

УДК 636.2.087.74:591-133

UDC 636.2.087.74:591-133

06.02.10 Частная зоотехния, технология производства продуктов животноводства

06.02.10 Agricultural Sciences

ПОТРЕБНОСТЬ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ В НЕЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТАХ

NEED OF DAIRY CATTLE IN ESSENTIAL AMINO ACIDS

Рядчиков Виктор Георгиевич
д.б.н., профессор, академик РАН
SPIN-код: 8267-8359, AuthorID: 81503
ryadchikovv@mail.ru

Ryadchikov Victor Georgievich
Dr.Sci.Biol., professor, Academician of RAN
SPIN-code: 8267-8359, AuthorID: 81503
ryadchikovv@mail.ru

Шляхова Оксана Германовна
к.б.н., доцент
SPIN-код: 2462-6013, AuthorID: 661964
ganch3030@mail.ru

Shlyakhova Oksana Germanovna
Cand.Sci.Biol., associate Professor
SPIN-code: 2462-6013, AuthorID: 661964
ganch3030@mail.ru

Тантави Абуелькассем
аспирант
kasem1988bakr@gmail.com

Tantawi Abuelgasim
Postgraduate
kasem1988bakr@gmail.com

Филева Нина Сергеевна
аспирант
ninaistas@mail.ru
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», 350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

Fileva Nina Sergeevna
Postgraduate
ninaistas@mail.ru
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin"

В статье представлена факториальная модель определения потребности лактирующих коров в незаменимых аминокислотах. В алгоритме модели использованы фрагменты из моделей NRC–2001 [39], CNCPS–200 [60], материалы исследований, опубликованных в мировой литературе. Вместо коэффициентов трансформации обменного лизина и метионина равных соответственно 0,85 и 1,00 по CNCPS, использованы коэффициенты 0,68 и 0,66 по Doepel et al., 2004 [49] и собственные данные авторов [69]. Полученные по этой модели нормы в обменном лизине (ОЛ) и метионине (ОМ) на продукцию молока и поддержание в процентах ОБ составили 7,28 и 2,4 %, что идентично нормам NRC–2001, равным соответственно 7,2 2,4 %, полученных dose–response методом на базе десятков экспериментов. Норма обменного гистидина равна 3,5 %, что близко соответствует показателю 2,4 и 2,7 % ОБ [74], полученных методом возрастающих добавок. Это свидетельствует о том, что представленная модель отличается достаточно высокой точностью и сравнима с моделями, разработанными dose–response методом. Однако определение потребности коров в аминокислотах по данной модели намного менее затратное, чем dose–response метод. Потребность в абсолютном

The article presents a factorial model for determining the needs of lactating cows in essential amino acids. The algorithm of the model uses fragments from the NRC – 2001 models [39], CNCPS – 200 [60], and research materials published in the world literature. Instead of the transformation coefficients of the metabolizable lysine and methionine for milk production equal to 0.85 and 1.00, respectively, by the CNCPS, the coefficients 0.68 and 0.66 were used according to Doepel et al., 2004 [49] and the authors' own data [69]. Norms obtained using this model in lysine and methionine in milk production and maintenance in percentage of metabolizable protein (MP) were 7.28 and 2.4%, which is identical to the NRC – 2001 standards, equal to 7.2 and 2.4 % respectively, obtained by dose – response method based on dozens of experiments. The norm of histidine was 3.5%, which closely corresponds to the indicator of 2.4 and 2.7 % MP [74], obtained by the incremental addition method. This indicates that the presented model is distinguished by sufficiently high accuracy and is comparable with the models developed by the dose – response method. However, the determination of the need of cows for amino acids in this model is much less expensive than the dose – response method. The need for the absolute amount of metabolizable essential amino acids (MEAA) for milk production (35

количестве обменных незаменимых аминокислот (ОНАК) на продукцию молока и поддержание (ж.м. коровы 600 кг) составила, г/д: лизин – 178, метионин – 59, аргинин – 119, гистидин – 60, изолейцин – 138, лейцин – 248, фенилаланин – 152, треонин – 134, триптофан – 38, валин – 174; потребность отдельно на производство молока (35 кг/д, общий выход белка 1103 г), г/д: 130; 42; 81; 42; 95; 175; 98; 74; 25; 112; потребность только на поддержание, г/д: 50; 16; 38; 20; 43; 73; 54; 60; 14; 64; потребность на 1 кг молока (31,5 г чистого белка) г/кг: 3,7; 1,2; 2,3; 1,2; 2,7; 5,0; 2,8; 2,1; 0,7; 3,2; потребность на поддержание, г/кг^{0,75}: 0,41; 0,14; 0,31; 0,16; 0,35; 0,60; 0,44; 0,50; 0,11; 0,53. Кроме того в статье представлены нормы аминокислот в расчете на 1 кг СВ рациона. Однако предлагаемые нормы нуждаются во всесторонней оценке в научных исследованиях и практике молочного животноводства. Необходимы исследования по совершенствованию моделей и прогнозированию ОНАК в рационах по следующим направлениям: изучение обмена аминокислот в организме коров и определение их затрат на поддержание пищеварительного тракта, тканей и органов, уточнение на этой основе коэффициентов использования аминокислот на продукцию белка молока и поддержание; разработка идеальных по аминокислотному профилю низкобелковых рационов, как за счет корректировки натуральных ингредиентов, так и за счет использования препаратов аминокислот, защищенных от распада в рубце

Ключевые слова: ФАКТОРИАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ, НЕЗАМЕНИМЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ, ЛИЗИН, МЕТИОНИН, ЛАКТИРУЮЩИЕ КОРОВЫ

Doi: 10.21515/1990-4665-148-033

kg/d, yield milk protein 1103 g/d) and maintenance cow - 600 kg, g/d: lysine - 178, methionine - 59, arginine - 119, histidine - 60, isoleucine - 138, leucine - 248, phenylalanine - 152, threonine - 134, tryptophan - 38, valine - 174; the need for only milk production, g/d: 130; 42; 81; 42; 95; 175; 98; 74; 25; 112; the need for only maintenance, g/d: 50; 16; 38; 20; 43; 73; 54; 60; 14; 64; the need for 1 kg of milk (31.5 g of protein) g/kg: 3.7; 1.2; 2.3; 1.2; 2.7; 5.0; 2.8; 2.1; 0.7; 3.2; need to maintain, g / kg 0.75: 0.41; 0.14; 0.31; 0.16; 0.35; 0.60; 0.44; 0.50; 0.11; 0.53. In addition, the article presents the norms of amino acids per 1 kg of dry matter (DM) ration. However, the proposed standards need a comprehensive assessment in the research and practice of dairy farming. Research is needed to improve the models and predict the MEAA in the rations in the following areas: studying the metabolism of amino acids in the body of cows and determining their costs for maintaining the digestive tract, tissues and organs, refining, on this basis, the utilization of amino acids for milk protein production and maintenance; the development of ideal amino-acid profile of low-protein diets, both due to the adjustment of natural ingredients, and through the use of amino acid preparations that are protected from disintegration in the rumen

Keywords: ESSENTIAL AMINO ACIDS, LYSINE, METHIONINE, LACTATING COWS

Введение. При производстве молока только 25-30% белка рациона трансформируются у коров в белок молока [1,2,3], остальная часть 70-75% в виде азота непереваренных остатков корма, аммиака, мочевины теряется с мочой и калом, загрязняя окружающую среду [4,5]. Белковые добавки наиболее затратная по стоимости часть рациона, поэтому вопрос оптимизации белкового питания с точки зрения снижения затрат на производство молока и улучшения экологической ситуации, остается актуальным в мировой науке и практике [6,7].

Белковое питание жвачных, как и других видов животных, следует рассматривать как аминокислотное питание, поскольку не белок как

таковой, а аминокислоты (АК) являются основными участниками образования белков молока, тканей, органов и биологически активных веществ (БАВ) - гормонов, ферментов, нейропептидов и др., играющих важную роль в обеспечении жизненных функций организма. Балансирование состава рационов коров не по количеству белка, а по количеству незаменимых аминокислот создаст реальную перспективу организации белкового питания на более совершенной научной основе, направленной на снижение затрат белка на производство молока [8,9,10,11,12]. Поэтому разработка норм потребности жвачных, в том числе коров, в незаменимых аминокислотах является важнейшей задачей.

Нормы незаменимых аминокислот достаточно хорошо разработаны для свиней и птиц, они прочно вошли в практику, что способствовало существенному повышению производства продукции, снижению затрат белка за счет правильного балансирования рационов кормовыми компонентами и применения препаратов синтетических аминокислот, и, как следствие, росту экономической эффективности этих отраслей [13].

У жвачных в отличие от свиней и птиц определить обеспеченность незаменимыми аминокислотами (НАК) по их содержанию в корме невозможно, так как пищеварение у них происходит в сложном четырехкамерном желудке, которое существенно отличается от пищеварения у животных с простым однокамерным желудком. У жвачных интенсивная переработка корма происходит в рубце под воздействием микроорганизмов. В результате микробной ферментации 60% белка и более распадается до аминокислот и аммиака, которые используются на синтез микробного белка, существенно отличающегося по аминокислотному составу от такового съеденного корма [14,15]. Небольшая часть кормового белка 30-40% избегает микробной деградации и поступает в сычуг и тонкий кишечник, где переваривается по такому же принципу, как у моногастричных животных. Таким образом, если у моногастричных аминокислотный состав пищевой массы, поступающей в тонкий кишечник, отражает состав съеденного корма, то у жвачных

пострубцовый химус существенно отличается от состава корма. Его устанавливают, анализируя пробы химуса на выходе из рубца [16] или сычуга на уровне начального участка двенадцатиперстной кишки (дуоденума) [17,18].

После переваривания сырого белка (СБ) корма в многокамерном желудке в тонкий кишечник поступают следующие белковые фракции: а) микробный сырой белок (МСБ); б) нераспавшийся в рубце белок корма (НРБ); в) эндогенный белок (ЭБ) пищеварительной системы. Эндогенный белок относится к той части, которая системно расходуется на основной обмен (поддержание) желудочно-кишечного тракта. При определении реального снабжения животных аминокислотами рациона эндогенную часть вычитают из общего потока белка, поступающего в дуоденум [17]. Фракции НРБ и МСБ перевариваются и всасываются в тонком кишечнике в виде аминокислот и используется на синтез белка продукции (молоко, плод, прирост живой массы) и основной обмен (поддержание), относятся к истинно переваримому белку, который называется обменным (метаболическим) белком (ОБ), а абсорбированные (всосавшиеся) аминокислоты – обменными аминокислотами (ОАК) (см.схему)



Рисунок 1 – Использование белка в пищеварительном тракте коров

Обменный белок является основным источником истинно абсорбированных аминокислот. Определение обменного белка и обменных аминокислот, важная, но весьма непростая задача. Для этого нужно знать точное количество поступающих белковых фракций (МСБ, НРБ) в тонкий кишечник в составе дуоденального потока химуса, их переваримость, поступление обменных незаменимых аминокислот (ОНАК) из кишечника в кровяное русло и коэффициенты их использования на биосинтез белка молока и поддержание. Эти определения проводят на хирургически оперированных коровах с созданием фистул и установкой в них канюль на рубце [19, 20] и тонком кишечнике (на двенадцатиперстной (duodenum) и подвздошной (ileum) кишках), а также катетеризации воротной и других вен [21], артерий и вен молочной железы [22] и проведение всех выше перечисленных операций на одном животном [23].

Распадаемость сырого белка в рубце определяют методом *in situ* (в себе самом), закладывая через канюлю капроновые мешочки (размер пор 40-50 мкр) с пробами кормов на инкубацию разной продолжительности [24] или методом *in vitro* на приборе «искусственный рубец» [25]. Переваримость нераспавшегося в рубце белка определяют, пропуская пробы через тонкий кишечник в маленьких мешочках, закладываемых через канюлю на двенадцатиперстной кишке

Непосредственными предшественниками биосинтеза белка являются свободные аминокислоты, поступающие из артерий в секреторные клетки молочной железы. После переваривания и всасывания через кишечную стенку аминокислоты попадают в портальную кровеносную систему, охватывающую весь желудочно-кишечный тракт, далее по воротной вене в печень, затем к тканям и органам в т.ч. к молочной железе. Как показывают исследования, количество и профиль аминокислот, адсорбированных в кишечнике, заметно отличается от таковых в потоке аминокислот, освобожденных в воротной вене [26]. Значительная часть

аминокислот (более 30 %) при всасывании [27] метаболизируется в процессе белкового и энергетического обмена тканями желудочно-кишечного тракта [28, 29]. По данным НИИФБиП в тонком кишечнике коров метаболизируется 9,2 % всосавшихся лизина, 3,6 % метионина и 8,4 % гистидина [30]. По-видимому, реальное количество аминокислот в снабжении животных можно измерить в воротной вене, однако технология этого процесса весьма сложная, кроме того, количество и профиль аминокислот зависит не только от их поступления из кишечника, но и от наличия эндогенного постоянно существующего пула свободных аминокислот, обусловленного обновлением белков организма животных в процессе обмена веществ. Поэтому использование потока аминокислот воротной вены для расчетов истинного их количества нуждается в дальнейшем совершенствовании методики.

Точное прогнозирование количества ОНАК в рационах имеет большое практическое значение как для определения потребности в аминокислотах, так и организации сбалансированного аминокислотного питания коров. В США и западных странах, в Российском НИИ физиологии, биохимии и питания сельскохозяйственных животных (ВНИИФиБ) [31], в Кубанском Государственном аграрном университете [32] разработаны модели более или менее удовлетворительного прогнозирования количеств белковых фракций и незаменимых аминокислот в дуоденальном потоке химуса и последующего математического определения количества обменного белка и обменных незаменимых аминокислот в зависимости от состава рациона. Наиболее используемые в практике молочного животноводства следующие модели: в США: NRC 2001 [33], Корнельского университета CPNM version 3.0.1 [34], AMTS version 2.0.15 [35]; Amino Cow AC version 3.5.2 (Германия) [36]; Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) 2018, Франция

[37]; Nor For 2011 (Скандинавские страны) [38]; (DVE/OEB system 2010 (Нидерланды) [39]; CNCPS version 6.5.5 (Корнельский университет) [40].

Сравнение прогноза по моделям NRC, CPNM, CPM и AC с фактическими экспериментальными данным, полученными на коровах (41 исследование, включая 154 рациона) по прогнозированию состава дуоденального химуса, все 4 модели предсказали выход сырого и микробного сырого белка в пределах 5 %, за исключением CPM, которая завысила их на 27 %, только NRC предсказала средний поток НРБ в пределах 5 %, AC и AMTC в пределах 8-9 %, CPM завышала на 24 % [40]. Все модели, за исключением NRC, не могли предсказать количество НАК в дуоденальном потоке в пределах 10 %. При этом отмечена тенденция боле точного определения количества аминокислот на рационах с кукурузным силосом и зерном кукурузы.

Сравнительная оценка европейских и двух американских моделей NRC-2001 и CNCPS по прогнозированию надоя молока (кг/день), выхода молочного белка (г/день), количества обменного белка (г/день) и потока переваримого белка (г/день) в сравнении с фактическими данными экспериментов на коровах выявило значимый разброс показателей между моделями и их отличие от фактических данных [42]. Авторы исследований подчеркивают необходимость дальнейшего совершенствования моделей.

В рационах высокопродуктивных коров наиболее лимитирующими являются лизин, метионин [43] и, кроме того, гистидин на рационах с травяным силосом, зерном ячменя и овса [44] и в рационах с 10 % белка перьевой муки [45]. Есть предположение, что изолейцин и валин могут быть лимитирующими [46].

Используя экспериментальный материал, опубликованный в научной литературе, по действию пострубцовой инфузии лактирующим коровам разных доз препаратов лизина и метионина на увеличение молочной продуктивности, содержания и выхода белка молока (dose-response method

– ответная реакция на дозу АК) по модели NRC-2001 рассчитана оптимальная потребность лизина и метионина, выраженные в % от обменного белка (ОБ): потребность на максимальную продукцию белка молока и поддержание, равное соответственно 7,2 и 2,4 % [33].

ВНИИФиБ определил потребность на получение 1 кг молока с содержанием 3,4 % белка обменного лизина 3,4 г., метионина 0,93 г., в пересчете в % ОБ потребность ОЛ = 6,58 и ОМ = 1,83 % [30].

В дальнейшем сделан перерасчет потребности в обменных лизине и метионине по NRC-2001 и, кроме того, потребности рассчитаны по другим моделям (таблица 1).

Таблица 1 – Потребность в лизине и метионине в % ОБ по моделям NRC, CPM и AMTS. [47].

Действие на белок молока	NRC			CPM			AMTS		
	Л	М	Л/М	Л	М	Л/М	Л	М	Л/М
Содержание белка, %	6,80	2,29	2,92	7,46	2,57	2,90	6,68	2,40	2,78
Выход белка, г/сут	7,10	2,52	2,82	7,51	2,50	3,00	6,74	2,31	2,92

На основе мета-анализа большого количества опубликованных в научной литературе данных исследований по балансированию аминокислотного состава ингредиентами рационов установлена потребность в абсолютном количестве лизина 157 г/день, 6,36 % ОБ [48].

Потребности в лизине и метионине, рассчитанные на базе большого количества научных публикаций, по так называемым сегментно-линейной и логистической (logistic) моделям оказались на уровне 7,2 и 2,5 % ОБ, т.е. близкими к первоначальным данным по NRC-2001 [49]. В то же время, нельзя не отметить, что потребность в лизине, рассчитанная по разным моделям, различается в пределах 24 %, метионина – 12 %. Оптимальным соотношением Л:М считается 3:1-2,8:1.

Выражение потребности аминокислот в % от обменного белка отражает его качественный состав, который оставляет не ясным

количество незаменимых аминокислот в рационе. Привязка потребности НАК к ОБ не позволяет эффективно манипулировать разным количеством белка в рационах коров. Например, при норме лизина 7,2% и метионина 2,5% в ОБ, количество которого в СБ составляет 65%, при 17% СБ в рационе (170 г/кг СБ), количество ОБ= $170 \times 0,65 = 111 \text{ г/кг СБ}$, $L = 7,2 \times 1,11 = 7,99 \text{ г}$, $M = 2,5 \times 1,11 = 2,78 \text{ г}$ в 1 кг СБ. При снижении в рационе содержания СБ до 15% (150 г/кг СБ), количество ОБ= $(150 \times 65) / 100 = 97,5 \text{ г}$, количество $L = 7,2 \times 0,98 = 7,08 \text{ г}$, метионина = $2,5 \times 0,98 = 2,45 \text{ г}$, т.е. разница в снабжении коров лизином и метионином при ориентации на одни и те же нормы потребности, привязанные к ОБ, будут существенно ниже, поэтому надои будут снижаться, что не устраивает производителей молока. И наоборот, при более высоком уровне белка количество НАК по этим нормам окажется излишним, что также экономически невыгодно. Следовательно, при желании снизить затраты белка без ущерба для продуктивности, (а это вполне достижимо при использовании синтетических аминокислот) [50, 51, 52, 53] такой подход нормирования аминокислот не обеспечит возможность оптимизации аминокислотного питания коров. Поэтому, нужно установить нормы потребности, выраженные количеством аминокислот на определенную продукцию молока.

Разработанные с помощью моделей непрямым dose-response методом нормы аминокислот вряд ли будут достаточно надежными в практических условиях молочного животноводства [54]. Использование другого подхода, а именно, факториального метода и математических моделей, позволяет определять потребность в аминокислотах при широком разнообразии условий кормления, индивидуальных особенностей животных и условий окружающей среды.

Факториальный метод включает определение потребности на: а) основной обмен (поддержание); б) биосинтез белков продукции (молоко, прирост живой массы, рост и развитие плода в утробе матери).

Расчет потребности в обменных белке и аминокислотах факториальным методом требует, как минимум следующих знаний:

- потребность в чистом белке на поддержание, рост, беременность и лактацию;
- аминокислотный состав продуктов (молоко, тело, плод др.);
- эффективность использования (конверсии) обменных белка и аминокислот на поддержание и образование белков продукции - молока, прироста массы тела, плода).

Таблица 2. Аминокислотный состав белков

Аминокислоты	Мышцы и внутренние органы КРС** [55]	Рубцовый изолят* [56]	Кишечный изолят* [57]	Кожа, волосы, конечности, голова* [58]	Молоко** [55]	Микробный белок** [цит. по 59]
Аргинин	5,8	6,2	4,0	7,6	3,6	5,5
Гистидин	3,9	3,4	2,0	1,4	2,8	2,2
Изолейцин	4,9	4,7	4,0	2,1	5,6	6,3
Лейцин	8,3	9,0	6,6	5,5	9,7	7,7
Лизин	8,1	7,7	5,4	4,7	7,8	8,1
Метионин	2,4	1,6	1,9	1,0	2,7	2,5
Фенилаланин	4,5	5,0	7,1	3,0	4,7	5,1
Треонин	4,8	6,0	7,9	3,3	4,0	5,4
Триптофан	1,3	1,8	1,7	0,6	1,5	1,1
Валин	6,1	6,2	6,0	3,1	6,2	6,6
Аланин	5,6	6,0	5,6			6,2
Аспар. кислота	8,1	3,0	9,8			11,5
Цистин	1,6	2,6	2,3			1,1
Глют. кислота	12,6	15,0	11,4			13,4
Глицин	5,1	5,6	8,1			5,7
Пролин	5,3	6,0	5,6			4,3
Серин	3,8	5,6	6,3			3,9
Тирозин	3,4	4,7	3,9			4,6

*г/100гΣ аминокислот; **г/100г белка

Чтобы определить потребность в обменных аминокислотах важно знать эффективность их использования в чистые аминокислоты белка

продукции и поддержания. Модель NRC-2001 предлагает стабильные (фиксированные) коэффициенты конверсии ОБ на поддержание 0,67, беременность 0,33 и продукцию молока 0,67. «Корнельская система чистых углеводов и белков» (Cornell Net Carbohydrate and Protein System – CNCPS) затраты обменных аминокислот на поддержание, беременность и биосинтез белка молока (лактацию) также определяет по фиксированным коэффициентам конверсии (таблица 3).

Таблица 3 – Коэффициенты использования обменных аминокислот на физиологические функции (CNCPS – 2000) [60]

Аминокислоты	Поддержание	Беременность	Лактация
Метионин	0.85	0.35	1.00
Лизин	0.85	0.53	0.82
Гистидин	0.85	0.32	0.96
Фенилаланин	0.85	0.48	0.98
Триптофан	0.85	0.85	0.85
Треонин	0.85	0.57	0.78
Лейцин	0.66	0.42	0.72
Изолейцин	0.66	0.32	0.66
Валин	0.66	0.32	0.62
Аргинин	0.85	0.38	0.35

В дальнейшем были внесены допустимые поправки на коэффициенты лактации CNCPS, составившие, например, для метионина $\pm 10\%$, лизина $\pm 16\%$ [61]. Однако фиксированные коэффициенты при большом разнообразии рационов по содержанию белка вряд ли могут быть хорошо обоснованными. Коэффициент трансформации обменного метионина равный 1 или 100%-му использованию, вызывает сомнение. Он установлен по разнице артериовенозной концентрации метионина молочной железы. Мог ли весь поступивший метионин быть использован только на биосинтез молока и ничего не оставляя на основной обмен (поддержание) ткани вымени. В наших исследованиях на Голштинских коровах коэффициент конверсии обменного метионина в чистый метионин белка молока составил 0,82 [62, 63]. В исследованиях на рационах с разным соотношением объёмистых и концентрированных кормов (по СВ)

60:40 и 40:60 коэффициенты конверсии метионина в белок молока составили соответственно 0,74 и 0,60 [64].

У жвачных, в т. ч. коров, как и у моногастричных животных, эффективность использования белка существенно изменяется в зависимости от его содержания в рационах, она снижается с повышением и повышается при снижении уровня белка в рационах [65] и, кроме того, в зависимости от сбалансированности белка лимитирующими НАК [66, 43, 44] и обеспеченности обменной энергией [49, 67]. В исследованиях по биосинтезу молока в ответ на пострубцовую инфузию казеина в возрастающих количествах 200, 400 и 600 г. эффективность использования этих белков в белок молока снижалась в последовательности 41,5 > 22,6 > 15,4% [цит. по 1], что заметно контрастирует с эффективностью конверсии по моделям NRC-2001 и CNCPS(2000).

Поэтому использование фиксированных коэффициентов на все случаи питания молочного скота не оправдано. Это было убедительно доказано исследованиями, показавшими существенное изменение коэффициентов трансформации обменных аминокислот в зависимости от обеспеченности рационов коров незаменимыми аминокислотами. (таблица 4). Этот подход представляется наиболее правильным при разработке норм аминокислот.

Таблица 4. Коэффициенты использования НАК на производство белка молока в зависимости от общего снабжения АК [49].

Аминокислоты	Уровень снабжения аминокислотами в % оптимального обеспечения			
	50%	75%	100%	125%
Аргинин	0.71	0.57	0.49	0.44
Гистидин	1.09	0.88	0.76	0.68
Изолейцин	0.86	0.72	0.65	0.58
Лейцин	0.83	0.70	0.61	0.55
Лизин	0.90	0.76	0.68	0.60
Метионин	0.89	0.75	0.66	0.59
Фенилаланин	0.75	0.61	0.53	0.48
Треонин	0.82	0.67	0.60	0.55
Валин	0.86	0.71	0.62	0.56

Учитывая весьма существенные различия имеющихся норм потребности аминокислот, неопределенность их абсолютного количественного выражения на ожидаемую и планируемую продуктивность коров, мы поставили цель, на примере наиболее лимитирующих аминокислот лизина и метионина, разработать модель определения потребности высокопродуктивных коров в обменных белке и незаменимых аминокислот факториальным методом.

А. Потребность на продукцию молока (пм)

1. Определение содержания чистых белка, лизина и метионина в суточном надое молока:

$$\text{ЧБ(г/д)} = \text{Б} \times \text{М}, \text{ где} \quad (\text{уравнение 1})$$

ЧБ – количество чистого (нетто) белка в суточном надое молока, г/д;

Б – содержание чистого белка в молоке, г/кг;

М – суточный надой молока, кг.

Содержание чистого (нетто) лизина и метионина в суточном надое молока:

$$\text{ЧЛ (г/д)} = (\text{Л} \times \text{ЧБ}) / 100, \text{ где} \quad (\text{уравнение 2})$$

ЧЛ – количество чистого лизина в белке суточного надоя молока, г/день;

Л – содержание лизина в белке молока, равное 7,9 г/100 г ЧБ (таблица 2) [55].

$$\text{ЧМ(г/д)} = (\text{М} \times \text{ЧБ}) / 100, \text{ где} \quad (\text{уравнение 3})$$

ЧМ – количество чистого метионина в белке суточного надоя молока, г/д;

М – содержание метионина в белке молока, равное 2,6 г/100 г ЧБ (таблица 2) [55].

2. Потребность в обменных белке, лизине и метионине на биосинтез ЧБ.

Потребность в обменном белке (ОБ) на биосинтез ЧБ молока, рассчитывают, используя коэффициент трансформации по NRC (2001), равный 0,67. В наших исследованиях конверсия ОБ в ЧБ молока также составило 0,67 [62]. В других работах отмечали, что коэффициент 0,67 завышен, фактически конверсия находится на уровне 0,54 [67], 0,44 [1], 0,42 [49], 0,40 [68]. В действительности, в молочном животноводстве эффективность использования сырого белка рационов не более 25-30 %. Если принять содержание ОБ в СБ равным 65 %, то по коэффициенту 0,67 использование ОБ в ЧБ молока составит 43,6% ($65 \times 0,67$), т.е. коэффициент конверсии 0,44, что существенно ниже коэффициента NRC. При создании данной модели мы сделали попытку использовать коэффициент трансформации ОБ в ЧБ, равный 0,4, однако получили нереально высокие затраты обменного и сырого белка. Поэтому сочли целесообразным на сегодняшний день использовать в расчетах коэффициент 0,67. Значительная затрата ОБ на ЧБ молока, по-видимому, обусловлены недоучетом затрат ОБ на основной обмен тканей и органов животных, в этом направлении нужны новые исследования.

$$\text{ОБ}_{\text{лм}} (\text{г/д}) = \text{ЧБ}/0,67, \text{ где} \quad (\text{уравнение 4})$$

ОБ_{лм} – потребность в обменном белке на производство молока, г/д.

Потребность в обменном лизине (ОЛ_{лм}) на биосинтез белка молока с использованием коэффициента конверсии 0,68 (таблица 4) [49]:

$$\text{ОЛ}_{\text{лм}} (\text{г/д}) = \text{ЧЛ}/0,68, \text{ где} \quad (\text{уравнение 5})$$

ОЛ_{лм} – потребность в обменном лизине на отложение ЧЛ в ЧБ на производство молока, г/д.

Потребность в обменном метионине на биосинтез белка молока рассчитывают с использованием коэффициента 0,66 (таблица 4) [49]:

$$\text{ОМ}_{\text{лм}} (\text{г/д}) = \text{ЧМ}/0,66, \text{ где} \quad (\text{уравнение 6})$$

ОМ_{лм} – потребность в обменном метионине на отложение ЧМ в ЧБ на производство молока, г/д.

Б. Потребность на поддержание

1. Потребность в обменных белке и аминокислотах на поддержание рассчитывают по прогнозируемым их затратам на основной обмен, определяемый эндогенными потерями азота с мочой, белоксодержащих компонентов с поверхности тела (перхоть, волосы, кератиновые отслоения), эндогенных азотсодержащих веществ переднего отдела (ротовая полость, пищевод, преджелудки, сычуг) и обменного фекального азота среднего и нижнего отделов (тонкий и толстый кишечник) пищеварительного тракта.

Для определения эндогенных затрат необходимо знать живую массу коровы (ЖМ), физиологическое состояние (беременность, прирост ЖМ, фазу лактации), продуктивность, потребление сухого вещества (ПСВ) и потребление органического вещества (ПОВ), количество переваримых питательных веществ (ППВ).

Прогнозируемое ПСВ в зависимости от ЖМ, надоя и жирности молока, периода лактации после отела определяют по *уравнению Roseler et al.1997 [69]*:

ПСВ (кг/д) = $(0,372 \times 4\%M + 0,0968 \times ЖМ^{0,75}) \times (1 - e^{(-0,192 \times (НЛ + 3,67)})}$, где
(уравнение 7)

4 %M – суточный надой молока жирностью 4%, кг;

$ЖМ^{0,75}$ – метаболическая (обменная) живая масса животных, кг; e – основание натурального логарифма, равное 2,718; НЛ – неделя лактации после отела.

2. Потребность в ОБ на поддержание определяют по уравнениям, используя коэффициент конверсии ОБ в ЧБ равный 0,67 NRC-2001.

2.1 Определение потребности в ОБ по эндогенному белку мочи (ЭБМ) и эндогенному поверхностному белку (ЭПБ).

Эндогенный азот представлен в моче продуктами обмена (аммиак, мочеви́на, креатин, билирубин и др., образованных в процессе основного обмена белка тканей и органов), которые обозначаются как чистый эндогенный белок мочи (ЧЭБМ) и определяют по уравнению E.Swanson (1977) [70]:

$$\text{ЧЭБМ (г/д)} = 2,75 \times \text{ЖМ}^{0,5}, \text{ где} \quad (\text{уравнение 8}).$$

$$2,75 \text{ г N на 1 кг ЖМ}^{0,5}$$

Потребность в ОБ на поддержание ЧЭБМ:

$$\text{ОБ}_{\text{нд чэбм}} \text{ (г/д)} = \text{ЧЭБМ}/0,67 \quad (\text{уравнение 9})$$

Потребность в ОЛ и ОМ на поддержание ЧЭБМ:

$$\text{ОЛ}_{\text{нд чэбм}} \text{ (г/д)} = [(\text{Л} \times \text{ЧЭБМ})/100]/0,85; \quad (\text{уравнение 10})$$

$$\text{ОМ}_{\text{нд чэбм}} \text{ (г/д)} = [(\text{М} \times \text{ЧЭБМ})/100]/0,85, \text{ где} \quad (\text{уравнение 11})$$

Л и М – соответственно содержание лизина и метионина в ЧЭБМ (в белке мускульной ткани и внутренних органов крупного рогатого скота), равное 8,0 г лизина и 2,4 г метионина в 100 г белка (таблица 2) [55].

0, 85 – коэффициент использования ОЛ и ОМ на поддержание по CNCPS – 2000 [60].

Чистый эндогенный поверхностный белок ЧЭПБ (кожа, перхоть, волосы, потовые и другие секреты кожи, конечности, голова) определяют по уравнению E.Swanson (1982) [71]:

$$\text{ЧЭПБ (г/д)} = 0,2 \times \text{ЖМ}^{0,60} \quad (\text{уравнение 12}).$$

Потребность в ОБ на образование ЧЭПБ:

$$\text{ОБ}_{\text{нд чэпб}} \text{ (г/д)} = \text{ЧЭПБ}/0,67 \quad (\text{уравнение 13})$$

Потребность в ОЛ и ОМ на поддержание ЧЭПБ:

$$\text{ОЛ}_{\text{нд чэпб}} \text{ (г/д)} = [(\text{Л} \times \text{ЧЭПБ})/100]/0,85; \quad (\text{уравнение 14})$$

$$\text{ОМ}_{\text{нд чэпб}} \text{ (г/д)} = [(\text{М} \times \text{ЧЭПБ})/100]/0,85, \text{ где} \quad (\text{уравнение 15})$$

Л и М – соответственно содержание лизина и метионина в ЧЭПБ, равное 4,7 г лизина и 1,1 г метионина в 100 г белка (Таблица 2) [58].

3. Определение эндогенного белка пищеварительного тракта.

Эндогенный белок переднего отдела пищеварительного тракта включает: а) мукоидный белок слюны; б) остатки эпителиальных клеток дыхательных путей; в) остатки клеток слущивающихся эпителиальных тканей ротовой полости, пищевода, рубца, сетки; г) остатки слущивающихся клеток эпителия книжки и сычуга; д) энзимы и мукоидный белок сычуга. Значительное количество первых 3 источников эндогенного белка деградируется рубцовыми микроорганизмами и не доходят до тонкого кишечника. На основе ряда исследований [72, 73] субкомитет по питанию молочного скота NRC (2001) предложил считать количество эндогенного азота 1,9 г (11,9 эндогенного сырого белка) переднего отдела (ЭСБПО) на 1 кг потребленного сухого вещества:

$$\text{ЭСБПО} = 11,9 \times \text{ПСВ}), \text{ где} \quad (\text{уравнение 16})$$

ПСВ – потребление СВ, кг/д.

Исследованиями также установлено, что только 50% сырого эндогенного белка переднего отдела поступает в дуоденум, переваримость которого составляет 80 % [33]. Поэтому выход чистого эндогенного белка (ЧЭБПО) из СЭБПО рассчитывают по коэффициенту 0,4 [(50×80)/100=40].

При такой конверсии количество ЧЭБПО составит:

$$\text{ЧЭБПО (г/д)} = \text{СЭБПО} \times 0,4 \quad (\text{уравнение 17}).$$

Потребность в обменном белке на поддержание ЧЭБПО.

(Обнд чэбно) определяют по уравнению:

$$\text{Обнд чэбно (г/д)} = \text{ЧЭБПО} / 0,67 \quad (\text{уравнение 18}).$$

Потребность ОЛ и ОМ на поддержание ЧЭБПО:

$$\text{ОЛнд чэбно (г/д)} = [(\text{Л} \times \text{ЧЭБПО}) / 100] / 0,85]; \quad (\text{уравнение 19}).$$

$$\text{ОМнд чэбно (г/д)} = [(\text{М} \times \text{ЧЭБПО}) / 100] / 0,85], \text{ где} \quad (\text{уравнение 20}).$$

Л и М – содержание лизина и метионина в ЧЭБПО (рубцовый изолят) равное соответственно 7,7 и 1,6 г/100 г (таблица 2) [56].

3.1 Потребность на поддержание в обменном фекальном белке (ОФБ) среднего и нижнего отделов пищеварительного тракта жвачных,

рассчитывают с учетом того, что часть ОФБ эндогенного происхождения включает бактерии, бактериальные остатки, синтезированные в слепой и ободочной кишках, кератинизированные клетки слизистой кишечника и другие компоненты [33].

Измерение обменного фекального азота у жвачных проводили на полусинтетических низкобелковых рационах, при этом установлено, что его количество составляет 4,7 г (29,4 СБ) в расчете на кг потребленного СВ. Было принято решение (NRC-2001) округлить количество фекального белка до 30 г/кг СВ. Поэтому количество ОФБ определяют по уравнению:

$$\text{ОФБ (г/д)} = 30 \times \text{ПСВ (кг)} \quad (\text{уравнение 21}).$$

По литературным данным [33] около 30 % обменного фекального азота представлено растворимой фракцией и 70 % бактериальными остатками, эндогенными отслоениями. Количественные данные о вкладе в этот азот микробного СБ (МСБ), синтезированного в рубце и непереваренного в кишечнике, в обменный фекальный белок ограничены. Несмотря на неясность о количестве непереваренного МСБ, который есть в кале животных, было признано, что 50 % непереваренного в кишечнике МСБ находятся в кале, остальная часть 50% переваривается в среднем и нижнем отделах кишечника.

Для расчета *ОБофб* необходимо определить количество микробного обменного белка. Предложены 2 способа определения: а) по сумме потребленных животным переваримых питательных веществ (СППВ) и б) по количеству в рационе распадаемого в рубце белка (РРБ).

В 1 кг СВ в типичных для коров рационах в среднем содержится 65 г сырой золы (6,5%). Следовательно, количество органического вещества (ОВ) в 1 кг СВ составляет:

$$\text{ОВ, кг/кг СВ} = 1,0 \times 0,935 = 0,935; \text{ПОВ} = \text{ОВ кг/кг СВ} \times \text{ПСВ кг}.$$

Переваримость сухого ОБ у коров в среднем равна 74%, поэтому количество ППВ в 1 кг СВ: ППВ, кг/кг СВ=0,935×0,74=0,692, а СППВ, кг/д=ППВ, кг/кг СВ×ПСВ кг/д.

При продуктивном кормлении коров, которое в 2-4 раза превышает потребность в энергии на поддержание, переваримость органического вещества снижается на 8%. Поэтому с 8% поправкой количество СППВ составит:

$$\text{СППВ, кг} = \text{ППВ, кг/кг СВ} \times 0,92 \times \text{ПСВ(кг)} \quad (\text{уравнение 22}).$$

Установлено, что в рубце мясного и молочного скота образуется 130 г микробного сырого белка (МСБ) в расчете на 1 кг ППВ [19]. Около 20% азота МСБ приходится на нуклеиновые кислоты, количество истинного микробного белка в МСБ=80%, переваримость которого в тонком кишечнике находится на уровне 80%. Следовательно, конверсия МСБ в обменный микробный белок происходит на уровне коэффициента 0,64 [(80×80/100=64)], уравнение для определения ОБмб:

$$\text{ОБмб г/д} = 130 \times \text{СППВкг} \times 0,64, \text{ где} \quad (\text{уравнение 23})$$

СППВ – сумма переваримых питательных веществ с 8% поправкой, кг/д.

Уравнение определения потребности в обменном белке на образование обменного фекального белка на поддержание:

$$\text{ОБофб (г/д)} = [\text{ПСВ(кг)} \times 30 - 0,5((\text{ОБмб}/0,80) - \text{ОБмб})], \text{ где} \quad (\text{уравнение 24})$$

ПСВ – потребление сухого вещества, кг/д;

ОБмб – микробный обменный белок, г/д.

Потребность ОЛ и ОМ на поддержание ОФБ:

$$\text{ОЛнд офб (г/д)} = [(\text{Л} \times \text{ОФБ}) / 100] / 0,85; \quad (\text{уравнение 25})$$

$$\text{ОМнд офб (г/д)} = [(\text{М} \times \text{ОФБ}) / 100] / 0,85, \text{ где} \quad (\text{уравнение 26})$$

Л и М - содержание соответственно лизина и метионина в ОФБ (кишечный изолят, равное 5,4 и 1,9, г/100 г белка) (таблица 2) [57].

Суммарная потребность ОБ на производство молока и поддержание:

$$\begin{aligned} \text{ОБ}_{пм+пд} \text{ (г/д)} &= \text{ОБ}_{пм} + \text{ОБ}_{пд} \text{ чэбм} + \text{ОБ}_{пд} \text{ чэпб} + \text{ОБ}_{пд} \text{ чэбно} + \\ &\text{ОБ}_{пд} \text{ офб}; \end{aligned} \quad (\text{уравнение 27})$$

Суммарная потребность ОЛ и ОМ на производство молока и поддержание:

$$\begin{aligned} \text{ОЛ}_{пм+пд} \text{ (г/д)} &= \text{ОЛ}_{пм} + \text{ОЛ}_{пд} \text{ чэбм} + \text{ОЛ}_{пд} \text{ чэпб} + \text{ОЛ}_{пд} \text{ чэбно} + \\ &\text{ОЛ}_{пд} \text{ офб}; \end{aligned} \quad (\text{уравнение 28})$$

$$\begin{aligned} \text{ОМ}_{пм+пд} \text{ (г/д)} &= \text{ОМ}_{пм} + \text{ОМ}_{пд} \text{ чэбм} + \text{ОЛ}_{пд} \text{ чэпб} + \text{ОМ}_{пд} \\ &\text{чэбно} + \text{ОБ}_{офб} \end{aligned} \quad (\text{уравнение 29})$$

Потребность в ОБ, ОЛ, ОМ на поддержание:

$$\text{ОБ}_{пд} \text{ (г/д)} = \text{ОБ}_{пм+пд} - \text{ОБ}_{пм}; \quad (\text{уравнение 30})$$

$$\text{ОЛ}_{пд} \text{ (г/д)} = \text{ОЛ}_{пм+пд} - \text{ОЛ}_{пм}; \quad (\text{уравнение 31})$$

$$\text{ОМ}_{пд} \text{ (г/д)} = \text{ОМ}_{пм+пд} - \text{ОМ}_{пм}; \quad (\text{уравнение 32})$$

В. Расчет потребности ОБ, ОЛ и ОМ в цифрах

Используя вышеприведенные уравнения, мы произвели расчеты потребности в ОБ, ОЛ и ОМ и остальных ОНАК коровы живой массой 600 кг, на 12 неделе после отела, суточный надой молока 35 кг, содержание сырого белка в молоке 3,3%, чистого белка (без мочевины) 3,15%, жирность молока 3,6%. Расчет потребности СВ по уравнению Roseler et al.1997:

$$\text{ПСВ (кг/д)} = (0,372 \times 4\% \text{М} + 0,0968 \times \text{ЖМ}^{0,75}) \times (1 - e^{(-0,192 \times (\text{НЛ} + 3,67)})}$$

1. Содержание чистых (нетто) белка, лизина и метионина в чистом белке суточного надоя молока:

$$\text{ЧБ (г/д)} = 31,5 \times 35 = 1102,5 \approx 1103 \text{ г, где} \quad (\text{уравнение 1})$$

35 – суточный надой молока, кг;

31,5 – содержание чистого белка в 1 кг молока

$$\text{ЧЛ (г/д)} = (7,9 \times 1102,5) / 100 = 87,1 \text{ г, где} \quad (\text{уравнение 2})$$

7,9 – содержание лизина в белке молока, г/100 г [55];

$$\text{ЧМ} = (2,6 \times 1102,5) / 100 = 28,7 \text{ г, где} \quad (\text{уравнение 3})$$

2,6 - содержание метионина в белке молока, г/100 г [55].

2. Потребность в обменных белке, лизине и метионине на производство ЧБ, ЧЛ и ЧМ молока(нм):

$$ОБ_{нм} \text{ (г/д)} = 1102,5 / 0,67 = 1646 \text{ г, где} \quad (\text{уравнение 4})$$

0,67 – коэффициент использования $ОБ_{нм}$ в ЧБ по NRC – 2001;

$$ОЛ_{нм} \text{ (г/д)} = 87,1 / 0,68 = 128,1, \text{ где} \quad (\text{уравнение 5})$$

0,68 – коэффициент использования $ОЛ_{нм}$ на отложение ЧЛ в белке суточного производства молока [49].

$$ОМ_{нм} \text{ (г/д)} = 28,7 / 0,66 = 43,4, \text{ где} \quad (\text{уравнение 6})$$

0,66 – коэффициент использования $ОМ_{нм}$ на отложение ЧМ в белке суточного производства молока [49].

3. Потребность на поддержание.

1. Потребность в чистом эндогенном белке мочи:

$$ЧЭБМ \text{ (г/д)} = 2,75 \times 24,5 = 67,4, \text{ где} \quad (\text{уравнение 8})$$

24,5 – живая масса коровы в степени 0,5 ($600_{\text{кг}}^{0,5}$)

$$ОБ_{нд \text{ эбм}} \text{ (г/д)} = 67,4 / 0,67 = 100,5, \text{ где} \quad (\text{уравнение 9})$$

0,67 – коэффициент использования ОБ в ЧЭБМ (NRC – 2001)

Потребность в ОЛ на биосинтез ЧЭБМ:

$$ОЛ_{нд \text{ чэбм}} \text{ (г/д)} = [(8,0 \times 67,4) / 100] / 0,85 = 6,3 \quad (\text{уравнение 10})$$

$$ОМ_{нд \text{ чэбм}} \text{ (г/д)} = [(2,4 \times 67,4) / 100] / 0,85 = 1,9, \text{ где} \quad (\text{уравнение 11})$$

8,0 – содержание лизина в среднем, в белке мышечной ткани и внутренних органах (сердце, печень, почки) крупного рогатого скота, г/100г;

2,4 – содержание метионина в тех же объектах, г/100 г белка [55].

0,85 – коэффициент эффективности использования ОЛ и ОМ в теле коров на поддержание по CNCPS – 2000.

2. Потребность в чистом эндогенном поверхностном белке на поддержание:

$$ЧЭПБ \text{ (г/д)} = 0,2 \times 46,4 = 9,3, \text{ где} \quad (\text{уравнение 12})$$

46,4 – живая масса в степени 0,6 ($600_{\text{кг}}^{0,6}$)

Потребность в ОБ на поддержание ЧЭПБ:

$$ОБ_{нд} \text{ чэпб (г/д)} = 9,3/0,67 = 13,9 \text{ г} \quad (\text{уравнение 13})$$

Потребность в ОЛ и ОМ на поддержание ЧЭПБ:

$$ОЛ_{нд} \text{ чэпб (г/д)} = [(4,7 \times 9,3)/100]/0,85 = 0,5 \quad (\text{уравнение 14})$$

$$ОМ_{нд} \text{ чэпб (г/д)} = [(1,1 \times 9,3)/100]/0,85 = 0,1, \text{ где} \quad (\text{уравнение 15})$$

4,7 и 1,1 – содержание лизина и метионина в ЧЭПБ, г/100 г. [58].

3. Для определения потребности в ОБ, ОЛ и ОМ на поддержание эндогенного и обменного белка пищеварительного тракта, необходимо знать потребление сухого вещества (ПСВ) и переваримых питательных веществ (ППВ)

$$ПСВ \text{ (кг/д)} = (0,372 \times 4\% \text{ ЖМ} + 0,0968 \times \text{ЖМ}^{0,75}) \times (1 - e^{(-0,192 \times (12+3,69))})$$

Расчет потребления сухого вещества: (уравнение 7)

$$а) 4\% \text{ молоко} = (35 \times 3,6)/4 = 31,5; \text{ ОЖМ} = 600^{0,75} = 121,2 \text{ кг};$$

$$ПСВ \text{ (кг/д)} = 0,372 \times 31,5 + 0,0968 \times 121,2 = 23,5 \text{ кг}$$

Поправка на период лактации: а) $12+3,69=15,69$; б) $-0,192 \times 15,69 = -3,012$; в) $2,718^{-3,012} = 1/2,718^{3,012} = 1/20,35 = 0,05$ г) $1-0,05=0,95$;

$$ПСВ \text{ (кг/д)} = 23,5 \times 0,95 = 22,3$$

Определение эндогенного сырого белка переднего отдела (ЭСБПО) пищеварительного тракта:

$$ЭСБПО \text{ (г/д)} = 11,9 \times 22,3 = 265,4; \quad (\text{уравнение 16})$$

Определение потребности в чистом эндогенном белке переднего отдела:

$$ЧЭБПО \text{ (г/д)} = 265,4 \times 0,4 = 106,2; \quad (\text{уравнение 17})$$

Определение потребности в ОБ на поддержание ЧЭБПО:

$$ОБ_{нд} \text{ чэбпо (г/д)} = 106 / 0,67 = 158,4; \quad (\text{уравнение 18})$$

Определение в ОЛ и ОМ на поддержание ЧЭБПО:

$$ОЛ_{нд} \text{ чэбпо (г/д)} = [(7,7 \times 106,2)/100]/0,85 = 9,62; \quad (\text{уравнение 19})$$

ОМпд чэбпо (г/д) = $[(1,6 \times 106,2)/100]/0,85 = 2,0$, где 7,7 и 1,6 содержание соответственно лизина и метионина: г/100 г ЧЭБПО [56].

(уравнение 20)

СППВ (кг/д) = $0,692 \times 22,3 \times 0,92 = 14,2$ (уравнение 22)

Определение обменного микробного белка по СППВ:

ОБмсб (г/д) = $(130 \times 14,2) \times 0,64 = 1181$, где 14,2 – СППВ, кг; (уравнение 23)

Определение потребности в ОБ среднего и нижнего отделов пищеварительного тракта по обменному фекальному белку:

ОБофб (г/д) = $[22,3 \times 30 - 0,5((1181/0,80) - 1181)] = 521,4$ (уравнение 24)

Определение ОЛ и ОМ для ОБОФБ:

ОЛпд обофб (г/д) = $[(5,4 \times 521)/100]/0,85 = 33,1$; (уравнение 25)

ОМпд обофб (г/д) = $[(1,9 \times 521)/100]/0,85 = 11,6$, где (уравнение 26)

5,4 и 1,9 – содержание лизина и метионина соответственно в кишечном изоляте, г/100 г (таблица 2) [57].

Г. Результаты расчета норм потребности лактирующих коров в ОБ, ОЛ и ОМ.

Суммарная потребность в ОБ, ОЛ и ОМ на производство молока (пм) и поддержание (пд):

ОБпм+пд(г/д) = $1645,5 + 100,5 + 13,9 + 158,4 + 521,4 = 2439,7 \approx 2440$ (уравнение 27)

Суммарная потребность в ОЛ и ОМ на производство молока и поддержание:

ОЛпм+пд (г/д) = $128,1 + 6,3 + 0,5 + 14,3 + 9,6 + 33,1 = 177,7 \approx 178$ (уравнение 28)

ОМпм+пд (г/д) = $43,4 + 1,9 + 0,1 + 2,0 + 11,65 = 59,0$ (уравнение 29)

Суммарная потребность ОБ на поддержание:

ОБпд (г/д) = $100,6 + 13,9 + 158,4 + 521 = 794,2$ (уравнение 30)

Суммарная потребность в ОЛ и ОМ на поддержание:

ОЛ_{пд} = 177,7-128,1=49,6; ОМ_{пд} = 59,0-43,4=15,6 (уравнения 31 и 32)

Потребность ОЛ и ОМ на производство молока и поддержание, %ОБ_{лм+пд}:

$$ОЛ_{лм+пд}(\%ОБ_{лм+пд})=(177,7/2439,7)\times 100=7,28;$$

$$ОМ_{лм+пд}(\%ОБ_{лм+пд})=(59,0/2439,7)\times 100=2,42$$

Потребность в ОЛ и ОМ на производство молока, %ОБ_{лм}:

$$ОЛ_{лм}(\%ОБ_{лм}) = (128,1/1646)\times 100=7,78; \quad ОМ_{лм}(\%ОБ_{лм})=(43,5/1646)\times 100=2,64$$

Потребность в ОЛ_{пд} и ОМ_{пд} на поддержание в % от ОБ_{пд}:

$$ОЛ_{пд}(\%ОБ_{пд})= (49,6/794,2)\times 100=6,24; \quad ОМ_{пд}(\%ОБ_{пд}) = (15,6/794,2)\times 100=2,0$$

Потребность в ОБ_{лм}, ОЛ_{лм} и ОМ_{лм} на 1 кг молока, содержание чистого белка:

$$ОБ_{лм}(\text{г/кг}_m)=1646/35=47\text{г}; \quad ОЛ_{лм}(\text{г/кг}_m)=128,1/35=3,7;$$

$$ОМ_{лм}(\text{г/кг}_m)=43,5/35=1,2, \text{ где } 35 - \text{ суточный надой молока};$$

Потребность в ОБ_{пд}, ОЛ_{пд} и ОМ_{пд} на поддержание:

$$ОБ_{пд}(\text{г/ кг}^{0,75})=794/121,2=6,6; \quad ОЛ_{пд}(\text{г/ кг}^{0,75})=49,59/121,2=0,41;$$

$$ОМ_{пд}(\text{г/ кг}^{0,75})=15,55/121,2=0,14, \text{ где } 121,2 - \text{ метаболическая живая масса коровы, ж. м. } 600 \text{ кг}$$

В соответствие с вышеприведенными уравнениями определена потребность в остальных незаменимых аминокислотах (таблица 5).

Таблица 5 – Потребность молочных коров в обменном белке (ОБ) обменных незаменимых аминокислотах (ИНАК) на производство молока (*ПМ*), поддержание (*ПД*), определенные по факториальной модели

Аминокислоты	<i>пм</i> , г/д ¹	<i>пд</i> , г/д ²	<i>пм+пд</i> , г/д	<i>пм</i> , % ОБ _{пм}	<i>пд</i> , % ОБ _{пд}	<i>пм+пд</i> , % ОБ _{пм+пд}	<i>пм</i> , г/кгМ ³	<i>пд</i> , г/кг ^{0,75}	<i>пм+пд</i> , г/кгСВ
Лизин	130	50	178	7,8	6,24	7,3	3,7	0,41	8,0
Метионин	42	16	59	2,6	2,0	2,4	1,2	0,14	2,6
Аргинин	81	38	119	4,9	4,8	4,9	2,3	0,31	5,3
Гистидин	42	20	610	2,6	2,5	2,5	1,2	0,16	2,7
Изолейцин	95	43	138	5,8	5,4	5,7	2,7	0,35	6,2
Лейцин	175	73	248	10,7	9,1	10,2	5,0	0,60	11,1
Фенилаланин	98	54	151	5,9	6,8	6,2	2,8	0,44	6,8
Треонин	74	60	134	4,5	7,6	5,9	2,1	0,50	6,0
Триптофан	25	14	38	1,5	1,7	1,6	0,7	0,11	1,7
Валин	112	64	174	6,7	8,1	7,14	3,2	0,53	7,8
ОБ, г	1645	794	2440				47,01	6,6	109,4

1. Надой молока 35 кг/д, общее количество белка 1104 г
2. Живая масса коровы 600 кг, обменная масса 121,2 кг
3. г/кг молока с содержанием 31,5 г белка

Обсуждение результатов

Используя большой научный материал, опубликованный в литературе, и материалы собственных исследований, разработали с помощью факториального метода вариант модели определения потребности лактирующих коров в незаменимых аминокислотах. На примере наиболее лимитирующих аминокислот лизина и метионина определена потребность на производство белка молока и поддержание в процентах от обменного белка (ОБ), соответственно 7,28 и 2,4 %, что идентично показателям 7,2 и 2,4 % по NRC–2001 [33] и других авторов [49], полученных на базе dose-response моделей. Потребность в гистидине, который также относят к лимитирующим аминокислотам, составила 2,5 % ОБ, т.е. близко к данным 2,4 и 2,7 % ОБ, полученным в других исследованиях [49,74]. Такая сходимость результатов свидетельствует о том, что предлагаемый вариант факториальной модели является достаточно действенным. Во-вторых, определение норм потребности в незаменимых аминокислотах не требует больших затрат на проведение многочисленных исследований, имеющих место в dose-response моделях. Следует отметить, что привязка норм аминокислот к ОБ не могут удовлетворять при манипулировании разным содержанием белка в рационах. Для практического применения руководств по аминокислотному питанию коров на товарно-молочных фермах, требуются нормы, выраженные в абсолютных количествах аминокислот на единицу продукции и поддержание, как это имеет место для нормирования энергии белка, минералов и д. на ожидаемую и планируемую продукцию. По данной модели определена потребность на суточный надой молока и поддержание, г/д; на биосинтез 1 кг молока, г/кг; на поддержание, г/кг^{0,75} метаболической живой массы коров, на СВ рациона, г/кг (таблица 5). Это новые показатели, соответствующие требованиям практического животноводства. Следует отметить заметные различия в потребности на

продукцию молока и поддержание индивидуальных аминокислот. Например, потребность лизина, метионина, лейцина в % ОБ на продукцию молока выше, чем на поддержание, а потребность фенилаланина, треонина, триптофана и валина, наоборот, на поддержание выше, чем на продукцию молока. Это объясняется высоким содержанием этих аминокислот в кишечных изолятах. Потребность в обменных аминокислотах на производство белка молока очень близко соответствует аминокислотному профилю молочного белка.

Выводы

1. Проведенные исследования по определению потребности лактирующих коров в незаменимых аминокислотах с использованием предлагаемого варианта в факториальной модели, показали действенность этой модели. Абсолютная потребность для получения 35 кг молока за сутки (1102,5 г чистого молочного белка) от коровы живой массы 600 кг. составило ОЛ-177,7 г, ОМ-59,0 г, выраженная %ОБ, соответственно, 7,28 и 2,42%ОБ, что близко совпадает с нормами по моделям NRC-2001, рассчитанных по результатам ответной реакции коров на дозу пострубцового инфузирования растворов лизина и метионина. На базе данной модели сделано определение потребности в остальных незаменимых аминокислотах.

2. Для применения норм в практике молочного животноводства предлагаем делать расчеты суточной потребности ОБ, ОЛ и ОМ на ожидаемую и планируемую продукцию молока по нормам затрат на молоко, равным соответственно, г/кг молока: ОБ-47, ОЛ-3,7, ОМ-1,2; по затратам на поддержание (г/кг^{0,75}): ОБ-6,6, ОЛ-0,41, ОМ-0,14. Предлагаемые нормы требуют всесторонней оценки в научных исследованиях и практике.

3. Необходимы исследования по совершенствованию модели и прогнозированию обменных НАК по следующим направлениям:

- обмен аминокислот в организме коров, определение их затрат на поддержание пищеварительного тракта, тканей и органов и уточнение на этой основе коэффициентов использования аминокислот на продукцию молока и поддержание;

- определение лимитирующих незаменимых аминокислот и их последовательности в рационах лактирующих коров по зонам страны;

- разработка идеальных по аминокислотному профилю низкобелковых рационов как за счет корректировки натуральных компонентов, так и за счет использования препаратов аминокислот, защищенных от распада в рубце, повышая тем самым эффективность использования белка и снижая затраты на производство молока и загрязнение окружающей среды;

- разработка простых электронных программ, доступных в условиях производства, для расчета потребности и прогнозирования обеспеченности рациона незаменимыми аминокислотами.

Освоение методами балансирования рационов по незаменимым аминокислотам будет способствовать экономии белковых кормов, повышению продуктивности коров и экономической эффективности отрасли молочного животноводства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Arriola Apelo, S. I., J. Knapp, and M. Hanigan. Invited review: Current representation and future trends of predicting amino acid utilization in the lactating dairy cow. *Journal of Dairy Science*. – 2014. 97:1 – 18. doi: 10.3168/jds.2013-7392. Epub 2014 Apr 24.
2. Huhtanen P. and Hristov AN. A meta-analysis of the effects of dietary protein concentration and degradability on milk protein yield and milk n efficiency in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. – 2009. 92:3222 - 3232. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1352>
3. Dijkstra, J., France J., Ellis JI, Strathe AB, Kebreab E. and Bannink A. Production efficiency in ruminants: feed, nitrogen, and methane. In *Sustainable animal agriculture* (ed. E Kebreab). – 2013. pp. 10-25 CAB International. doi:10.1079/9781780640426.0010
4. Lee, C., A. N. Hristov, K. S. Heyler, T. W. Cassidy, H. Lapierre, G. A. Varga, and C. Parys.. Effects of metabolizable protein supply and amino acid supplementation on nitrogen utilization, milk production, and ammonia emissions from manure in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. – 2012. 95:5253-5268. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5581>

5. Higgs, R. J., L. E. Chase, and M. E. Van Amburgh. Development and evaluation of equations in the Cornell Net Carbohydrate and Protein System to predict nitrogen excretion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. – 2012. 95:2004–2014. doi: 10.3168/jds.2011-4810
6. Moraes, L. E., and J. G. Fadel. Minimizing environmental impacts of livestock production using diet optimization models. *Sustainable Animal Agriculture*. E. Kebreab, ed. CABI, Boston, MA. 2013. Pages 67–82. [10.1079/9781780640426.0067](https://doi.org/10.1079/9781780640426.0067)
7. US EPA (Environmental Protection Agency). Reactive Nitrogen in the United States: An Analysis of Inputs, Flows, Consequences, and Management Options. A Report of the EPA Science Advisory Board. 2011. https://www.researchgate.net/publication/237545094_US_EPA_Science_Advisory_Board_Integrated_Nitrogen_Committee_INC
8. Cyriac, J., A.G. Rius, M.L. McGilliard, R.E. Pearson, B.J. Bequette, and M.D. Hanigan. Lactation performance of midlactation dairy cows fed ruminally degradable protein at concentrations lower than National Research Council recommendations. *Journal of Dairy Science*. – 2008. 91:4704-4713. doi:10.3168/jds.2008-1112
9. Dijkstra, J., C.K. Reynolds, E. Kebreab, A. Bannink, J. L. Ellis, J. France, and A.M. van Vuuren. Challenges in ruminant nutrition: Towards minimal nitrogen losses in cattle. Pages 47-58 in *Energy and Protein Metabolism and Nutrition in Sustainable Animal Production*. W.J. Oltjen, E. Kebread, and H. Lapierre, ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 2013. DOI: 10.3920/978-90-8686-781-3_3
10. Ferraretto, L. F., C. S. Ballard, C. J. Sniffen, and I. Shinzato. Influence of essential amino acid balancing post-partum on lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*. – 99. 2016. (Suppl. 1):718. <https://doi.org/10.2527/jam2016-1505>
11. Arriola Apelo, S. I., Bell, A. L., Estes, K., Ropelewski, J., de Veth, M. J., & Hanigan, M. D. Effects of reduced dietary protein and supplemental rumen-protected essential amino acids on the nitrogen efficiency of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. – 2014. 97. 5688-5699. doi:10.3168/jds.2013-7833. Epub 2014 Jul 11.
12. Barros, T., Quaassdorff, M. A., Aguerre, M. J., Colmenero, J. J. O., Bertics, S. J., Crump, P. M., & Wattiaux, M. A. Effects of dietary crude protein concentration on late-lactation dairy cow performance and indicators of nitrogen utilization. *Journal of Dairy Science*. – 2017. 100. 5434-5448. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11917>
13. Рядчиков В.Г. Производство и рациональное использование белка (от Т. Осборна до наших дней). В кн.: Аминокислотное питание животных и проблема белковых ресурсов /В.Г, Рядчиков//Материалы конференции в КубГАУ под эгидой РАСХН 23 марта 2004г. // г. Краснодар; под ред. В.Г. Рядчикова. – Краснодар, 2005 г. - С. 17-61. УДК 636.084.087.74
14. Colombini, S., G. A. Broderick, and M. K. Clayton. Effect of quantifying peptide release on ruminal protein degradation determined using the inhibitor in vitro system. *Journal of Dairy Science*. – 2011. 94:1967–1977 / 94:1952–1960. doi: 10.3168/jds.2010-3523
15. Brito, A. F., and G. A. Broderick. Effects of different protein supplements on milk production and nutrient utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. – 2007. 90:1816–1827. [10.3168/jds.2006-558](https://doi.org/10.3168/jds.2006-558)
16. White, R. R., Y. Roman-Garcia, J. L. Firkins, P. Kononoff, M. J. VandeHaar, H. Tran, T. McGill, R. Garnett, and M. D. Hanigan. 1. Evaluation of the National Research Council dairy model and derivation of new prediction equations. 2. Rumen degradable and undegradable protein. *Journal of Dairy Science*. – 2017. 100:3611–3627. doi: 10.3168/jds.2015-10801

17. . Lapierre H., Pacheco D., Bertiaume R., Ouellet D.R., Schwab C.G., P.Dubreuil, G.Holtrop and G.E. Lobley. What is the True Supply of Amino Acid for a Dairy Cow? *Journal of Dairy Science*. – 2006. 89(E. Suppl.):E1-E14. DOI:[10.3168/jds.S00220302\(06\)72359-1](https://doi.org/10.3168/jds.S00220302(06)72359-1)

18. . Ipharraguerre I.R, Clark J.H, Freeman D.E. Rumen fermentation and intestinal supply of nutrients in dairy cows fed rumen-protected soy products. *Journal of Dairy Science*. –2005. 88:2879-2892. [10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72969-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72969-6)

19. Laflin, S.L., Gnad, D.P., Walz, P.H. Rumen cannulation and utilization of a donor animal. *The Bovine Practitioner*, 2004. 38 (1): 54-58.

20. . Krizsan, S. J., S. Ahvenjarvi, H. Volden, and G. A. Broderick. Estimation of rumen outflow in dairy cows fed grass silage-based diets by use of reticular sampling as an alternative to sampling from the omasal canal. *Journal of Dairy Science*. – 2010. 93:1138–1147. doi: 10.3168/jds.2009-2661

21. Starke A., Wussow K., Matthies L., Kusenda. M, Busche R., Haudum A., Beineke A., Pfarrer C., Rehage J. Minimally-invasive catheterization of the portal, hepatic and cranial mesenteric veins and the abdominal aorta for quantitative determination of hepatic metabolism in dairy cows. *The Veterinary Journal*. – 2011. 192 (2012):403–411. doi: 10.1016/j.tvjl.2011.07.002.

22. Larsen, M., H. Lapierre, and N. B. Kristensen. Abomasal protein infusion in postpartum transition dairy cows: Effect on performance and mammary metabolism. *J. Dairy Sci*. 2014 97:5608–5622. doi: 10.3168/jds.2013-7247. Epub 2014 Jul 2

23. .Bertiaume, R., P. Dubreuil, M. Stevenson, B.W. McBride, and H. Lapierre. Intestinal disappearance and mesenteric and portal appearance of amino acid in dairy cows fed ruminally-protected methionine. *J. Dairy Sci*. 2001. 84:194-203. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74469-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74469-4)

24. Hvelplund, T., M.R. Weisbjerg, and L.S. Andersen. 1992. Estimation of the true digestibility of rumen undegraded dietary protein in the small intestine of ruminants by the mobile bag technique. *Acta Agric. Scand. A Anim. Sci*. 421:34

25. Ross D.A., Gutierrez – Botero M., M.E. Van Amburgh. Development of an in vitro intestinal digestibility assay for ruminant feeds. P.190-202 in Proc. Of the Cornell Nutrition conference for Feed Manufactur. East Syracuse, NY. Dept. Animal Science Cornell University. Ithaca, NY. – 2013. P.1990-2020. file:///C:/Users/user/Downloads/Development%20of%20an%20in%20vitro%20intestinal%20digestibility%20assay%20for%20ruminant%20feeds%20-%20Ross%20-%20Cornell%202013%20Manuscript%20(1).pdf

26. Freetly, H. C., Ferrell, C. L., & Archibeque, S. Net flux of amino acids across the portal-drained viscera and liver of the ewe during abomasal infusion of protein and glucose. *Journal of Animal Science*, 88(3), 2010. 1093–1107. doi:10.2527/jas.2009-2260

27. Hanigan, M. D., Reynolds, C. K., Humphries, D. J., Lupoli, B., & Sutton, J. D. (2004). A Model of Net Amino Acid Absorption and Utilization by the Portal-Drained Viscera of the Lactating Dairy Cow. *Journal of Dairy Science*, 87(12), 4247–4268. [10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73570-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73570-5)

28. Sadri, H., von Soosten, D., Meyer, U., Kluess, J., Dänicke, S., Saremi, B., & Sauerwein, H. Plasma amino acids and metabolic profiling of dairy cows in response to a bolus duodenal infusion of leucine. *PLOS ONE*, 2017. 12(4), P.1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176647>.

29. Patton, R. A., Hristov, A. N., Parys, C., & Lapierre, H. Relationships between circulating plasma concentrations and duodenal flows of essential amino acids in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2015. 98(7): 4707–4734. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9000>

30. Харитонов Е.Л. Физиология и биохимия питания молочных коров. Глава 4 «Протеиновое питание молочных коров». С. 75-139. Монография. Боровск. Изд-во «Оптима Пресс». – 2011 УДК 636.2.034.084.41:612:5771
31. Харитонов Е.Л. Методические и инструментальные подходы к изучению физиологических и биохимических процессов образования конечных продуктов переваривания питательных веществ кормов // Журнал Проблемы биологии продуктивных животных, 2008. Боровск: №4 с. 1-27 УДК 636.2/3.085.2:612.3:57.08
32. Рядчиков В.Г. Качество белка для жвачных. С. 262-272 В кн.: Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных. Краснодар: КГАУ, 2013. – 616 с. УДК 636.084 (076)
33. . National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th rev. ed., 2001 Natl. Acad. Press, Washington, DC.
34. Cornel-Penn-Miner (CPM), CNCPS; version 3.0.1., Ihtaca, NY, США;
35. Agricultural Modeling and Trainig Systems LLS (AMTS) version 2.0.15., Cortland, NY, США.
36. Amino Cow version 3.5.2 Evonik AC Industries, Hanau, Германия.
37. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). INRA feeding system for ruminants. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 2018. 640 pp.
38. NorFor 2011. The Nordic feed evaluation system. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands (www.norfor.info).<https://doi.org/10.3920/978-90-8686-718-9>
39. Tamminga S, Brandsma GG, Dijkstra J, Van Duinkerken G, Van Vuuren AM and Blok MC. 2007. Protein evaluation for ruminants: the DVE/OEB system. CVB Documentation report nr. 53, 2007. Centraal Veevoederbureau, Lelystad, The Netherlands. <http://edepot.wur.nl/336208> [10.1017/S0021859610000912](https://doi.org/10.1017/S0021859610000912)
40. Van Amburgh ME, Collao-Saenz EA, Higgs RJ, Ross DA, Recktenwald EB, Raffenato E, Chase LE, Overton TR, Mills JK and Foskolos. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: updates to the model and evaluation of version 6.5. Journal of Dairy Science 98, 2015, 6361–6380.DOI: 10.3168/jds.2015-9378.
41. Pacheco D., Patton R.A., Parys C, and. Lapierre H. Ability of commercially available dairy ration programs to predict duodenal flows of protein and essential amino acids in dairy cows. J. Dairy Sci.2012. 95:931-963doi: 10.3168/jds.2011-4171
42. Lapierre, H., Larsen, M., Sauvart, D., Van Amburgh, M. E., & Van Duinkerken, G. Review: Converting nutritional knowledge into feeding practices: a case study comparing different protein feeding systems for dairy cows. Animal, 2018. 1–10. doi:10.1017/S1751731118001763
43. Giallongo, F., Harper, M. T., Oh, J., Lopes, J. C., Lapierre, H., Patton, R. A. Hristov, A. N. Effects of rumen-protected methionine, lysine, and histidine on lactation performance of dairy cows. Journal of Dairy Science, 2016. 99(6): 4437–4452. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10822>
44. Giallongo, F., Harper, M. T., Oh, J., Parys, C., Shinzato, I., & Hristov, A. N. Histidine deficiency has a negative effect on lactational performance of dairy cows. Journal of Dairy Science, 2017. 100(4): 2784–2800. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11992>.
45. Stahel, P., Purdie, N. G., & Cant, J. P. Use of dietary feather meal to induce histidine deficiency or imbalance in dairy cows and effects on milk composition. Journal of Dairy Science, 2014. 97(1): 439–445. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7269>.
46. Haque, M. N., Rulquin, H., & Lemosquet, S. Milk protein responses in dairy cows to changes in postruminal supplies of arginine, isoleucine, and valine. Journal of Dairy Science, 2013. 96(1): 420–430. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5610>
47. Schwab C.G. and Foster G.N. / Maximizing milk components and metabolizable protein utilization through amino acid formulation // Proceeding of the Cornell I Nutrition

Conference for Need Manufacturers. New York. – October 20-22, 2009. https://formulate2corecomponents.com/files/Cornell_Nutrition_Conference_2009.pdf.

48. Lean, I. J., M. B. de Oндarza, C. J. Sniffen, J. E. P. Santos, and K. E. Griswold. Meta-analysis to predict the effects of metabolizable amino acids on dairy cattle performance. *J. Dairy Sci.* 2018. 101:340-364. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12493>

49. . Doepel L., D. Pacheco, J.J. Kennelly, M.D. Hanigan, I.F. Lopez and H. Lapierre. Milk protein as a Function of amino acid supply *J. Dairy Sci.* 2004. 87:1279-1297. DOI:[10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73278-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73278-6)

50. Nursoy, H., M. G. Ronquillo, A. P. Faciola, and G. A. Broderick. Lactation response to soybean meal and rumen-protected methionine supplementation of corn silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 2017. 101: 1–12. doi: 10.3168/jds.2017-13227

51. Vyas, D., and R. A. Erdman. Meta-analysis of milk protein yield responses to lysine and methionine supplementation. *J. Dairy Sci.* 2009. 92:5011–5018. doi: 10.3168/jds.2008-1769

52. . Wang, C., H. Y. Liu, Y. M. Wang, Z. Q. Yang, J. X. Liu, Y. M. Wu, T. Yan, and H. W. Ye.. Effects of dietary supplementation of methionine and lysine on milk production and nitrogen utilization in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2010. 93:3661-3670. doi: 10.3168/jds.2009-2750

53. Robinson, P. H. Impacts of manipulating ration metabolizable lysine and methionine levels on the performance of lactating dairy cows: A systematic review of the literature. *Livestock Science*, 2010. 127(2-3): 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.10.003>.

54. Whitehouse N, Schwab C, Luchini D and Sloan B. A critique of dose response plots that relate changes in content and yield of milk protein to predicted concentrations of lysine in metabolizable protein by the NRC (2001), CPM-Dairy (v.3.0.10) and AMTS. Cattle (v.2.1.1) models. *Journal of Dairy Science* 93. 2010 (E-suppl. 1), 447

55. Рядчиков В.Г. Животные белки. С. 589-612. В Кн.: Мировые ресурсы растительного и животного белка. Аминокислотный состав / В. Г. Рядчиков, Е.Н. Головкин, И.Г. Бескаравайная. – Краснодар: КубГАУ, 2004. – 732 с. УДК 577.112.3

56. Stein, Н.Н., N.L. Trottier, C. Bellaver, and R.A. Easter. The effect of feeding level and physiological status on total flow and amino acid composition of endogenous protein at the distal ileum in swine. *J. Anim. Sci.* 1999. 77:1180-1187. <https://doi.org/10.2527/1999.7751180x>

57. Рядчиков В. Г. Кишечный изолят у свиней на безбелковом рационе. С. 203-218. В дис. док. биол. наук: Обмен веществ у моногастричных животных при балансе и имбалансе аминокислот и пути повышения биологической ценности белка зерна злаковых культур: Дис. док. биол. наук. – Краснодар, 1981

58. Ainslie S.J., Fox D.G., Perry T.C., Ketchen D.J. and Barry M.C. / Predicting amino acid adequacy of diets fed to Holstein steers // *J. Anim. Sci.* 1993. 71:1312-1319. <https://doi.org/10.2527/1993.7151312x>

59. Sok, M., D. R. Ouellet, J. L. Firkins, D. Pellerin, and H. Lapierre. Amino acid composition of rumen bacteria and protozoa in cattle. *J. Dairy Sci.* 2017. 100:5241–5249. DOI:[10.3168/jds.2016-12447](https://doi.org/10.3168/jds.2016-12447)

60. CNCPS. 2000. The Cornell University Nutrient Management Planning System. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrient excretion. CNCPS version 4.0, November 3 rd, 2000. Model Documentation.

61. Van Amburgh M.E., Overton T.R., Chase L.E., Ross D.A. and Recktenwald E.B. / The cornell net carbohydrate and protein system: currend and future approaches for balancing of amino acids // *Proceeding of the Cornell I Nutrition Conference For Need Manufacturers.* New York. – October 20-22, 2009. С. 28–37. DOI: [10.3168/jds.2015-9378](https://doi.org/10.3168/jds.2015-9378).

62. Рядчиков В.Г. Аминокислотное питание молочных коров. Материалы конференции, посвященной 120-летию М.Ф. Томмэ «Фундаментальные и прикладные аспекты кормления сельскохозяйственных животных и технология кормов». 14-16 июня 2016 г. С. 400-404. Дубровицы. 2016. УДК 636.2.034.084.523.

63. Рядчиков В. Г. Концентрация аминокислот в плазме крови у коров в переходный период, трансформация обменного белка, лизина и метионина в их компоненты молока в зависимости от уровня белка в рационе / В. Г. Рядчиков, О.Г. Шляхова // Труды Кубанского ГАУ. – 2013. - № 5(44). – С.212-225. УДК 636.2.085.13

64. . Qin, C., P. Sun, D.P. Bu, J.Q. Wang, P. Zhang, P. An. Comparison of mammary amino acid utilization in dairy cows fed a corn straw or mixed forage diet. J. Animal Sci. 2009. Vol 92, E-Suppl. 2/3, p.754

65. Olmos Colmenero. JJ and Broderick GA. Effect of dietary crude protein concentration on ruminal nitrogen metabolism in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science 2006. 89: 1694-1703.DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72238-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72238-X)

66. Haque, M.N., H. Rulquin, A. Andrade, P. Faverdin, J.L. Peyraud, and S. Lemosquet. Milk protein synthesis in response to the provision of an “ideal” amino acid profile at 2 levels of metabolizable protein supply in dairy cows. J. Dairy Sci. 2012. 95:5876-5887. DOI: [10.3168/jds.2011-5230](https://doi.org/10.3168/jds.2011-5230)

67. C. Lee, F. Giallongo, A.N. Hristov, H. Lapierre, T.W. Cassidy, K.S. Heyler, G.A. Varga, and C. Parys. Effect of dietary protein level and ruman-protected amino acid supplementation on amino acid utilization for milk protein in lactating dairy cows. J.Dairy Sci. 2015. 98:1885-1902. [http://dx.doi.org/ 10.3168/jds.2014-8496](http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8496)

68. Hanigan M.D., White R.R. The current state of amino acid and protein requirement models. J. Anim. Sci. Vol. 93, Suppl. s3/J. Dairy Sci. Vol. 98, Suppl. 2. <https://articles.extension.org/pages/11231/current-status-of-amino-acid-requirement-models-for-lactating-dairy-cows>.

69. Roseler, D.K. D. G. FOX, L. E. CHASE, A. N. PELL, and W. C. STONE. Development and Evaluations for Prediction of Feed Intake for Lactating Holstein Dairy Cows. J/Dairy Sci. – 1997. 80:878-893

70. Swanson E.W. Factors for computing requirements of protein for maintenance of cattle. J. Dairy Sci. 1977, 60:1583-1593. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)84074-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)84074-5)

71. . Swanson E.W. Estimation of metabolic protein requirement to cover unavoidable losses of endogenous nitrogen in maintenance of cattle, Pp. 183-197. In: Protein Requirements for Cattle: Symposium F.N. Owens, ed. Oklahoma State University, Stillwater. – 1982

72. . Ouellet, D.R., M. Demers, G. Zuur, G.E. Lobley, J.R. Seoane, J.V. Nolan, and H. Lapierre. Effects of dietary fiber on endogenous nitrogen flows in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 2002. 85:3013-3025.DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74387-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74387-7)

73. Ouellet, D.R., R. Berthiaume, G. Holtrop, G.E. Lobley, R. Martineau, and H. Lapierre. Endogenous nitrogen (EN) flows: Effect of methods of conservation of timothy in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 2005. 85:3013-3025. doi: 10.3168/jds.2010-3085.

74. Lapierre, Ouellet D.R. and Lobley G.E. Estimation of histidine requirement in lactating dairy cows. J. Anim. Sci Vol. 92, E-Suppl. 2/J. Dairy Sci Vol. 97, E-Suppl. 1. 2014.

References

1. Arriola Apelo, S. I., J. Knapp, and M. Hanigan. Invited review: Current representation and future trends of predicting amino acid utilization in the lactating dairy cow. Journal of Dairy Science. – 2014. 97:1 – 18. doi: 10.3168/jds.2013-7392. Epub 2014 Apr 24.

2. Huhtanen P. and Hristov AN. A meta-analysis of the effects of dietary protein concentration and degradability on milk protein yield and milk N efficiency in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. – 2009. 92:3222 - 3232. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1352>
3. Dijkstra, J., France J., Ellis JI, Strathe AB, Kebreab E. and Bannink A. Production efficiency in ruminants: feed, nitrogen, and methane. In *Sustainable animal agriculture* (ed. E Kebreab). – 2013. pp. 10-25 CAB International. doi:10.1079/9781780640426.0010
4. Lee, C., A. N. Hristov, K. S. Heyler, T. W. Cassidy, H. Lapierre, G. A. Varga, and C. Parys. Effects of metabolizable protein supply and amino acid supplementation on nitrogen utilization, milk production, and ammonia emissions from manure in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. – 2012. 95:5253-5268. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5581>
5. Higgs, R. J., L. E. Chase, and M. E. Van Amburgh. Development and evaluation of equations in the Cornell Net Carbohydrate and Protein System to predict nitrogen excretion in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. – 2012. 95:2004–2014. doi: 10.3168/jds.2011-4810
6. Moraes, L. E., and J. G. Fadel. Minimizing environmental impacts of livestock production using diet optimization models. *Sustainable Animal Agriculture*. E. Kebreab, ed. CABI, Boston, MA. 2013. Pages 67–82. [10.1079/9781780640426.0067](https://doi.org/10.1079/9781780640426.0067)
7. US EPA (Environmental Protection Agency). *Reactive Nitrogen in the United States: An Analysis of Inputs, Flows, Consequences, and Management Options. A Report of the EPA Science Advisory Board*. 2011. https://www.researchgate.net/publication/237545094_US_EPA_Science_Advisory_Board_Integrated_Nitrogen_Committee_INC
8. Cyriac, J., A.G. Rius, M.L. McGilliard, R.E. Pearson, B.J. Bequette, and M.D. Hanigan. Lactation performance of midlactation dairy cows fed ruminally degradable protein at concentrations lower than National Research Council recommendations. *Journal of Dairy Science*. – 2008. 91:4704-4713. doi:10.3168/jds.2008-1112
9. Dijkstra, J., C.K. Reynolds, E. Kebreab, A. Bannink, J. L. Ellis, J. France, and A.M. van Vuuren. Challenges in ruminant nutrition: Towards minimal nitrogen losses in cattle. Pages 47-58 in *Energy and Protein Metabolism and Nutrition in Sustainable Animal Production*. W.J. Oltjen, E. Kebreab, and H. Lapierre, ed. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 2013. DOI: 10.3920/978-90-8686-781-3_3
10. Ferraretto, L. F., C. S. Ballard, C. J. Sniffen, and I. Shinzato. Influence of essential amino acid balancing post-partum on lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*. – 99. 2016. (Suppl. 1):718. <https://doi.org/10.2527/jam2016-1505>
11. Arriola Apelo, S. I., Bell, A. L., Estes, K., Ropelewski, J., de Veth, M. J., & Hanigan, M. D. Effects of reduced dietary protein and supplemental rumen-protected essential amino acids on the nitrogen efficiency of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. – 2014. 97. 5688-5699. doi:10.3168/jds.2013-7833. Epub 2014 Jul 11.
12. Barros, T., Quaassdorff, M. A., Aguerre, M. J., Colmenero, J. J. O., Bertics, S. J., Crump, P. M., & Wattiaux, M. A. Effects of dietary crude protein concentration on late-lactation dairy cow performance and indicators of nitrogen utilization. *Journal of Dairy Science*. – 2017. 100. 5434-5448. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11917>
13. Rjadchikov V.G. *Proizvodstvo i racional'noe ispol'zovanie belka (ot T. Osborna do nashih dnei)*. V kn.: *Aminokislотноe pitanie zhivotnyh i problema belkovykh resursov* /V.G. Rjadchikov//*Materialy konferencii v KubGAU pod jegidoy RASHN 23 marta 2004g. // g. Krasnodar; pod red. V.G. Rjadchikova. – Krasnodar, 2005 g. - S. 17-61.UDK 636.084.087.74*
14. Colombini, S., G. A. Broderick, and M. K. Clayton. Effect of quantifying peptide release on ruminal protein degradation determined using the inhibitor in vitro system.

Journal of Dairy Science. – 2011. 94:1967– 1977 / 94:1952–1960. doi: 10.3168/jds.2010-3523

15. Brito, A. F., and G. A. Broderick. Effects of different protein supplements on milk production and nutrient utilization in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science.* – 2007. 90:1816–1827. 10.3168/jds.2006-558

16. White, R. R., Y. Roman-Garcia, J. L. Firkins, P. Kononoff, M. J. VandeHaar, H. Tran, T. McGill, R. Garnett, and M. D. Hanigan. 1. Evaluation of the National Research Council dairy model and derivation of new prediction equations. 2. Rumen degradable and undegradable protein. *Journal of Dairy Science.* – 2017. 100:3611–3627. doi: 10.3168/jds.2015-10801

17. Lapierre H., Pacheco D., Bertiaume R., Ouellet D.R., Schwab C.G., P.Dubreuil, G.Holtrop and G.E. Lobley. What is the True Supply of Amino Acid for a Dairy Cow? *Journal of Dairy Science.* – 2006. 89(E. Suppl.):E1-E14. DOI:10.3168/jds.S00220302(06)72359-1

18. Ipharraguerre I.R, Clark J.H, Freeman D.E. Rumen fermentation and intestinal supply of nutrients in dairy cows fed rumen-protected soy products. *Journal of Dairy Science.* – 2005. 88:2879-2892. 10.3168/jds.S0022-0302(05)72969-6

19. Laflin, S.L., Gnad, D.P., Walz, P.H. Rumen cannulation and utilization of a donor animal. *The Bovine Practitioner*, 2004. 38 (1): 54-58.

20. Krizsan, S. J., S. Ahvenjarvi, H. Volden, and G. A. Broderick. Estimation of rumen outflow in dairy cows fed grass silage-based diets by use of reticular sampling as an alternative to sampling from the omasal canal. *Journal of Dairy Science.* – 2010. 93:1138–1147. doi: 10.3168/jds.2009-2661

21. Starke A., Wussow K., Matthies L., Kusenda. M, Busche R., Haudum A., Beineke A., Pfarrer C., Rehage J. Minimally-invasive catheterization of the portal, hepatic and cranial mesenteric veins and the abdominal aorta for quantitative determination of hepatic metabolism in dairy cows. *The Veterinary Journal.* – 2011. 192 (2012):403–411. doi: 10.1016/j.tvjl.2011.07.002.

22. Larsen, M., H. Lapierre, and N. B. Kristensen. Abomasal protein infusion in postpartum transition dairy cows: Effect on performance and mammary metabolism. *J. Dairy Sci.* 2014 97:5608–5622. doi: 10.3168/jds.2013-7247. Epub 2014 Jul 2

23. Berthiaume, R., P. Dubreuil, M. Stevenson, B.W. McBride, and H. Lapierre. Intestinal disappearance and mesenteric and portal appearance of amino acid in dairy cows fed ruminally-protected methionine. *J. Dairy Sci.* 2001. 84:194-203. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74469-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74469-4)

24. Hvelplund, T., M.R. Weisbjerg, and L.S. Andersen. 1992. Estimation of the true digestibility of rumen undegraded dietary protein in the small intestine of ruminants by the mobile bag technique. *Acta Agric. Scand. A Anim. Sci.* 421:34

25. Ross D.A., Gutierrez – Botero M., M.E. Van Amburgh. Development of an in vitro intestinal digestibility assay for ruminant feeds. P.190-202 in Proc. Of the Cornell Nutrition conference for Feed Manufactur. East Syracuse, NY. Dept. Animal Science Cornell University. Ithaca, NY. – 2013. P.1990-2020. file:///C:/Users/user/Downloads/Development%20of%20an%20in%20vitro%20intestinal%20digestibility%20assay%20for%20ruminant%20feeds%20-%20Ross%20-%20Cornell%202013%20Manuscript%20(1).pdf

26. Freetly, H. C., Ferrell, C. L., & Archibeque, S. Net flux of amino acids across the portal-drained viscera and liver of the ewe during abomasal infusion of protein and glucose. *Journal of Animal Science*, 88(3), 2010. 1093–1107. doi:10.2527/jas.2009-2260

27. Hanigan, M. D., Reynolds, C. K., Humphries, D. J., Lupoli, B., & Sutton, J. D. (2004). A Model of Net Amino Acid Absorption and Utilization by the Portal-Drained

Viscera of the Lactating Dairy Cow. *Journal of Dairy Science*, 87(12), 4247–4268. 10.3168/jds.S0022-0302(04)73570-5

28. Sadri, H., von Soosten, D., Meyer, U., Kluess, J., Dänicke, S., Saremi, B., & Sauerwein, H. Plasma amino acids and metabolic profiling of dairy cows in response to a bolus duodenal infusion of leucine. *PLOS ONE*, 2017. 12(4), P.1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176647>.

29. Patton, R. A., Hristov, A. N., Parys, C., & Lapierre, H. Relationships between circulating plasma concentrations and duodenal flows of essential amino acids in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2015. 98(7): 4707–4734. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9000>

30. Haritonov E.L. Физиология и биохимия питания молочных коров. Глава 4 «Proteinovoe питание молочных коров». S. 75-139. Монография. Borovsk. Izd-vo «Optima Press». – 2011 UDK 636.2.034.084.41:612:5771

31. Haritonov E.L. Metodicheskie i instrumental'nye podhody k izucheniju fiziologicheskikh i biokhimijskikh processov obrazovaniya konechnykh produktov perevarivaniya pitatel'nykh veshchestv kormov // *Zhurnal Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh*, 2008. Borovsk: №4 s. 1-27 UDK 636.2/3.085.2:612.3:57.08

32. Rjadchikov V.G. Kachestvo belka dlja zhvachnykh. S. 262-272 V kn.: Osnovy pitaniya i kormleniya sel'skohozjajstvennykh zhivotnykh. Krasnodar: KGAU, 2013. – 616 s. UDK 636.084 (076)

33. . National Research Council. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th rev. ed., 2001 Natl. Acad. Press, Washington, DC.

34. Cornel-Penn-Miner (CPM), CNCPS; version 3.0.1., Ihtaca, NY, SShA;

35. Agricultural Modeling and Trainig Systems LLS (AMTS) version 2.0.15., Cortland, NY, SShA.

36. Amino Cow version 3.5.2 Evonik AC Industries, Hanau, Germaniya.

37. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). INRA feeding system for ruminants. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, 2018. 640 pp.

38. NorFor 2011. The Nordic feed evaluation system. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands (www.norfor.info).<https://doi.org/10.3920/978-90-8686-718-9>

39. Tamminga S, Brandsma GG, Dijkstra J, Van Duinkerken G, Van Vuuren AM and Blok MC. 2007. Protein evaluation for ruminants: the DVE/OEB system. CVB Documentation report nr. 53, 2007. Centraal Veevoederbureau, Lelystad, The Netherlands. <http://edepot.wur.nl/336208> 10.1017/S0021859610000912

40. Van Amburgh ME, Collao-Saenz EA, Higgs RJ, Ross DA, Recktenwald EB, Raffrenato E, Chase LE, Overton TR, Mills JK and Foskolos. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: updates to the model and evaluation of version 6.5. *Journal of Dairy Science* 98, 2015, 6361–6380.DOI: 10.3168/jds.2015-9378.

41. Pacheco D., Patton R.A., Parys C, and. Lapierre H. Ability of commercially available dairy ration programs to predict duodenal flows of protein and essential amino acids in dairy cows. *J. Dairy Sci.*2012. 95:931-963doi: 10.3168/jds.2011-4171

42. Lapierre, H., Larsen, M., Sauvant, D., Van Amburgh, M. E., & Van Duinkerken, G. Review: Converting nutritional knowledge into feeding practices: a case study comparing different protein feeding systems for dairy cows. *Animal*, 2018. 1–10. doi:10.1017/S1751731118001763

43. Giallongo, F., Harper, M. T., Oh, J., Lopes, J. C., Lapierre, H., Patton, R. A. Hristov, A. N. Effects of rumen-protected methionine, lysine, and histidine on lactation performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2016. 99(6): 4437–4452. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10822>

44. Giallongo, F., Harper, M. T., Oh, J., Parys, C., Shinzato, I., & Hristov, A. N. Histidine deficiency has a negative effect on lactational performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2017. 100(4): 2784–2800. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11992>.
45. Stahel, P., Purdie, N. G., & Cant, J. P. Use of dietary feather meal to induce histidine deficiency or imbalance in dairy cows and effects on milk composition. *Journal of Dairy Science*, 2014. 97(1): 439–445. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7269>.
46. Haque, M. N., Rulquin, H., & Lemosquet, S. Milk protein responses in dairy cows to changes in postruminal supplies of arginine, isoleucine, and valine. *Journal of Dairy Science*, 2013. 96(1): 420–430. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2012-5610>
47. Schwab C.G. and Foster G.N. / Maximizing milk components and metabolizable protein utilization through amino acid formulation // Proceeding of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers. New York. – October 20-22, 2009. https://formulate2corecomponents.com/files/Cornell_Nutrition_Conference_2009.pdf.
48. Lean, I. J., M. B. de Ondarza, C. J. Sniffen, J. E. P. Santos, and K. E. Griswold. Meta-analysis to predict the effects of metabolizable amino acids on dairy cattle performance. *J. Dairy Sci.* 2018. 101:340-364. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12493>
49. Doepel L., D. Pacheco, J.J. Kennelly, M.D. Hanigan, I.F. Lopez and H. Lapierre. Milk protein as a Function of amino acid supply *J. Dairy Sci.* 2004. 87:1279-1297. DOI:10.3168/jds.S0022-0302(04)73278-6
50. Nursoy, H., M. G. Ronquillo, A. P. Faciola, and G. A. Broderick. Lactation response to soybean meal and rumen-protected methionine supplementation of corn silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 2017. 101: 1–12. doi: 10.3168/jds.2017-13227
51. Vyas, D., and R. A. Erdman. Meta-analysis of milk protein yield responses to lysine and methionine supplementation. *J. Dairy Sci.* 2009. 92:5011–5018. doi: 10.3168/jds.2008-1769
52. Wang, C., H. Y. Liu, Y. M. Wang, Z. Q. Yang, J. X. Liu, Y. M. Wu, T. Yan, and H. W. Ye.. Effects of dietary supplementation of methionine and lysine on milk production and nitrogen utilization in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2010. 93:3661-3670. doi: 10.3168/jds.2009-2750
53. Robinson, P. H. Impacts of manipulating ration metabolizable lysine and methionine levels on the performance of lactating dairy cows: A systematic review of the literature. *Livestock Science*, 2010. 127(2-3): 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.10.003>.
54. Whitehouse N, Schwab C, Luchini D and Sloan B. A critique of dose response plots that relate changes in content and yield of milk protein to predicted concentrations of lysine in metabolizable protein by the NRC (2001), CPM-Dairy (v.3.0.10) and AMTS. Cattle (v.2.1.1) models. *Journal of Dairy Science* 93. 2010 (E-suppl. 1), 447
55. Rjadchikov V.G. Zhivotnye belki. S. 589-612. V Kn.: Mirovye resursy rastitel'nogo i zhivotnogo belka. Aminokislотноy sostav / V. G. Rjadchikov, E.N. Golovko, I.G. Beskaravajnaja. – Krasnodar: KubGAU, 2004. – 732 s. UDK 577.112.3
56. Stein, H.H., N.L. Trottier, C. Bellaver, and R.A. Easter. The effect of feeding level and physiological status on total flow and amino acid composition of endogenous protein at the distal ileum in swine. *J. Anim. Sci.* 1999. 77:1180-1187. <https://doi.org/10.2527/1999.7751180x>
57. Rjadchikov V. G. Kishechnyj izoljat u svinej na bezbelkovom racione. S. 203-218. V dis. dok. biol. nauk: Obmen veshhestv u monogastrichnyh zhivotnyh pri balanse i imbalanse aminokislot i puti povysheniya biologicheskoy cennosti belka zerna zlakovyh kul'tur: Dis. dok. biol. nauk. – Krasnodar, 1981

58. Ainslie S.J., Fox D.G., Perry T.C., Ketchen D.J. and Barry M.C. / Predicting amino acid adequacy of diets fed to Holstein steers // *J. Anim. Sci.* 1993. 71:1312-1319. <https://doi.org/10.2527/1993.7151312x>
59. Sok, M., D. R. Ouellet, J. L. Firkins, D. Pellerin, and H. Lapierre. Amino acid composition of rumen bacteria and protozoa in cattle. *J. Dairy Sci.* 2017. 100:5241–5249. DOI:10.3168/jds.2016-12447
60. CNCPS. 2000. The Cornell University Nutrient Management Planning System. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrient excretion. CNCPS version 4.0, November 3 rd, 2000. Model Documentation.
61. Van Amburgh M.E., Overton T.R., Chase L.E., Ross D.A. and Recktenwald E.B. / The cornell net carbohydrate and protein system: current and future approaches for balancing of amino acids // *Proceeding of the Cornell Nutrition Conference For Feed Manufacturers.* New York. – October 20-22, 2009. S. 28–37. DOI: 10.3168/jds.2015-9378.
62. Rjadchikov V.G. Aminokislotoe pitanie molochnyh korov. Materialy konferencii, posvjashhennoj 120-letiju M.F. Tommje «Fundamental'nye i prikladnye aspekty kormlenija sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh i tehnologija kormov». 14-16 ijunya 2016 g. S. 400-404. Dubrovicy. 2016. UDK 636.2.034.084.523.
63. Rjadchikov V. G. Koncentracija aminokislot v plazme krovi u korov v perehodnyj period, transformacija obmennogo belka, lizina i metionina v ih komponenty moloka v zavisimosti ot urovnja belka v racione / V. G. Rjadchikov, O.G. Shljahova // *Trudy Kubanskogo GAU.* – 2013. - № 5(44). – S.212-225. UDK 636.2.085.13
64. Qin, C., P. Sun, D.P. Bu, J.Q. Wang, P. Zhang, P. An. Comparison of mammary amino acid utilization in dairy cows fed a corn straw or mixed forage diet. *J. Animal Sci.* 2009. Vol 92, E-Suppl. 2/3, p.754
65. Olmos Colmenero. JJ and Broderick GA. Effect of dietary crude protein concentration on ruminal nitrogen metabolism in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 2006. 89: 1694-1703. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72238-X
66. Haque, M.N., H. Rulquin, A. Andrade, P. Faverdin, J.L. Peyraud, and S. Lemosquet. Milk protein synthesis in response to the provision of an “ideal” amino acid profile at 2 levels of metabolizable protein supply in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2012. 95:5876-5887. DOI: 10.3168/jds.2011-5230
67. C. Lee, F. Giallongo, A.N. Hristov, H. Lapierre, T.W. Cassidy, K.S. Heyler, G.A. Varga, and C. Parys. Effect of dietary protein level and ruman-protected amino acid supplementation on amino acid utilization for milk protein in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2015. 98:1885-1902. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-8496>
68. Hanigan M.D., White R.R. The current state of amino acid and protein requirement models. *J. Anim. Sci.* Vol. 93, Suppl. s3/J. Dairy Sci. Vol. 98, Suppl. 2. <https://articles.extension.org/pages/11231/current-status-of-amino-acid-requirement-models-for-lactating-dairy-cows>.
69. Roseler, D.K. D. G. FOX, L. E. CHASE, A. N. PELL, and W. C. STONE. Development and Evaluations for Prediction of Feed Intake for Lactating Holstein Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* – 1997. 80:878-893
70. Swanson E.W. Factors for computing requirements of protein for maintenance of cattle. *J. Dairy Sci.* 1977, 60:1583-1593. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(77\)84074-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(77)84074-5)
71. Swanson E.W. Estimation of metabolic protein requirement to cover unavoidable losses of endogenous nitrogen in maintenance of cattle, Pp. 183-197. In: *Protein Requirements for Cattle: Symposium* F.N. Owens, ed. Oklahoma State University, Stillwater. – 1982

72. . Ouellet, D.R., M. Demers, G. Zuur, G.E. Lobley, J.R. Seoane, J.V. Nolan, and H. Lapierre. Effects of dietary fiber on endogenous nitrogen flows in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2002. 85:3013-3025. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74387-7
73. Ouellet, D.R., R. Berthiaume, G. Holtrop, G.E. Lobley, R. Martineau, and H. Lapierre. Endogenous nitrogen (EN) flows: Effect of methods of conservation of timothy in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 2005. 85:3013-3025. doi: 10.3168/jds.2010-3085.
74. Lapierre, Ouellet D.R. and Lobley G.E. Estimation of histidine requirement in lactating dairy cows. *J. Anim. Sci* Vol. 92, E-Suppl. 2/*J. Dairy Sci* Vol. 97, E-Suppl. 1. 2014.