

Клетчатка

В рационах жвачных

Олег ГАНУЩЕНКО, кандидат сельскохозяйственных наук
ВГАВМ

DOI: 10.25701/ZZR.2019.72.82.010

Клетчатка играет особую роль в рубцовом пищеварении жвачных. От обеспеченности коров этим углеводом зависит их здоровье, продуктивность и качество молока. Поэтому необходимо тщательно балансировать рационы по содержанию клетчатки, а значит, правильно рассчитывать ее оптимальный уровень в кормосмеси.

Сырая клетчатка

Основу сухого вещества рационов для молочного скота составляют углеводы (около 70%), главным структурным компонентом которых является клетчатка. При зоотехническом анализе кормов по традиционной схеме выделяют две фракции углеводов: структурные углеводы (сырая клетчатка) и неструктурные (безазотистые экстрактивные вещества, БЕВ).

Схема зоотехнического анализа кормов представлена на рисунке 1.

Сырая клетчатка — сложный комплекс химически связанных между собой веществ в составе оболочек растительных клеток, придающих корму жесткость, то есть обеспечивающих его структуру. Эта часть корма, которая остается после кипячения навески корма в 1,25%-м растворе кислоты и 1,25%-м растворе щелочи и последующего промывания водой,

спиртом и эфиром. В состав сырой клетчатки входят следующие вещества:

- целлюлоза (истинная клетчатка) — гомополисахарид с высокой степенью полимеризации (6000–12000), включающий остатки молекул глюкозы;
- гемицеллюлозы — гетерополисахариды с невысокой степенью полимеризации, включающие остатки молекул пентоз и гексоз;
- обволакивающие целлюлозу инкрустирующие вещества (главным образом лигнин).

Все эти вещества создают прочную структуру клеточных стенок растений, поэтому их называют структурными углеводами.

По мере развития растений в стенках их клеток накапливается целлюлоза. Она пропитывается лигнином, в результате чего стенки утолщаются и одревесневают.

Поскольку в процессе вегетации растительный лигнин все больше химически связывается с целлюлозой, переваримость и питательность органического вещества существенно снижаются (рис. 2).

Гемицеллюлозы представлены гетерополисахаридами — ксилогликанами, арабиноксиланами, глюкоманнанами, галактоглюкоманнанами и т.д. Гемицеллюлозы выполняют в клеточных стенках в основном конструктивные функции (инкрустируют целлюлозу).

Лигнин — соединение, не относящееся к углеводам, но тесно связанное с ними. На долю лигнина приходится 2–14,5% от общего объема сырой клетчатки. По химической природе лигнин относится к ароматическим соединениям — полифенолам. Большое количество неиспользованных функциональных групп в сетке лигнина делает его мобильным: с целлюлозой он образует сложноеэфирные и простые эфирные связи — фенилгликозидные, внутримолекулярные, водородные и аце-

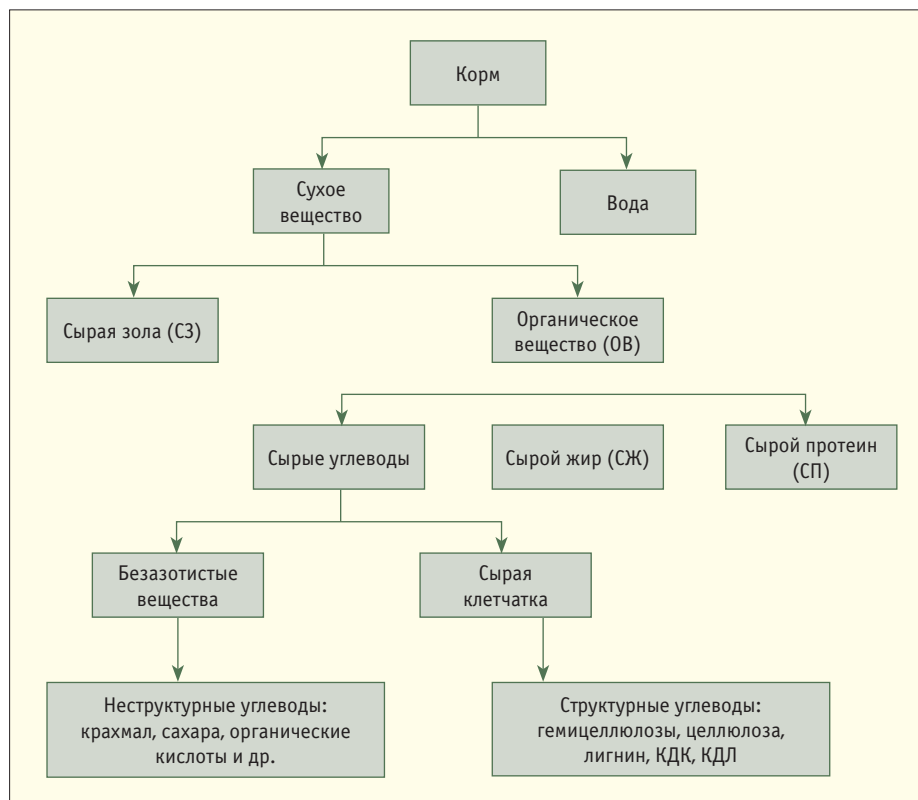


Рис. 1. Зоотехнический анализ кормов

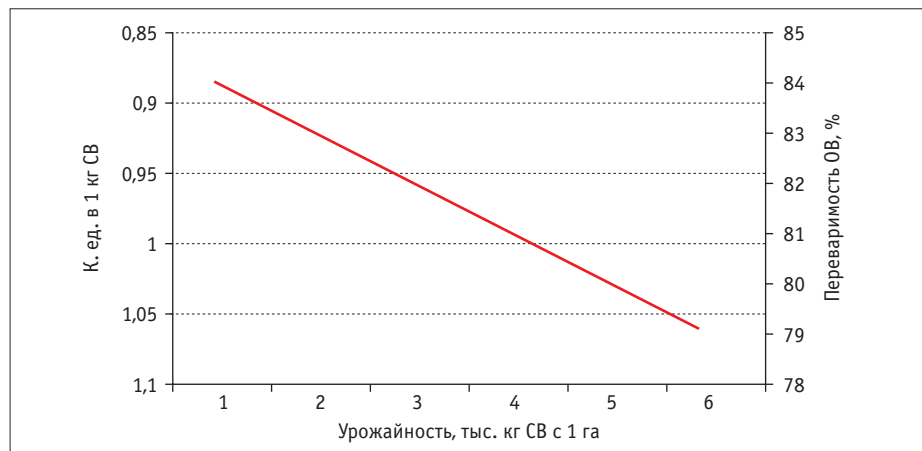


Рис. 2. Переваримость органического вещества, энергетическая питательность сухого вещества и урожайность растений по мере их старения

Таблица 1

Эффективность использования углеводов, содержащихся в растительных клеточных стенках (Dirk van Kessel, 2006)

Компонент стенки клеток	Эффективность использования в рубце
Пектин	+++
Гемицеллюлозы	++
Целлюлоза	+
Лигнин	—

тальные. По мере старения растений число этих связей неизбежно возрастает, а значит, переваримость и питательность сухого вещества снижается (см. рис. 2).

Пектин (пектиновые вещества) — полисахарид, состоящий главным образом из остатков альфа-D-галактуроновой кислоты. Пектин присутствует в клеточной стенке и в межклеточном веществе некоторых зрелых фруктов и овощей. В естественных кормах он содержится обычно в небольшом количестве, а в продуктах переработки (свекловичном жоме, соевом шроте) и некоторых видах многолетних бобовых трав — в значительном.

Несмотря на то что пектин входит в состав клеточной стенки и межклеточного вещества (склеивает клетки), его не относят к сырой клетчатке и структурным углеводам, так как он полностью удаляется из фракции сырой клетчатки. Скорость расщепления и эффективность использования пектина в рубце очень высокие (табл. 1).

Под действием растворов кислоты, щелочи, эфира и спирта (метод определения содержания сырой клетчатки по Геннебергу и Штоману) значительная часть гемицеллюлоз, не связанная химически целлюлоза, а также свободный лигнин

клеточной стенки растворяются, фильтруются и учитываются как БЭВ. Растворы кислоты и щелочи могут удалять из фракции сырой клетчатки до 60% целлюлозы, около 80% гемицеллюлоз и 10–95% лигнина (Рядчиков В.Г., 2012). Поэтому истинное содержание БЭВ завышается, а доля структурных углеводов занижается.

В соломе содержится 40–45% сырой клетчатки, в сене — 30–35%, а в зерне и корнеклубнеплодах — 0,4–2%. Чем больше клетчатки, тем ниже питательность корма (например, питательность соломы — 0,2–0,3 к. ед). В кормах животного происхождения клетчатки нет.

В молодых злаковых и бобовых травах на долю сырой клетчатки приходится 14–16% от общего количества сухого вещества, а после цветения трав ее уровень возрастает до 34–35%. Вот почему очень важно заготавливать травяные корма в оптимальные сроки вегетации растений: многолетние злаковые травы — в фазу трубкования, бобовые — в фазу бутонизации.

Соотношение между компонентами структурных углеводов, так же как сумма крахмала и сахаров, заметно варьирует в зависимости от вида корма (рис. 3).

Наиболее эффективно переваривают клетчатку жвачные. При потреблении объемистых кормов у них оптимизируется пищеварение, нормализуется перистальтика преджелудков, повышается выделение слюны, активизируется работа пищеварительных желез и улучшается формирование каловых масс.

Для коров клетчатка служит источником энергии. Под воздействием ферментов целлюбиазы и целлюлазы, вырабатываемых микрофлорой рубца, клетчатка расщепляется до моносахаридов. При дальнейшем их сбраживании образуются

летучие жирные кислоты — уксусная, масляная и пропионовая (около 70% от потребности животного). При этом доля уксусной кислоты, необходимой для синтеза жира молока, составляет 65–70% от общего количества кислот. Кроме того, клетчатка играет роль протектора, связывая токсины, тяжелые металлы и радионуклиды.

Недостаток сырой клетчатки

При дефиците сырой клетчатки в рационах (концентрация 16–18% и ниже, общее содержание — 2,4 кг и меньше) у коров возникает расстройство преджелудочного пищеварения, ухудшается продуктивность и качество молока (падает его жирность). У животных развивается лактатный ацидоз и комплекс сопутствующих патологий — ламинит, абсцесс печени и т.д., а кроме того, снижается воспроизводительная способность.

При скармливании жвачным кормов, бедных клетчаткой, у них резко уменьшается выработка слюны. Известно, что слюна обладает щелочными свойствами (рН 8–8,3). Вследствие закисления рубцовой жидкости при нехватке слюны угнетается жизнедеятельность «капризной» полезной микрофлоры, расщепляющей клетчатку, а значит, ухудшается образование уксусной кислоты. По этой причине резко снижается жирность молока.

Снижение жирности молока (до 2,9–2,8%) наиболее часто происходит при резком переводе коров со стойлового содержания на пастбищное, когда богатые клетчаткой грубые корма заменяют молодой травой с низким уровнем сырой клетчатки в СВ.

Избыток сырой клетчатки

При избытке сырой клетчатки уменьшается концентрация энергии в СВ корма, ухудшается его переваримость, что ведет к спаду молочной продуктивности. По данным исследований, при увеличении содержания сырой клетчатки в СВ объемистых кормов на 1% переваримость органического вещества рациона снижается в среднем на 0,9%, а потребление сухого вещества — на 0,33 кг.

Основная причина избытка сырой клетчатки в рационах для коров — заготовка кормов (силоса, сенажа и сена) из перестоявших трав, убранных в фазу цветения и позже (табл. 2).

Для определения переваримости корма (с учетом содержания сырой клетчатки в сухом веществе) в организме жвачных и моногастрических животных немецкие

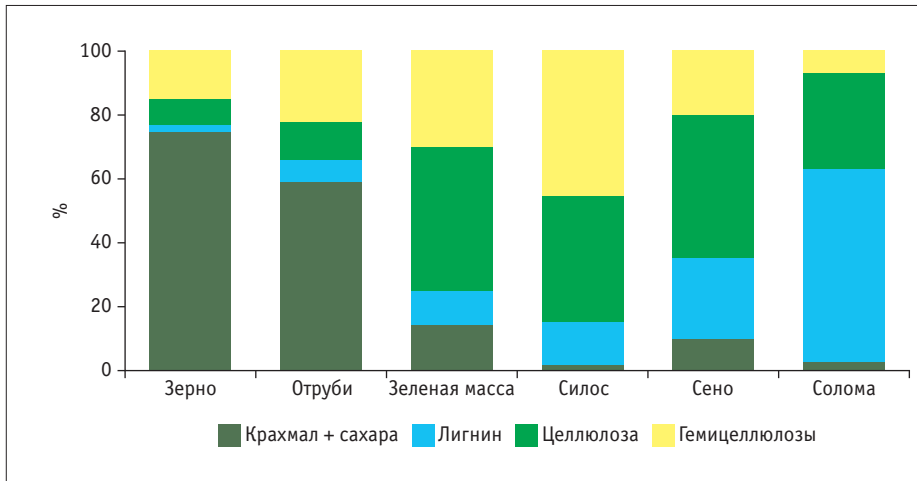


Рис. 3. Фактический состав углеводов в разных видах корма

Таблица 2
Переваримость зеленой массы многолетних злаковых трав в зависимости от фазы вегетации (М. Кирхгеснер, 2004)

Фаза вегетации	Содержание сырой клетчатки в СВ, %	Переваримость органического вещества, %
Выход в трубку	22,8	75
До цветения	28,4	69
Цветение	32,8	64
После цветения	36,3	60
Полная спелость	36,4	61
После образования семян	40,7	54

ученые разработали уравнения регрессии (табл. 3).

При переваримости основного корма на уровне 65% от коровы можно получить около 8 кг молока в сутки. Если переваримость составляет 70 или 75%, среднесуточная продуктивность животных достигает соответственно 15 или 22 кг молока.

Оптимальная концентрация сырой клетчатки в рационах для коров средней продуктивности должна варьировать от 22 до 24% от общего количества СВ, а в кормосмесях для высокопродуктивных животных — от 16 до 20%. Установлено, что превышение в рационах для высокоудойных коров уровня сырой клетчатки всего на 1% сверх порогового значения 22% равнозначно потере 1 кг молока в сутки.

Система детергентного анализа

Безазотистые экстрактивные вещества — это хорошо усвояемые, легкодоступные питательные компоненты (быстроращепляемые углеводы — сахара, крахмал, инулин, фруктозаны и др.), являющиеся быстрым поставщиком энергии для микроорганизмов преджелудков жвачных. БЭВ содержатся в растительных клетках (например, в плазме) и представляют собой неструктурную часть углеводов.

В 1963 г. Питер Ван Соест (США) предложил новую систему детергентного анализа, позволяющую достаточно точно определять уровень как структурных, так и неструктурных углеводов в корме. Согласно концепции детергентной клетчатки, все структурные углеводы стенок растительных клеток кормов (целлюлозу, гемицеллюлозы, а также лигнин) относят к фракции нейтрально-детергентной клетчатки (НДК), часть НДК за вычетом легко перевариваемой в рубце гемицеллюлозы — трудноперевариваемые структурные углеводы (целлюлозу и лигнин) — к фракции кислотно-детергентной клетчатки (КДК), крахмал, сахара, а также другие хорошо усвояемые, легкодоступные питательные элементы — к фракции быстроращепляемых неструктурных углеводов.

Уровень НДК обратно пропорционален уровню потребления сухого вещества корма, а концентрация КДК — уровню его переваримости.

Нейтрально-детергентная клетчатка

НДК — это остаток (целлюлоза, гемицеллюлозы и лигнин) после обработки (экстракции) навески корма кипящим нейтральным раствором детергентов —

Таблица 3
Усвояемость корма в организме животных в зависимости от содержания сырой клетчатки (СК) в СВ рациона

Вид животных	Уравнение регрессии
Жвачные	ПОМ = = 87,6 - (0,81 × СК)
Лошади	ПОМ = = 97 - (1,26 × СК)
Свиньи	ПОМ = = 92,2 - (1,68 × СК)
Птица	ПОМ = = 88,1 - (2,33 × СК)

Примечание. ПОМ — переваримость органической массы, %.

натрия лаурилсульфата и этилендиаминотетрауксусной кислоты. После обработки корма из него удаляются хорошо усвояемые вещества — протеин, легко растворимые сахара, крахмал, жиры, пектины и органические кислоты. При зоотехническом анализе зерновых кормов из них предварительно удаляют крахмал при помощи амилазы. Обычно концентрация НДК в кормах примерно в два раза превышает количество сырой клетчатки в сухом веществе рациона (Рядчиков В.Г., 2012).

Переваримость НДК обусловлена ее химическим составом, то есть соотношением целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Поэтому корма с одинаковым содержанием НДК не всегда характеризуются одинаковой энергетической ценностью. К тому же некоторые виды кормов или рационов с высокой концентрацией НДК могут характеризоваться более высокой энергетической ценностью, чем корма и рационы с низким уровнем НДК.

Чем меньше содержание НДК в корме, тем лучше его поедаемость. Потребление коровами сухого вещества рациона рассчитывают по уравнению регрессии:

$$ПСВ = (120 : НДК) \times ЖМ,$$

где ПСВ — потребление сухого вещества, кг на голову в сутки; ЖМ — живая масса, ц.

Избыток НДК отрицательно сказывается на потреблении СВ корма, но этот показатель не снизится, если рацион будет сбалансирован по обменной энергии в СВ (например, путем использования высокоэнергетических кормовых добавок).

Благодаря оптимизации количества НДК в рационах улучшается здоровье коров за счет поддержания на нормальном уровне рН рубца, обеспечения необходи-

мой его моторики и достаточного выделения обладающей щелочными свойствами слюны. Отмечено, что в соломе и сене концентрация НДК в СВ максимальная, в сенаже, силлаже, силосе и траве — средняя, в концентратах и корнеклубнеплодах — низкая.

Кислотно-детергентная клетчатка

КДК — это остаток после многократной промывки навески НДК кислотно-детергентным раствором слабой серной кислоты и цетилтриметиламмония бромида. В результате из НДК удаляются гемицеллюлозы и остаются два основных компонента — целлюлоза и лигнин.

Чем ниже концентрация КДК в СВ, тем выше переваримость корма в рубце. Усвояемость СВ корма в рубце (УСВ, %), количество усвоенного СВ корма в рубце (КУСВ, кг на голову в сутки), а также содержание гемицеллюлоз (ГЦ, %) и целлюлозы (Ц, %) рассчитывают по формулам:

$$УСВ = 88,9 - (КДК \times 0,779);$$

$$КУСВ = (ПСВ \times УСВ) : 100;$$

$$ГЦ = НДК - КДК;$$

$$Ц = КДК - \text{лигнин}.$$

В НДК и в КДК содержится незначительное количество прочно связанного с клеточными стенками растений непереваримого азота. Он не отделяется ни нейтральным, ни кислотным растворителем.

Ученые ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса провели исследования, в ходе которых определили динамику изменения содержания и переваримости разных детергентных фракций КДК, НДК и даже кислотно-детергентного лигнина в зеле-

ной массе злаковых трав. Результаты эксперимента показали, что в растениях по мере их роста и развития уровень КДК и НДК коррелирует с концентрацией сырой клетчатки ($r = 0,9$) и питательностью корма ($r = -0,9$). Так, содержание НДК увеличивается с 49,1% в фазу выхода в трубку до 65,08% в фазу цветения при средней переваримости корма соответственно 73,2 и 60,7%. Величина КДК возросла с 28,05% в фазу выхода в трубку до 38,02% в фазу цветения при переваримости корма 62,6 и 54,2%.

Российские специалисты установили, что между содержанием НДК и КДК существует тесная корреляция, и на основе лабораторных данных по содержанию НДК разработали уравнения регрессии для расчета уровня КДК в кукурузном силосе ($КДК = -1,15 + 0,62 \text{ НДК}$), в сене и зеленой массе злаковых трав ($КДК = 6,89 + 0,5 \text{ НДК}$), а также в сене и сенаже из бобовых трав ($КДК = -0,73 + 0,82 \text{ НДК}$).

Неструктурные углеводы (НСУ)

В модифицированной (детергентной, усовершенствованной) схеме зоотехнического анализа кормов неструктурные углеводы — это расчетный показатель, который определяют в СВ кормов по формулам:

$$НСУ \text{ в СВ} = 100 - (СП + СЖ + СЗ + НДК),$$

где полученный результат выражается в %;

$$НСУ \text{ в СВ} = 1000 - (СП + СЖ + СЗ + НДК),$$

где полученный результат выражается в г на 1 кг СВ.

В фракцию неструктурных углеводов переходят вымываемые при экстракции образцов корма нейтральным детергент-

ном (растворителем) вещества — крахмал, сахара, пектин и органические кислоты (в основном летучие жирные кислоты).

По специальным методикам определяют количество важнейших составляющих НСУ — крахмала, сахара и других веществ, с различной скоростью сбраживающихся в рубце с образованием летучих жирных кислот.

Следует учитывать то, что максимально быстро ферментируются сахара, а стабильный крахмал практически не расщепляется в рубце и эффективно переваривается в кишечнике жвачных животных. Оптимизация рационов по содержанию в них неструктурных углеводов позволит предотвратить развитие у коров ацидоза и других метаболических заболеваний.

Крахмал накапливается в основном в зернах (семенах), клубнях и плодах. Его концентрация в СВ варьирует от 60 до 70%. Много сахара содержится в сахарной свекле (20–22%), в СВ зеленой травы (15–18%) и различных видов сена (6–8%). В качестве специальной кормовой добавки в рационы жвачных вводят кормовую патоку, в 1 кг которой содержится 540–545 г сахара.

Показатель «НСУ» существенно ниже традиционного показателя «БЭВ», а значит, он лучше отражает состав фракции неструктурных углеводов. Их концентрация в корме зависит от вида растительного сырья и способов его переработки.

Различия между кормами обусловлены содержанием в них крахмала, сахаров, пектина и жирных кислот. Например, в соответствии с нормами кормления, применяемыми в США (NRC, 2001), максимальный уровень НСУ в рационах для дойных и сухостойных коров должен составлять соответственно 36–44 и 20–35% от общего количества СВ.

ЖР

Республика Беларусь

