DOI: 10.25701/ZZR.2024.03.009

Синтез ценного микробного протеина

Синхронизируем поступление в рубец идентичных по скорости расщепления фракций протеина и углеводов

Олег ГАНУЩЕНКО, кандидат сельскохозяйственных наук
Витебская ГАВМ

При составлении рационов для коров особое внимание уделяют обеспечению животных энергией и нормируемыми питательными веществами в соответствии с суточной потребностью в них. При этом часто не учитывают специфичную продолжительность расщепления фракций отдельных веществ (протеин и углеводы) в рубце коров в течение суток. Усвоение рубцовой микрофлорой каждой из идентичных по скорости расщепления фракций протеина и углеводов должно происходить по возможности одновременно, то есть синхронно. Именно в этом случае рост рубцовых бактерий будет максимальным, а значит, увеличится синтез ценного микробного протеина, хорошо переваривающегося в тонком кишечнике и эффективно используемого организмом животного.

Скармливая кормосмеси жвачным животным, очень важно обеспечить синхронное поступление энергии из разных фракций углеводов (быстро-, средне- и длительно расщепляемых в рубце) с учетом скорости расщепления в рубце идентичных фракций расщепляемого протеина **(рисунок)**. Другими словами, чтобы рубцовые бактерии эффективно росли, каждой из фракций расщепляемого протеина, конечным продуктом расщепления которого является аммиак — основной субстрат для синтеза микробного белка, должна соответствовать идентичная по скорости расщепления в рубце фракция углеводов — источник энергии для микрофлоры в каждый конкретный промежуток времени.

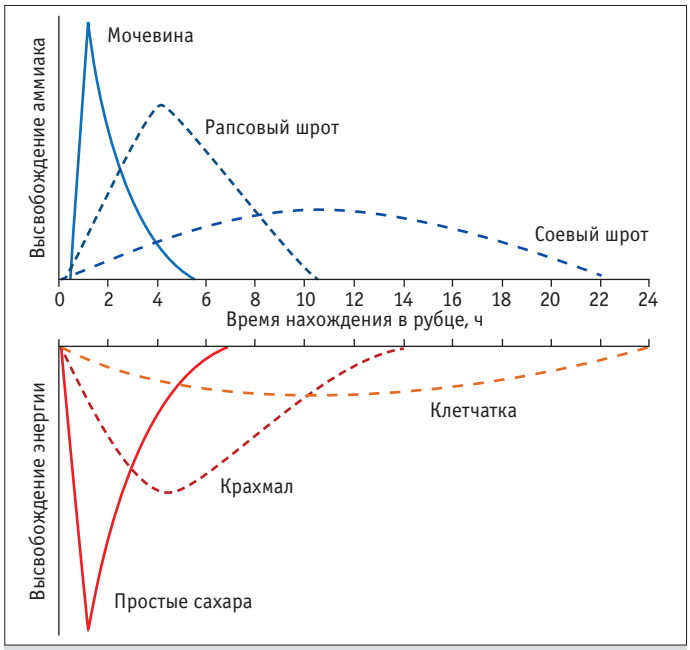
Например, содержание в рационе быстро расщепляемых (растворимых в рубцовой жидкости) фракций протеина и углеводов должно быть одинаковым. При этом в течение первых 20–30 минут после кормления быстро расщепляемые фракции протеина рациона (мочевина, а также свободные аминокислоты, пептиды и глобулины кормов) стремительно расщепляются в рубце до аммиака (микрофлора использует его для синтеза собственного белка). Соответственно для эффективного синтеза микробного белка в течение этого времени (в первые 20–30 минут после скармливания кормосмеси) микрофлоре рубца необходимо адекватное количество энергии из углеводов.

Быстро расщепляемые углеводы рациона обычно представлены простыми сахарами, а их основными поставщиками служат свекла (сахарная, полусахарная, кормовая) и патока. Соответственно, соотношение как среднерасщепляемых, так и длительно расщепляемых фракций протеина и углеводов в рационе, по скорости их расщепления в рубце также должно быть тождественным.

Таким образом, наличие в кормосмеси всех идентичных по скорости и длительности расщепления в рубце фракций протеина и углеводов в необходимом количестве в любое время суток — одно из важнейших требований при составлении рационов для высокопродуктивных коров. Это обусловлено тем, что при дисбалансе идентичных по скорости и длительности расщепления в рубце фракций протеина и углеводов не только снижается синтез микробного белка, но и нарушается функция рубца, уменьшается молочная продуктивность коров и возникают серьезные проблемы со здоровьем животных.

Для оптимизации расщепляемых в рубце фракций протеина и углеводов специалисты обычно используют так называемую корнеллскую систему чистых углеводов и протеина CNCPS (Cornell Net Carbohydrateand Protein System), разработанную в США в 1992–1993 гг. С тех пор система CNCPS постоянно совершенствуется (созданы системы CPM-Dairy, LRNS, SRNS, RNS).

В основе расчетов по системе CNCPS лежит утверждение о том, что в рубце отдельные фракции кормов расщепляют-



Синхронное высвобождение энергии из разных фракций углеводов и аммиака (из расщепляемого протеина) в рубце в течение суток

Таблица 1

Детергенты для определения фракций протеина

Вид детергента	Фракция протеина	
	по растворимости в детергенте	по скорости расщепления в рубце
Кислотный	Нерастворимая	C
	Растворимая	A1, A2, B1, B2
Нейтральный	Нерастворимая	B2, C
	Растворимая	A1, A2, B1
Боратный буферный раствор*	Нерастворимая	B1, B2, C
	Растворимая	A1, A2

**Имитация содержимого рубца.*

ся с разной скоростью (*Роусек Я.*, http://agroportal.by/cattle/102/812/). Исходя из этого, содержащиеся в кормах сырой протеин и углеводы разделили на три группы фракций (A, B, C) с учетом скорости их расщепления в рубце и эвакуации из него промежуточных субстратов в нижележащие отделы пищеварительного тракта. По мере развития системы CNCPS в каждой из групп фракций A и B были выделены соответствующие подгруппы — A1, A2 и B1, B2, которые при проведении зоотехнического анализа кормов определяют с помощью различных детергентов (растворители) — боратного буферного раствора, нейтрального и кислотного детергентов **(табл. 1)**.

Показатели, характеризующие состав и скорость расщепления различных фракций протеина и углеводов в соответствии с системой CNCPS, представлены в **таблице 2**.

Сущность балансирования рациона сводится к достижению равновесия между одноименными расщепляемыми фракциями протеина и углеводов при низком уровне в рационе фракции C **(табл. 3)**.

Балансирование кормосмесей для коров по системе CNCPS предполагает выполнение огромного количества расчетов по соответствующим уравнениям регрессии. Поэтому целесообразно использовать специальные компьютерные программы. Важно понимать, что любая из них — хороший помощник, но для интерпретации данных нужны глубокие знания и практический опыт.

Современные программы для расчета рационов не сопоставимы с программами, применявшимися в начале нынешнего столетия. Смысл перехода на систему CNCPS заключается том, что она учитывает не только потребность животного в питательных веществах, но и сбалансированность всех нормируемых и сопутствующих показателей рациона. Например, с помощью системы CNCPS можно очень точно прогнозировать потребление кормов, фракции расщепляемого и не расщепляемого в рубце протеина, разных фракций углеводов (профилактика развития ацидоза)

Таблица 2

Состав и расщепляемость различных фракций протеина и углеводов

Обозначение фракции	Состав фракции	Скорость расщепления в рубце, % в час	Переваримость в кишечнике, %
Фракция протеина			
A1	Аммиак, мочевина	Очень быстро	Не достигают кишечника*
A2	Аминокислоты, пептиды, глобулины, меньшая часть альбуминов	Быстро, 200–300	100
B1	Большинство альбуминов, глютелины	5–15	100
B2	Проламины, защищенные белки	0,1–1,5	80
C	Недоступная часть сырого протеина (кислотно-детергентный нерастворимый сырой протеин**)	—	—
Фракция углеводов			
A1	Летучие жирные кислоты	Очень быстро	Не достигают кишечника***
A2	Сахара	Быстро, 200–300	100
B1	Крахмал, пектины, бета-глюканы	20–40	75
B2	Доступная часть нейтрально-детергентной клетчатки (целлюлоза, гемицеллюлозы)	2–15	20
C	Недоступная часть нейтрально-детергентной клетчатки (лигнин и прочно связанная с ним целлюлоза)	—	—

** Вследствие очень быстрого распада мочевины и всасывания аммиака в стенках рубца фракция протеина A1 не достигает кишечника.*
*** Белки, связанные с лигнином, и продукты, образующиеся в процессе реакции Maillarda (при длительном воздействии высокой температуры на корма протеин связывается с углеводами в неперевариваемое комплексное соединение).*
**** Вследствие всасывания в стенках рубца летучие жирные кислоты не достигают кишечника.*

Таблица 3

Синхронизация поступления в рубец фракций углеводов и протеина

Обозначение фракции	Углеводы — источники энергии	Фракции сырого протеина
A (A1, A2)	Летучие жирные кислоты, сахара	Аммиак, мочевина, аминокислоты, пептиды, глобулины, меньшая часть альбуминов
B1	Крахмал, пектины, бета-глюканы	Большая часть альбуминов, глютелины
B2	Доступная часть нейтрально-детергентной клетчатки (гемицеллюлозы, целлюлоза)	Проламины, защищенные белки
C	Недоступная часть нейтрально-детергентной клетчатки (лигнин и прочно связанная с ним целлюлоза)	Недоступная часть сырого протеина (кислотно-детергентный нерастворимый сырой протеин)

и параллельно с этим рассчитывать важные экономические показатели.

Создание оптимальных условий в рубце за счет синхронного поступления в него идентичных по скорости расщепления фракций протеина и углеводов способствует эффективному синтезу полноценного микробного протеина. Благодаря обеспечению максимальной сбалансированности рациона по всем нормируемым элементам питания в соответствии с современными нормами кормления коров увеличивается удой и улучшается качество получаемого молока.

Общеизвестно, что меньшую долю сырого протеина составляет не расщепляемый в рубце протеин (в зарубежной интерпретации — транзитный, обходной, байпасный, кишечный, защищенный протеин). Он проходит через рубец в неизменном виде. Американская система расчета потребности молочного скота в протеине (аминокислотах), разработанная Национальными академиями наук, инженерии и медицины NASEM (National Academies of Sciences, Engineering and Medicine), была полностью пересмотрена и опубликована в 2021 г.

В отличие от предыдущего издания (NRC, 2001), в новом издании кардинально изменены почти все показатели прогнозирования в рационе расщепляемого и не расщепляемого в рубце протеина. Для молочного скота всех производственных групп норма концентрации расщепляемого в рубце протеина установлена в виде константы — 10% в сухом веществе (СВ) рациона, то есть 100 г в 1 кг СВ кормосмеси.

При этом в кормосмесях для коров, находящихся в разном физиологическом состоянии, норма концентрации не расщепляемого в рубце протеина в 1 кг СВ рационов существенно различается. Например, в первую фазу сухостойного периода в 1 кг СВ кормосмеси должно содержаться 19 г не расщепляемого в рубце протеина, во вторую — 43 г, в 1 кг СВ рационов для лактирующих полновозрастных коров — 74–75 г, а для первотелок — 62–70 г. Приведенный пример наглядно показывает, что в 1 кг СВ кормосмесей для лактирующих коров норма концентрации не расщепляемого в рубце протеина гораздо выше, чем в кормосмесях для сухостойных животных.

Специалисты знают, что синтез микробного протеина ограничен количеством рубцовой микрофлоры. При этом по мере роста суточного удоя выделение белка с молоком повышается, а значит, в рационе необходимо увеличивать долю не расщепляемого в рубце протеина относительно уровня потребления сырого протеина. Согласно нормам кормления NASEM (2021), в кормосмесях для полновозрастных лактирующих коров голштинской породы с суточным удоем 43–55 кг доля не расщепляемого в рубце протеина должна составлять 42,5–43% от уровня потребляемого сырого протеина, а доля расщепляемого в рубце протеина — 57–57,5%.

На практике задачу адекватного повышения количества и качества не расщепляемого в рубце протеина в рационах для высокопродуктивных дойных коров решают следующим образом. При суточном удое 25–30 кг используют кормовые средства (корма и протеиновые добавки), содержащие большее количество не расщепляемого в рубце протеина высокого качества. Важно также поддерживать оптимальную концентрацию расщепляемого в рубце протеина на уровне около 10% от СВ рациона (полнорационной кормосмеси).

Если суточный удой превышает 30 кг, в кормосмесь (предпочтительнее — в состав комбикорма) дополнительно включают защищенные от распада в рубце критические аминокислоты (метионин, метионин + лизин). Это — обязательный элемент балансирования рациона для коров со столь высоким суточным удоем. В противном случае резко возрастает риск нарушения протеинового обмена в организме животных, а в дальнейшем — их ускоренного выбытия из стада по состоянию здоровья.

В Беларуси подавляющее большинство кормов для крупного рогатого скота дефицитны по не расщепляемому в рубце протеину, который к тому же характеризуется низким качеством. В такой ситуации первоочередная задача заключается в оптимизации протеинового питания коров, или в поддержании баланса азота в рубце (БАР). Оптимальный показатель БАР в рационах для коров должен быть близок к нулю.

Для снижения концентрации расщепляемого в рубце протеина следует увеличить в кормосмеси долю кормов с повышенным содержанием не расщепляемого в рубце протеина — соевого шрота, сухой послеспиртовой барды, пивной дробины, кукурузного глютена, зерна кукурузы, свекловичного жома, гранулированных комбикормов, провяленных травяных кормов (силаж, сенаж) и сена. Рекомендовано использовать и белковые добавки, содержащие протеин, характеризующийся низкой расщепляемостью (20–50%).

Ученые кафедры кормления сельскохозяйственных животных Витебской ГАВМ разработали специализированные энерго-протеиновую и белково-витаминно-минеральную добавки. Расщепляемость входящего них протеина составляет около 50%.

Чтобы снизить расщепляемость протеина отдельных кормов в рубце, их предварительно обрабатывают уксусной, муравьиной или другими органическими кислотами, которые обеспечивают повышенную защиту протеина. Однако следует учитывать, что применение этих химических соединений может нанести вред здоровью животных и стать причиной ухудшения качества получаемой продукции. При использовании органических кислот необходимо строго

соблюдать технологию обработки кормов и не превышать дозу реагентов.

Специалисты лучших сельхозпредприятий вводят в рационы натуральные добавки, такие как танины (фенольные соединения растительного происхождения) и сапонины (сложные безазотистые органические соединения из гликозидов растительного происхождения, обладающие поверхностно-активными свойствами). Данные исследований свидетельствуют о том, что при скармливании кормосмесей с сапонинами в рубце снижалась активность простейших и, как следствие, уменьшалась степень поглощения ими бактерий (*Patra*, *Saxena*, 2009). В результате доля микробного белка увеличивалась. Это объясняется тем, что бактерии размножаются гораздо быстрее, чем простейшие, а значит, преобразование азота в микробный белок протекает интенсивнее.

Установлено, что танины связываются с расщепляемым протеином и часть его переводят в форму, недоступную для ферментов микрофлоры рубца (*Frutos et al.*, 2004; *Naumann et al.*, 2017; *Nawab et al.*, 2020). В очень кислой среде сычуга эта связь нарушается и протеин становится доступным для переваривания и последующего усвоения. Кроме того, танины способны частично уменьшать ферментативную активность некоторых видов бактерий, за счет чего в рубце снижается расщепление пептидов и аминокислот до аммиака. Таким образом, под действием танинов не только сокращается выработка аммиака в рубце, но и сохраняется большее количество аминокислот (они содержатся в белке кормов и перевариваются уже в тонком кишечнике животного).

Танины и сапонины можно использовать как по отдельности, так и в комплексе. Эффективность применения смеси этих веществ подтверждена на практике (*Глухов Д.*, 2020). Данные экспериментов показали, что при включении в рацион танинов и сапонинов в дозе 50 г на голову в день в крови коров снизился уровень мочевины с 32 до 27 мг%, а среднесуточная продуктивность животных выросла в среднем на 1 кг на голову (с 32,8 до 33,8 кг). Улучшались и показатели качества молока: увеличились массовая доля белка (с 3,32 до 3,37%) и жира (с 3,74 до 3,84%).

Напомню: переваримость не расщепляемого в рубце протеина в тонком кишечнике сильно варьирует (от 50 до 100%) в зависимости от вида корма. Степень переваримости не расщепляемого в рубце протеина в тонком кишечнике, равно как и последующая эффективность использования аминокислот для синтеза белка молока, обусловлена качеством не расщепляемого в рубце протеина.

Качество не расщепляемого в рубце протеина определяется степенью соответствия содержания в нем каждой из незаменимых аминокислот (прежде всего, критических — метионина и лизина) по отношению к их фактическому содержанию в белке молока. Если кормосмесь не сбалансирована хотя бы по какой-либо незаменимой аминокислоте, то, согласно закону минимума Либиха (закон лимитирующего фактора), дефицит одной аминокислоты приведет к ограничению использования остальных аминокислот и протеина в целом.

Суть модели «бочки Либиха» (лимитирующий фактор — высота доски) заключается в том, что при наполнении вода выливается из нее в том месте, где доска самая короткая. Это означает, что степень использования всего обменного протеина обусловлена уровнем самой дефицитной аминокислоты, причем более высокое содержание других аминокислот уже не имеет значения (эффективность использования протеина не повышается без дополнительного ввода самой дефицитной аминокислоты до необходимого предела).

Доказано, что в рационах для коров первая критическая аминокислота, то есть наиболее дефицитная из всех незаменимых, — метионин, а вторая — лизин. Повышение степени соответствия содержания в обменном протеине каждой из незаменимых аминокислот (прежде всего, метионина и лизина) по отношению к их фактическому содержанию в молочном белке неизбежно ускоряет его синтез в организме коровы. В результате увеличивается удой на фоне снижения затрат сырого протеина рациона на 1 кг получаемого молока. Вот почему в кормосмеси для коров с суточным удоем более 30 кг важно включать защищенные от распада в рубце лизин и метионин (они не перевариваются рубцовой микрофлорой, а всасываются непосредственно в кровь из кишечника).

Общеизвестно, что корма животного происхождения характеризуются высоким качеством не расщепляемого в рубце протеина (оптимальный состав незаменимых аминокислот), а значит, их переваримость в кишечнике достигает максимальных значений (95–100%). Однако использование кормов животного происхождения в кормлении коров весьма ограниченно.

Подавляющее большинство растительных источников не расщепляемого в рубце протеина характеризуется низким его качеством по сравнению с качеством микробного протеина (для жвачных животных он является гораздо более полноценным). При этом практически все растительные корма дефицитны по метионину. В рационах для высокопродуктивных коров часто недостает и лизина, особенно тогда, когда в них вводят в повышенных количествах послеспиртовую барду, пивную дробину или кукурузный глютен. Даже в традиционно используемых высокопротеиновых добавках (шроты) метионина и лизина намного меньше, чем в микробном протеине **(табл. 4)**.

Среди европейских стран Франция была первой, где стали нормировать потребность крупного рогатого скота в критических аминокислотах. Показатели, характеризующие суточную потребность дойных коров в обменном протеине, метионине и лизине, представлены в **таблице 5**.

Значимость обеспеченности коров отдельными критическими аминокислотами трудно переоценить. Например, метионин — единственная аминокислота, с которой начинается синтез любого белка. Нехватка метионина может негативно повлиять почти на все метаболические процессы, протекающие в организме (синтез молочного протеина, гормонов, рост плода и т. д.).

Метионин содержит мобильную метильную группу ($-CH_3$), которая в результате обмена веществ переносится на ряд субстратов. Метильная группа участвует в образовании холина и фосфолипидов, а также в обмене витаминов B_{12} и B_9. Метионин в активной форме обладает детоксицирующими свойствами и оказывает гепатопротекторное действие. Эффективность этой аминокислоты подтверждена при профилактике и лечении различных заболеваний печени.

Метионин также применяют с целью стимулирования потребления корма или для нормализации жирового обмена в организме жвачных животных.

При правильном использовании метионина можно снизить концентрацию сырого протеина в кормосмесях для высокопродуктивных коров, сохранить уровень суточного удоя и в большинстве случаев повысить содержание белка в молоке. Метионин играет важную роль в регуляции других физиологических процессов. Он служит эссенциальным предшественником таурина и глутатиона — основных антиоксидантов в организме животного. Метионин участвует в выведении жиров из печени и в их окислении. В этом многообразии физиологических функций как раз и заключается положительное влияние защищенного метионина на здоровье коров, особенно в послеотельный период. При вводе защищенного метионина в рацион в получаемом молоке увеличивается содержание жира и уменьшается количество соматических клеток.

Таблица 4

Содержание лизина и метионина в белке, % от сырого протеина

Образец	Аминокислота		Соотношение лизина и метионина
	лизин	метионин	
Мышечная ткань*	6,4	2,2	2,9
Молоко	7,6	2,7	2,8
Рубцовая микрофлора*	7,9	2,6	3
Шрот**:			
соевый	6,1	1,4	4,4
рапсовый	5,5	2	2,8
подсолнечный	3,5	2,3	1,5
Пивная дробина**	3,1	1,5	2,1
Кукурузный глютен**	1,7	2,4	0,7

** Данные исследований O'Connor (1993).*
*** Данные с сайта https://feedipedia.org.*

Таблица 5

Потребность лактирующих коров в обменном протеине, метионине и лизине

Удой в пересчете на молоко 4%-й жирности, кг/сут.	Потребность, г/день		
	Обменный протеин	Аминокислота	
		обменный лизин	обменный метионин
Коровы живой массой 600 кг			
—	395	28	9
10	875	61	19
15	1115	78	25
20	1355	95	30
25	1595	112	35
30	1835	129	40
35	2075	145	46
40	2315	162	51
45	2555	179	56
Коровы живой массой 650 кг			
—	420	29	9
10	900	63	20
15	1140	80	25
20	1380	97	30
25	1620	113	36
30	1860	130	41
35	2100	147	46
40	2340	164	52
45	2580	181	57

Данные многочисленных исследований показывают, что при добавлении в кормосмесь защищенного от распада в рубце метионина нормализуется воспроизводительная способность коров, поскольку в их организме эффективнее используется азот корма, стабилизируется течение беременности и качество потомства улучшается.

Таким образом доказано: если продуктивность лактирующих коров превышает 30 кг в сутки, целесообразно применять защищенные критические аминокислоты метионин и лизин и тем самым оптимизировать качественный аминокислотный состав не расщепляемого в рубце протеина (он становится идентичным микробному протеину). При этом в рационе не регистрируют избытка других аминокислот (организму высокопродуктивного животного обычно приходится утилизировать избыток аминокислот из-за недостаточного уровня критических аминокислот в обменном протеине). Причина заключается в том, что расщепление «лишних» аминокислот происходит преимущественно в печени, а конечный продукт расщепления избыточного количества аминокислот (аммиак) превращается в мочевину.

Следует учитывать, что избыток несбалансированного по аминокислотному составу не расщепляемого в рубце протеина может привести к таким же отрицательным последствиям (увеличение нагрузки на печень, дополнительные затраты энергии, ухудшение здоровья и воспроизводительной способности коров), как и излишек расщепляемого в рубце протеина (*Глухов Д.*, 2020).

При потреблении стандартных кормосмесей на основе растительных кормов в организме высокопродуктивных животных очень часто возникает дефицит метионина и лизина, а значит, именно эти две аминокислоты будут лимитировать использование обменного протеина при синтезе молока. Фиксированных норм ввода защищенных метионина и лизина не существует, их количество в каждом конкретном рационе рассчитывают индивидуально с учетом особенностей животного и состава рациона. Например, в кормосмеси с большим количеством соевого шрота (содержание метионина в нем почти в два раза ниже, чем в белке молока) необходимо дополнительно включать метионин, а при использовании кукурузного глютена (количество лизина в нем в 4,5 раза ниже, чем в белке молока) — лизин (см. табл. 4).

Создание оптимальных условий в рубце коров за счет синхронного поступления в него идентичных по скорости расщепления фракций протеина и углеводов способствует эффективному синтезу полноценного микробного протеина и повышению удоя. По мере роста суточного удоя требования к качеству не расщепляемого в рубце протеина неизбежно возрастают, а значит, оптимизация протеинового питания высокопродуктивных коров заключается в получении необходимого количества обменного протеина, характеризующегося высококачественным аминокислотным профилем, при минимально возможном количестве исходного сырого протеина в рационе. ЖР

Республика Беларусь