

# Фосфорное питание жвачных

Николай РАЗУМОВСКИЙ, кандидат биологических наук  
УО ВГАВМ

DOI: 10.25701/ZZR.2023.02.02.007

**Фосфор (в переводе с греческого «несущий свет») – один из главных анионов в организме животных. В природе фосфор автономно не встречается, поскольку характеризуется высокой химической активностью. В организме крупного рогатого скота примерно 85% этого элемента находится в костях и зубах, 15% – в различных тканях и биологических жидкостях. Коровы получают фосфор с кормом. Значит, необходимо правильно балансировать рационы по минералам.**

**Ф**осфор входит в состав АТФ (аденозинтрифосфат, органическое соединение и гидротроп, который обеспечивает энергией многие процессы, протекающие в живых клетках: сокращение мышц, распространение нервных импульсов, растворение конденсата и химический синтез), фосфолипидов мембран, нуклеиновых кислот и нуклеотидов. Он образует фосфатную буферную систему крови и мочи, служит основным фактором ковалентной регуляции активности ферментов. В организме коров фосфор присутствует в виде фосфатов, в крови – в виде неорганических соединений. Этот минерал играет важную роль в синтезе клеточных мембран, участвует в энергетическом обмене, формировании костной ткани, поддерживает кислотно-щелочное равновесие.

Фосфор необходим рубцовым микроорганизмам для переваривания клетчатки и синтеза микробного протеина. Переваривание и усвоение питательных веществ кормов животными происходит благодаря фосфору, который обеспечивает образование фосфорилированных продуктов обмена в пищеварительном тракте. Соли фосфорной кислоты ускоряют всасывание аминокислот в кишечнике.

Если в кормах мало фосфора, рубцовые микроорганизмы не могут нормально функционировать. Это обусловлено тем, что для синтеза микробиального белка, помимо азота, нужны три основных компонента – фосфор, сера и глю-

коза. Фосфор способствует усилиению резистентности коров и повышению их стрессоустойчивости. Макроэлемент влияет на всасывание, транспортировку и обмен органических и питательных веществ, а также на ростовые процессы, протекающие в организме молодых животных. Фосфор помогает поддерживать положительный энергетический баланс в организме жвачных.

Если излишки фосфора выделяются в окружающую среду, существует риск возникновения экологической катастрофы. Правильное скармливание крупному рогатому скоту добавок, содержащих фосфор, позволяет минимизировать выделение этого элемента с калом, предотвращая загрязнение почвы и водоемов.

В организме скота гомеостаз фосфора поддерживается преимущественно за счет слюны (в ней концентрация фосфора в 5–6 раз выше, чем в плазме крови). Данные исследований свидетельствуют о том, что со слюной из организма коров ежесуточно выделяется 40–90 г фосфора. Почти весь содержащийся в слюне фосфор – неорганический, его секреция регулируется парашитовидной железой. Такой макроэлемент всасывается в кровь из тонкой кишки более эффективно, чем фосфор, поступающий с кормовыми средствами. В норме в плазме крови телят концентрация фосфора составляет 6–8 мг%, взрослых животных – 4–6 мг%. В предоточный период (за 10–15 дней до предполагаемого отела)

в организме коровы кальциевый гомеостаз поддерживается за счет эндокринного регулирования. Процесс заключается в следующем: десять ионов кальция мобилизуются из костной ткани, в то же время освобождаются шесть ионов фосфата, которые также поступают в кровь, благодаря чему в ней увеличивается концентрация фосфора.

Уровень фосфора, необходимого для обеспечения жизни сухостойных и лактирующих коров, должен составлять примерно 1 г на 1 кг СВ рациона. Небольшое количество эндогенного фосфора неизбежно выделяется с мочой. Поэтому в кормосмесь дополнительно включают фосфор (0,002 г на 1 кг живой массы). В период стельности потребность коров в фосфоре снижается. При балансировании рационов этот показатель, часто не учитывают.

В период лактации потребность в фосфоре (он участвует в синтезе молока) рассчитывают по формуле:

$$\begin{aligned} \text{Потребность в фосфоре} = \\ = \text{суточный убой} \text{ (в килограммах)} \times \\ \times \text{содержание фосфора в молоке} \\ \text{(в процентах).} \end{aligned}$$

В молоке концентрация фосфора варьирует от 0,083 до 0,1%. Скармливание коровам кормосмесей, в СВ которых содержится 0,36–0,42% этого минерала, в течение первых восьми недель лактации позволяет поддерживать продуктивность на максимальном уровне. При увеличении в рационе доли фосфора выше 0,42% в пересчете на СВ положительного эффекта, как правило, не получают.

Для обеспечения оптимального среднесуточного прироста живой массы телок в возрасте от 3 до 18 месяцев, повышения прочности их костей и нормализации концентрации фосфора в крови содержание этого макроэлемен-

та в СВ кормосмеси должно составлять 0,3–0,34%. Усвояемость фосфора в организме крупного рогатого скота зависит от вида кормового средства, возраста животных, их физиологического состояния, от сбалансированности рационов и от других факторов. Например, в организме телят, потребляющих цельное молоко или его заменители, фосфор усваивается на 90%, в организме молодняка живой массой 100–200 кг со сформировавшимся рубцом — на 78%.

Путем использования метода радиоактивных изотопов (меченых атомов) было установлено, что в организме лактирующих коров усвояемость фосфора растительных кормов не превышает 50%. Фосфор, входящий в состав минеральных добавок, усваивается лучше. Например, коэффициент усвояемости дикальцийфосфата и мононатрийфосфата (эти добавки включают в рационы для крупного рогатого скота в качестве источника фосфора) достигает 90%.

На усвояемость фосфора, получаемого с кормом, влияют разные факторы. Так, активность фитазы зависит от pH содержимого рубца: при концентратном типе кормления pH снижается и активность фитазы ослабевает. Концентрация и усвояемость фосфора в организме во многом определяются функцией щитовидной железы, расположенных возле нее парашитовидных желез и работой почек. Щитовидная железа синтезирует гормон кальцитонин, парашитовидные железы вырабатывают паратормон. Вместе они оказывают гипофосфатемическое действие.

В метаболизме соединений фосфора ведущую роль играет витамин D (он способствует усвоению этого макроэлемента). Одно из важных условий улучшения усвояемости фосфора — его взаимосвязь с кальцием. При чрезмерном поступлении в организм железа, алюминия и магния эффективность усвояемости фосфора существенно снижается. Следует учитывать, что при его избытке ухудшается усвояемость магния.

В организме степень усвояемости фосфора регулируется путем взаимодействия паратиреоидного гормона и витамина D. Такой тандем обеспечивает всасывание минерала в кишечнике, транспорт макроэлемента из костной ткани и его переработку в почках.

Метаболизм фосфора может нарушаться вследствие патологических процессов, протекающих в парашитовидных железах, костях и почках.

Дефицит фосфора в рационе служит причиной выведения кальция из костной ткани и угнетения половой функции животных. При постоянной нехватке фосфора существенно снижается результативность осеменения, у нестельных коров со здоровыми яичниками нарушается половой цикл. На оплодотворяемости недостаток фосфора оказывается быстрее, чем происходит уменьшение его уровня в крови.

При потреблении кормосмесей с низким содержанием фосфора лактирующие коровы становятся вялыми, мало двигаются и большую часть суток проводят в положении лежа. В молоке сокращается массовая доля белка из-за снижения активности рубцовой микрофлоры. В организме замедляются процессы трансформации каротина в витамин A, в крови уменьшается уровень глюкозы. Животные сильно худеют, у них диагностируют такие патологии, как жировое перерождение клеток печени, воспаление матки и смещение сычуга. У коров часто рождаются слабые телята, некоторые из них гибнут в первые дни жизни.

У животных, потребляющих бедную фосфором кормосмесь, грубеет шерсть, утолщаются суставы, из ноздрей выделяется прозрачный тягучий субстрат. Если рационы не сбалансированы по фосфору, у коров матка гипотонична, яичники плохо вырабатывают гормоны, охота практически отсутствует, отмечается ациклия, развивается мастит, в стаде растет процент яловости, бесплодия, аборта, а также чаще рождается нежизнеспособное потомство.

Недостаток фосфора в рационах животных восполняют за счет внутренних резервов (мобилизуют макроэлемент из печени и костной ткани). Чем меньше усвояемого фосфора поступает с кормом, тем больше его расходуется из депо организма. Это приводит к изменению структуры костяка, рассасыванию хвостовых позвонков и ребер, заболеванию конечностей. Степень усвояемости фосфора зависит от соотношения этого минерала и кальция в рационе. В норме показатель должен составлять 1,6–2 : 1, причем учитывать нужно количество не общего, а доступного фосфора.

Тolerантность к длительному дефициту фосфора и кальция у жвачных животных гораздо выше, чем у моногастрических. Это связано с тем, что в организме скота более динамично протекает обмен фосфора в пищеварительном тракте, кровеносной системе и костной ткани. Эти процессы взаимосвязаны. При острой нехватке фосфора в рационе в крови коров увеличивается концентрация неорганического фосфора. Чрезмерное его выведение с мочой происходит при ацидозе, гиперпаратиреозе и катаболических процессах.

Ученые ВИЖ им. Л.К. Эрнста изучили особенности минерального обмена в организме коров. Данные исследований показали, что в первые 100 дней лактации повышение в рационах доли фосфора на 15–20% способствует нормализации минерального обмена, увеличению продуктивности животных и улучшению показателей воспроизводства. Также было установлено, что при обогащении дефицитных по фосфору кормосмесей кормовыми фосфатами удои повышались на 5–10%, а в молоке увеличивалось содержание СВ, белка и жира.

При избытке фосфора нарушается обмен кальция (по этой причине возникают резорбция костяка и другие патологии). Как следствие, растет концентрация фосфора в крови. Очень часто у скота развивается токсикоз, вызванный потреблением кормов с высоким содержанием фосфора на фоне недостатка в рационе кальция. Принято считать, что жвачные животные, в отличие от моногастрических, могут потреблять кормосмеси, в которых соотношение кальция и фосфора варьирует в широком диапазоне. Признаки отравления фосфором — расстройство пищеварения и диарея.

В растительных кормах, таких как пастбищные травы, сено, силос и сенаж (их доля в рационах для коров значительна), регистрируют дефицит фосфора даже тогда, когда в почву регулярно вносят фосфаты. В дальнейшем ситуация осложняется тем, что в организме животных из объемистых кормов усваивается только 50% фосфора.

Доступность фосфора и других питательных веществ снижается по мере созревания растений и увеличения отложения в них лигнина. Уровень фосфора в кормовых культурах зависит не только от условий выращивания, но и

от погоды. Так, в сырье, полученном в период, когда осадки были обильными, содержание фосфора оказывалось минимальным.

Фосфор играет важную роль в процессах жизнедеятельности растений. Этот макроэлемент — обязательная составляющая живой клетки. Минерал содержится в нуклеиновых кислотах, которые участвуют в синтезе белков и передаче наследуемых хозяйствственно полезных признаков. В свою очередь нуклеиновые кислоты образуют в растительных организмах комплексы с белками, так называемые нуклеопротеиды, необходимые для формирования клеточных ядер.

Кроме того, фосфор содержится в веществах, определяющих направление и скорость биохимических процессов, протекающих в растениях (выработка гормонов, ферментов и витаминов). Особенна велика роль фосфора в дыхании растений и синтезе в них углеводов — крахмала и сахаров. Фосфор входит в состав других органических соединений — фосфатидов, фитина, сахарофосфатов и т. д. Фосфатиды (вещества, по химическим свойствам сходные с жирами, но отличающиеся от них наличием фосфора и азота) участвуют в процессах поступления питательных веществ и их метаболизме в клетках растений. Больше всего фосфатидов находится в зародышах семян.

При достаточном количестве фосфора в почве растения экономно расходуют влагу, легче переносят засуху, становятся морозоустойчивыми и зимостойкими. При правильном внесении фосфорных удобрений на поля в кормовых культурах интенсивнее протекает углеводный обмен, что способствует повышению сахаристости свеклы и крахмалистости картофеля, увеличению содержания сахаров в узлах кущения озимых культур и тканях многолетних трав, усилиению устойчивости хлебных злаков к полеганию и различным болезням.

Недостаток фосфора в почве служит причиной замедления роста и развития растений, снижения интенсивности синтеза белка и сахаров, формирования мелких и узких листьев, задержки цветения и созревания плодов. Между азотным и фосфорным питанием растений существует тесная взаимосвязь: при внесении в почву большого количества азотных удобрений на фоне де-

фицита в ней фосфора увеличивается содержание нитратов в выращиваемых культурах. К нехватке фосфора наиболее чувствительны молодые растения, поскольку их корневая система слабо развита, а значит, не обладает достаточной поглощающей способностью.

Дефицит фосфора, который растения испытывают в начале вегетации, в последующем не восполняется даже когда фосфорное питание нормализуется. Максимальное поглощение фосфора из почвы происходит в период интенсивного роста вегетативной массы. Избыток фосфора служит причиной раннего созревания и преждевременного плодоношения, вследствие чего урожайность культур существенно снижается.

Неорганические соединения фосфора присутствуют в стеблях, листьях, цветках, корнях и семенах. Концентрация в них неорганических фосфатов может сильно варьировать в зависимости от степени обеспеченности растений фосфором и от фазы вегетации. Накопление неорганического фосфора в стеблях — один из признаков достаточной обеспеченности культур фосфором.

В растениях неорганические соединения этого макроэлемента могут накапливаться в виде солей калия, кальция и магния и использоваться для построения органических соединений, в форме которых обычно и находится большая часть фосфора. Регулируя уровень фосфатного питания растений, можно в определенной мере управлять темпами их роста и развития, а также качеством урожая.

Питательные элементы, в том числе фосфор, растения поглощают через корни и листья. При внекорневой подкормке фосфаты быстро проникают в другие части растения, включая корни. С помощью метода меченых атомов было установлено, что часть поступившего в растения фосфора выделяется через корни. Большая часть кормовых культур в ранние фазы вегетации плохо усваивает труднорастворимые фосфаты. При внесении фосфора в достаточном количестве рост корневой системы усиливается уже на этапе прорастания семян, вследствие чего улучшается обеспеченность растений питательными веществами и влагой, а усвоенная фосфорная кислота используется более продуктивно.

При оптимальном фосфорном питании злаковых культур ускоряется обра-зование зерна, а в структуре урожая существенно изменяется соотношение между соломой и зерном в пользу по-следнего. В сухих растениях намного меньше фосфора (десятие доли процента), чем в свежескошенной вегетативной массе. Наиболее богаты этим макроэлементом семена, а в стеблях и листьях его намного меньше.

Данные исследований показали, что в репродуктивных органах (зерно) содержание фосфора не изменяется, в стеблях и листьях показатель может варьировать в широком диапазоне значений в зависимости от условий про-израстания и технологии возделывания культур. Ученые из США установили, что в фазу полной спелости кукурузы в зерне на долю фосфора приходилось 52,3% от его общего количества в ско-шенной массе, в листьях — 28,6, в стеблях — 10,5, в обертках початков — 4,4, в корнях — 4,2%.

При остром фосфорном голодании у растений приостанавливается разви-тие стеблей и листьев. Так, рост куку-рузы замедляется сразу после появле-ния всходов, затем нижние темно-зе-леные листья окрашиваются в фиоле-товый цвет сначала с краев, а потом по всей площа-ди верхней и нижней сто-роны листа. При значительном дефи-циите фосфора все листья окрашиваются в фиолетовый цвет, ткани на их вер-хушках и краях отмирают и становятся коричневыми. У озимой ржи и пшени-цы при остром фосфорном голодании верхушки нижних листьев становятся красными или красно-фиолетовыми.

Такие признаки могут проявляться в фазе третьего листа. В этом случае кущение проходит слабо либо отсутствует. У овса листья окрашиваются в фиоле-товый цвет, засыхают и скручиваются в спираль. Такое сырье для производ-ства растительных кормов непригодно.

Правильное внесение в почву фос-форных удобрений позволяет получать хороший урожай вегетативной массы и производить качественные раститель-ные корма. Скармливание их коровам способствует поддержанию здоровья и нормализации воспроизводительной функции животных, увеличению удоев и массовой доли белка в молоке, а знач-ит, повышению рентабельности пред-приятия.