланса ММЭ в их рационе, что важно для нормализации метаболизма, обеспечения продуктивного долголетия животного, роста и развития молодняка. При выборе молока как источника минеральных элементов для компенсации их дефицита в рационе человека можно пользоваться созданными ранее базами данных лишь в части сведений, подтвержденных современными методами качественного и количественного анализа. Чтобы использовать коровье молоко в качестве продукта функционального (элементного) питания человека, необходима система мер, включающая формирование соответствующего поголовья, контроль кормления по сбалансированности и составу ММЭ, мониторинг ММЭ в молоке. Достоверная и точная информация о качестве готового продукта, в частности, его минерального состава должна быть доступна для потребителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбатова К.К., Гунькова П.И. *Биохимия молока и молочных продуктов*. СПб, 2010.
2. Komine-Aizawa S., Ito S., Aizawa S., Namiki T., Hayakawa S. Cow milk exosomes activate NK cells and γδT cells in human PBMCs in vitro. *Immunol. Med.*, 2020, 43(4): 161-170 (doi: 10.1080/25785826.2020.1791400).
3. Khan I.T., Nadeem M., Imran M., Ullah R., Ajmal M., Jaspal M.H. Antioxidant properties of Milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids Health Dis.*, 2019, 18(1): 1-14 (doi: 10.1186/s12944-019-0969-8).
4. Pipino C., Mandatori D., Buccella F., Lanuti P., Preziuso A., Castellani F., Grotta L., Tomo P., Marchetti S., Pietro N., Cichelli A., Pandolfi A., Martino G. Identification and characterization of a stem cell-like population in bovine milk: a potential new source for regenerative medicine in veterinary. *Stem Cells and Development*, 2018, 27(7): 1587-1597 (doi: 10.1089/scd.2018.0114).
5. Rahman M.M., Gofur M.R., Rahman M.S., Bari F.Y., Juyena N.S. Effect of genotype on reproductive and productive performances of dairy cows under rural context in Bangladesh. *International Journal of Livestock Research*, 2016, 6(6): 9-24 (doi: 10.5455/ijlr.20160412082206).

6. Dufrasne I., Istasse L., Lambert R., Robaye V., Hornick J.L. Study on environmental factors influencing the urea content of cow milk in Wallonia (Belgium). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 2010, 14: 59-66.
7. Шувариков А.С. История кафедры молочного дела. *Известия ТСХА*, 2012, 6: 186-193.
8. Astolfi M.L., Marconi E., Protano C., Canepari S. Comparative elemental analysis of dairy milk and plant-based milk alternatives. *Food Control*, 2020, 116: 107327 (doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107327).
9. Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *J. Food Sci. Technol.*, 2016, 53: 3408-3423 (doi: 10.1007/s13197-016-2328-3).
10. Zamberlin Š., Neven A., Havranek J., Samaržija D. Mineral elements in milk and dairy products. *Mljekarstvo*, 2012, 62: 111-125.
11. Забодалова Л.А., Евстигнеева Т.Н. *Технология цельномолочных продуктов и мороженного*. СПб, 2013.
12. Харитонов Е.Л. *Физиология и биохимия питания молочного скота*. Боровск, 2011.
13. Харитонов Е.Л., Панюшкин Д.Е., Макар З.Н. Биосинтез компонентов молока при варьировании уровня легкодоступных углеводов в рационах коров. *Нива Поволжья*, 2019, 1(50): 79-86 (doi: 10.26177/VRF.2019.1.1.010).
14. Zaitsev S.Yu., Voronina O.A., Dovzhenko N.A., Milaeva I.V., Tsarkova M.S. Comprehensive analysis of the colloid biochemical properties of animal milk as complex multicomponent system. *BioNanoScience*, 2016, 4(6): 1-8 (doi: 10.1007/s12668-016-0389-4).
15. Скальный А.В. *Микроэлементы: бодрость, здоровье, долголетие*. М., 2019.
16. Крюков В.С., Кузнецов С.Г., Некрасов Р.В., Зиновьев С.В. Особенности действия органических и неорганических источников микроэлементов в питании животных. *Проблемы биологии продуктивных животных*, 2020, 3: 27-54 (doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.3.27-54).
17. Безносова Е.А., Безносов Г.А., Устюгов А.Д., Флефель Х.Э. Повышение качества продукции животноводства в зонах рискованного аграрного производства при неблагополучных факторах окружающей среды. *Аграрный вестник Урала*, 2019, 5(184): 28-32 (doi: 10.32417/article_5d5157e47a3e85.50147466).
18. Baumgard L.H., Collier R.J., Bauman D.E. *A* 100-year review: regulation of nutrient partitioning to support lactation. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(12): 10353-10366 (doi: 10.3168/jds.2017-13242).
19. Bortey-Sam N., Nakayama S.M.M., Ikenaka Y., Akoto O., Baidoo E., Yohannes Y.B., Mizukawa H., Ishizuka M. Human health risks from metals and metalloid via consumption of food animals near gold mines in Tarkwa, Ghana: estimation of the daily intakes and target hazard quotients (THQs). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015, 111: 160-167 (doi: 10.1016/j.ecoenv.2014.09.008).
20. Skalny A.V., Salnikova E.V., Burtseva T.I., Skalnaya M.G., Tinkov A.A. Zinc, copper, cadmium, and lead levels in cattle tissues in relation to different metal levels in ground water and soil. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26(1): 559-569 (doi: 10.1007/s11356-018-3654-y).
21. Лисеев И.К. В.И. Вернадский: от единства знания к царству разума (цивилизационные мотивы). *Проблемы цивилизационного развития*, 2020, 2(1): 20-34 (doi: 10.21146/2713-1483-2020-2-1-20-34).
22. Zain S.M., Behkami S., Bakirdere S., Koki I.B. Milk authentication and discrimination via metal content clustering — a case of comparing milk from Malaysia and selected countries of the world. *Food Control*, 2016, 66: 306-314 (doi: 10.1016/j.foodcont.2016.02.015).
23. Sun H., Wang D., Wang B., Wang J., Liu H., Guan L.L., Liu J. Metabolomics of four biofluids from dairy cows: potential biomarkers for milk production and quality. *Journal of Proteome Research*, 2015, 14(2): 1287-1298 (doi: 10.1021/pr501305g).
24. Kaneko J.J., Harvey J.W., Bruss M.L. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. Amsterdam, 2008.
25. Зайцев С.Ю. *Биологическая химия: от биологически активных веществ до органов и тканей животных*. М., 2017.
26. Bailey R.L., West K.P., Black R.E. The epidemiology of global micronutrient deficiencies. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 2015, 66(9): 22-33 (doi: 10.1159/000371618).
27. Смирнов А.В. Сравнительный анализ требований, предъявляемых к сырому молоку ФЗ РФ №88 техническим регламентом на молоко и молочную продукцию от 13.06.2008 с поправками от 22.03.2014 и техническим регламентом таможенного союза 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» от 09.05.2014. *Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии*, 2014, 2: 19-22.
28. Strusiska D., Mierzejewska J., Skok A. Concentration of mineral components, β-carotene, vitamins A and E in cow colostrum and milk when using mineral-vitamin supplements. *Medycyna Weterynaryjna*, 2004, 60(2): 202-206.
29. Ran L., Wu X., Shen X., Zhang K., Ren F., Huang K. Effects of selenium form on blood and

milk selenium concentrations, milk component and milk fatty acid composition in dairy cows. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 90(13): 2214-2219 (doi: 10.1002/jsfa.4073).
30. Rius A.G, Appuhamy J., Cyriac J., Kirovski D., Becvar O., Escobar J., McGilliard M.L., Bequette B.J., Akers R.M., Hanigan M.D., Regulation of protein synthesis in mammary glands of lactating dairy cows by starch and amino acids. *Journal of Dairy Science*, 2010, 93: 3114-3127 (doi: 10.3168/jds.2009-2743).
31. Харитонов Е.Л., Панюшкин Д.Е. Кормовые и метаболические факторы формирования жирнокислотного состава молока у коров. *Проблемы биологии продуктивных животных*, 2016, 2: 76-106.
32. Colditz I.G., Hine B.C. Resilience in farm animals: biology, management, breeding and implications for animal welfare. *Animal Production Science,* 2016, 56(12): 1961-1983 (doi: 10.1071/AN15297).
33. Rodenburg J. Robotic milking: technology, farm design, and effects on work flow. *Journal of Dairy Science*, 2017, 9(100): 7729-7738 (doi: 10.3168/jds.2016-11715).
34. Nogalska A., Momot M., Sobczuk-Szul M., Pogorzelska-Przybyłek P., Nogalski Z. Calcium and magnesium contents in the milk of high-yielding cows. *Journal of Elementology*, 2017, 22(3): 809-815 (doi: 10.5601/jelem.2016.21.4.1365).
35. Canario L., Mignon-Grasteau S., Dupont-Nivet M., Phocas F. Genetics of behavioural adaptation of livestock to farming conditions. *Animal*, 2013, 7(3): 357-377 (doi: 10.1017/S1751731112001978).
36. Капсамун А.Д., Иванова Н.Н., Павлючик Е.Н., Пушкина Л.В. Использование минеральных веществ молочными коровами в летне-пастбищный период. *Международный научно-исследовательский журнал*, 2019, 6-1(84): 107-110 (doi: 10.23670/IRJ.2019.84.6.023).
37. Sawa A., Siatka K., Kręźel-Czopek S. Effect of age at first calving on first lactation milk yield, lifetime milk production and longevity of cows. *Annals of Animal Science*, 2019, 19(1): 189-200 (doi: 10.2478/aoas-2018-0044).
38. Li S., Wang Q., Lin X., Jin X., Liu L., Wang C., Chen Q., Liu J., Liu H. The use of “omics” in lactation research in dairy cows. *International Journal of Molecular Sciences*, 2017, 18(5): 983 (doi: 10.3390/ijms18050983).
39. Vailati-Riboni M., Elolimy A., Loor J.J. Nutritional systems biology to elucidate adaptations in lactation physiology of dairy cows. *Systems Biology in Animal Production and Health*, 2016, 2: 97-125 (doi: 10.1007/978-3-319-43332-5_5).
40. Connor E.E. Invited review: Improving feed efficiency in dairy production: challenges and possibilities. *Animal*, 2015, 9(3): 395-408 (doi: 10.1017/S1751731114002997).
41. Кандинская Е.С., Редькин С.В., Чебакова, Г.В. Мониторинг содержания кальция в сыром молоке коров. *Ветеринария сегодня*, 2019, 1: 29-33 (doi: 10.29326/2304-196X-2019-1-28-29-33).
42. Durand M., Komisarczuk S. Influence of major minerals on rumen microbiota. *The Journal of nutrition*, 1988, 118(2): 249-260 (doi: 10.1093/jn/118.2.249).
43. Malacarne M., Franceschi P., Formaggioni P., Sandri S., Mariani P., Summer A. Influence of micellar calcium and phosphorus onrennet coagulation properties of cows milk. *Journal of Dairy Research*, 2014, 81: 129-136 (doi: 10.1017/S0022029913000630).
44. Ивашкевич Л.С., Велентей Ю.Н., Гонта П.П. Определение содержания натрия и калия в молоке и сухих молочных смесях атомно-эмиссионным методом. *Здоровье и окружающая среда*, 2009, 14: 104-107.
45. Kandeel S.A., Megahed A.A., Constable P.D. Evaluation of hand-held sodium, potassium, calcium, and electrical conductivity meters for diagnosing subclinical mastitis and intramammary infection in dairy cattle. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 2019, 33(5): 2343-2353 (doi: 10.1111/jvim.15550).
46. Abramowicz B., Kurek Ł., Chałabis-Mazurek A., Lutnicki K. Copper and iron deficiency in dairy cattle. *Journal of Elementology*, 2021, 26(1): 241-248 (doi: 10.5601/jelem.2020.25.4.2093).
47. Joerling J., Doll K. Monitoring of iron deficiency in calves by determination of serum ferritin in comparison with serum iron: a preliminary study. *Open Veterinary Journal*, 2019, 9(2): 177-184 (doi: 10.4314/ovj.v9i2.14).
48. Flachowsky G., Franke K., Meyer U., Leiterer M., Schöne F. Influencing factors on iodine content of cow milk. *European Journal of Nutrition*, 2014, 53(2): 351-365 (doi: 10.1007/s00394-013-0597-4).
49. Costa A., Niero G., Franzoi M., Cassandro M., De Marchi M., Penasa M. Iodine content in bovine milk is lowly heritable and shows limited genetic variation. *Journal of Dairy Science*, 2021, 104(3): 3292-3297 (doi: 10.3168/jds.2020-19486).
50. Dobrzanski Z., Kołacz R., Gorecka H., Chojnacka K., Bartkowiak A. The content of microelements and trace elements in raw milk from cows in the Silesian Region. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2005, 14(5): 685-689.
51. Khan I.T., Nadeem M., Imran M., Ayaz M., Ajmal M., Ellahi M.Y., Khalique A. Antioxidant capacity and fatty acids characterization of heat treated cow and buffalo milk. *Lipids in Health and Disease*, 2017, 16(1): 163 (doi: 10.1186/s12944-017-0553-z).

52. Kinal S., Korniewicz A., Jamroz D., Zieminski R., Slupczynska M. Dietary effects of zinc, copper and manganese chelates and sulphates on dairy cows. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2005, 3(1): 168-172.
53. Kinal S., Korniewicz A., Słupczyńska M., Bodarski R., Korniewicz D., Čermák B. Effect of the application of bioplexes of zinc, copper and manganese on milk quality and composition of milk and colostrum and some indices of the blood metabolic profile of cows. *Czech Journal of Animal Science*, 2007, 52(12): 423-429 (doi: 10.17221/2338-CJAS).
54. Ferreira G.M., Petzer I.M. Injectable organic and inorganic selenium in dairy cows — effects on milk, blood and somatic cell count levels. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 2019, 86(1): a1664 (doi: 10.4102/ojvr.v86i1.1664).
55. Mehdi Y., Dufrasne I. Selenium in cattle: a review. *Molecules*, 2016, 21(4): 545 (doi: 10.3390/molecules21040545).
56. Pilarczyk R., Wojcik J., Czerniak P., Sablik P., Pilarczyk B., Tomza-Marciniak A. Concentrations of toxic heavy metals and trace elements in raw milk of Simmental and Holstein-Friesian cows from organic farm. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2013, 185(10): 8383-8392 (doi: 10.1007/s10661-013-3180-9).
57. Barlowska J., Litwinczuk Z., Krol J., Kedzierska-Matysek M. Fatty acid profile and minerals content milk from cows of various breeds over spring-summer feeding period. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2006, 15(1s): 13-16.
58. O'Kane S.M., Pourshahidi L.K., Mulhern M.S., Weir R.R., Hill S., O'Reilly J., Kmiotek D., Deitrich C., Mackle E.M., Fitzgerald E., Lowis C., Johnston M., Strain J.J., Yeates A.J. The effect of processing and seasonality on the iodine and selenium concentration of cow's milk produced in Northern Ireland (NI): implications for population dietary intake. *Nutrients*, 2018, 10(3): 287 (doi: 10.3390/nu10030287).
59. Weiss W.P. A 100-Year review: from ascorbic acid to zinc — mineral and vitamin nutrition of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2017, 100(12): 10045-10060 (doi: 10.3168/jds.2017-12935).
60. Sinclair L.A., Hart K.J., Johnson A.M. Effect of inorganic or organic copper fed without or with added sulfur and molybdenum on the performance, indicators of copper status, and hepatic mRNA in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2013, 96(7): 4355-4367 (doi: 10.3168/jds.2012-6322).
61. Kim S.B., Jung S.H., Do Y.J., Jung Y.H., Choe C., Ha S., Jeong H.Y., Cho A., Oh S.I., Kim E., Yoo J.G., Kim S. Haemato-chemical and immune variations in Holstein cows at different stages of lactation, parity, and age. *Veterinarni Medicina*, 2020, 65(03): 95-103 (doi: 10.17221/110/2019-VETMED).
62. Fadlalla I.M.T., Omer S.A., Atta M. Determination of some serum macroelement minerals levels at different lactation of dairy cows and their correlations. *Scientific African*, 2020, 8: e00351 (doi: 10.1016/j.sciaf.2020.e00351).
63. Aleri J.W., Hine B.C., Pyman M.F., Mansell P.D., Wales W.J., Mallard B., Fisher A.D. An assessment of immune and stress responsiveness in Holstein-Friesian cows selected for high and low feed conversion efficiency. *Animal Production Science*, 2017, 57(2): 244-251 (doi: 10.1071/AN15406).
64. Sundrum A. Metabolic disorders in the transition period indicate that the dairy cows' ability to adapt is overstressed. *Animals*, 2015, 5: 978-1020 (doi: 10.3390/ani5040395).
65. Opsomer G. Interaction between metabolic challenges and productivity in high yielding dairy cows. *Japanese Journal of Veterinary Research*, 2015, 63(1): S1-S14 (doi: 10.14943/jjvr.63.suppl.s1).
66. Orjales I., Herrero-Latorre C., Miranda M., Rey-Crespo F., Rodriguez-Bermudez R., Lopez-Alonso M. Evaluation of trace element status of organic dairy cattle. *Animal*, 2018, 12(6): 1296-1305 (doi: 10.1017/S1751731117002890).
67. Козырь В.С. Уровень микроэлементов в крови коров при использовании различных премиксов. *Вестник АПК Ставрополья*, 2015, 2(18): 135-139.
68. Lane T.W., Morel F.M. A biological function for cadmium in marine diatoms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2000, 97(9): 4627-4631 (doi: 10.1073/pnas.090091397).

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста,
142132 Россия, Московская обл., г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60,
e-mail: voroninaok-senia@inbox.ru ✉, s.y.zaitsev@mail.ru, 652202@mail.ru

Поступила в редакцию 22 июня 2021 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [*Agricultural Biology*], 2022, V. 57, № 4, pp. 681-693

MINERAL COMPOSITION OF COW MILK — A MINI REVIEW

O.A. Voronina✉*, N.V. Bogolyubova, S.Yu. Zaitsev*

Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60, pos. Dubrovitsy, Podolsk District, Moscow Province, 142132 Russia, e-mail voroninaok-senia@inbox.ru (✉ corresponding author), 652202@mail.ru, s.y.zaitsev@mail.ru
ORCID:
Voronina O.A. orcid.org/0000-0002-6774-4288 Zaitsev S.Yu. orcid.org/0000-0003-1533-8680
Bogolyubova N.V. orcid.org/0000-0002-0520-7022
The authors declare no conflict of interests
Acknowledgements:
Supported financially by Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (НИОКТР АААА-А18-118021590136-7). Registration number ЕГИСУ theme НИР ГЗ 2021-2023 121052600314-1
Received June 22, 2021 doi: 10.15389/agrobiology.2022.4.681eng

Abstract

Milk is a secretory product of the mammary glands which synthetic capacity is extremely high at the peak of lactation. Cow's milk is a generally recognized source of Ca, K, Mg, Na, P, Se, and Zn for human nutrition. About 50 mineral elements were found in milk (A.V. Skalny, 2019). Given the fact that the deficiency of micro- and macroelements is becoming global (R.L. Bailey, 2015; A.V. Skalny, 2019), interest in milk to solve this problem is increasing (M.L. Astolfi, 2020). Milk is the only source of nutrients for newborn calves. The composition and proportions of milk components are optimal for their gastrointestinal absorption, which ensures the successful survival of the species. The quantity and structural composition of macro- and microelements of milk are complementary to active anabolism and the development of the musculoskeletal system, in particular the skeleton of young animals. The purpose of our review is to summarize relevant data on micro- and macroelements in milk with regard to their biological role in cows. Comparative analysis shows a wide range of mineral content of milk. The content of Zn can vary from 3.09 to 6.48 mg/kg, Cu from 0.83 to 1.73 mg/kg (S.M. Zain, 2016; S. Kinal, 2007). This may be due to i) alimentary factors (A. Costa, 2021) which are closely related to the natural distribution of micro- and macroelements in the Earth's crust (S.M. Zain, 2016) and ii) synergistic and antagonistic interactions of elements in their assimilation (N. Bortey-Sam, 2015; A.V. Skalny, 2019). For example, an excess of potassium and calcium reduces the absorption of magnesium and phosphorus (A.V. Skalny, 2019), and a deficiency of vitamin D disrupts the absorption of Ca (W.P. Weiss, 2017). We also note the variability of the mineral content depending on the lactation period, season of the year (S.M. O'Kane, 2018; E.S. Kandinskaya, 2019), type of housing and feeding (V.S. Kozyr, 2015; I. Orzhales, 2018). Milk iodine and selenium concentration measured by inductively coupled plasma mass spectrometry were higher than indicated in previously created food composition databases (S.M. O'Kane, 2018). Thus, reliance on previously created databases should be partial when choosing milk as a source of mineral components to compensate for the identified deficiency in the human diet. Newly formed databases should be more accessible to the consumer. In addition, molecular tools should help to identify target genes and proteins as markers for assessing the level of macro- and microelements (W.P. Weiss, 2017; A. Costa, 2021), but so far little progress has been made in this research area. Precise elemental analysis of milk is necessary both to confirm its safety in terms of toxic macro- and microelements, and to solve the mineral deficiency problem.

Keywords: cow milk, mineral composition, microelements, macronutrients, fodder, blood.