

Ацидоз рубца – причины и последствия

А.Б. ПЕТРОВ

ООО «Открытый мир кормов»

Рубец — важная часть пищеварительной системы жвачных животных. Правильное функционирование рубца в значительной мере определяет состояние здоровья животного и его продуктивность. При кормлении высокопродуктивных молочных коров используется значительное количество концентрированных кормов, что приводит к развитию такого явления как ацидоз рубца, имеющего целый ряд негативных последствий для здоровья животного, его продуктивности и экономических параметров производства молока. Поэтому возникает потребность разработки подходов к снижению остроты данного метаболического нарушения у высокопродуктивных коров.

Содержание

Признаки ацидоза рубца

Параметры корма, влияющие на величину РН рубца

Изменение микрофлоры при изменении РН рубца.

Факторы перехода *S.bovis* к синтезу молочной кислоты.

Затраты микрофлоры на поддержание жизни (жизнедеятельности)

Вырабатываемые изомеры молочной кислоты и их метаболизм

Эндотоксины, их роль в развитии заболеваний коров

Связь ламинита и ацидоза коров

Метаболизм липидов при ацидозе

Ацидозы при тепловом стрессе

Модификаторы РН рубца и его микробиоты

Методы профилактики развития ацидоза

Литература

Признаки ацидоза рубца

Ацидозы являются серьезным заболеванием высокопродуктивных коров, имеющим высокие экономические риски. В случае клинического ацидоза возможен смертельный исход для животного. Но в большинстве случаев имеет место субклинический ацидоз. Признаками субклинического ацидоза являются:

- снижение РН рубца (до 5,5 в течение достаточного длительного времени),
- гиперактивность или застой рубца,
- снижение жвачки коровой,
- сильное различие в потреблении корма между коровами и в течении периода времени,
- кал коров сильно различается в группе от диареи до густого состояния,
- кал жидкий с большим количеством пузырьков,
- наличие слизи в кале,
- наличие большого количества не переваренного корма, как стеблей растений с высоким содержанием клетчатки, так и не переваренного зерна,
- при забое животных – наличие «лысого» рубца – нарушение эпителия,
- наличие хронической хромоты в стаде,
- значительное снижение жирности молока.

Наличие жидкого кала с большим количеством пузырьков и присутствием слизи является наиболее явным признаком неправильной ферментации в рубце – развития ацидоза.

Параметры корма, влияющие на величину РН рубца

РН рубца является одним из ключевых параметров, определяющих режим его функционирования. В работе [1] определены факторы, влияющие на средние значения РН рубца у высокопродуктивных коров, получающих смешанный рацион (через миксер):

$$PH=6,05 + 0,044 * \varepsilon HDK - 0,0006 * \varepsilon HDK^2 - 0,017 * RDSG - CB\text{-}корма * 0,016$$

Обозначения:

εHDK - эффективная НДК корма (% в сухом существе корма),

RDSG – ферментируемый (перевариваемый) в рубце крахмал зерновых, (% в сухом веществе корма),

CB-корма – сухое вещество корма (кг/день).

Необходимо понимать, что величина РН рубца не является величиной постоянной. РН рубца меняется в зависимости от потребления корма. Перед раздачей корма величина РН рубца максимальна. После потребления корма и его ферментации в рубце РН рубца снижается. По мере переваривания и всасывания летучих жирных кислот (продуктов ферментации корма) РН рубца постепенно повышается. Указанная выше формула показывает среднее значение РН рубца в течении суток. В тоже время анализ данной формулы показывает основные факторы, влияющие на значение РН рубца – количество эффективной клетчатки в рационе, количество ферментируемого (перевариваемого) в рубце крахмал и общее количество потребленного сухого вещества корма. Рассмотрим влияние каждого из этих факторов.

Общее потребление сухого вещества

Фактор напрямую отражает общее количество получаемых в процессе ферментации летучих жирных кислот, что напрямую влияет на снижение РН рубца.

Количество эффективной НДК

Количество эффективной НДК в корме напрямую влияет на общую продолжительность жвачки коровой. При жвачке выделяется слюна, имеющая щелочную реакцию. Слюна, за счет своей щелочной реакции, является основным фактором, регулирующим РН рубца. Поэтому время жвачки коровой является важным признаком здоровья рубца [2].

Количество ферментируемого в рубце крахмала.

Количество ферментируемого в рубце крахмала является одним из ключевых параметров, определяющих РН рубца у высокопродуктивных

коров. Крахмал из различных зерновых имеет разную скорость ферментации в рубце, и соответственно, разное количество крахмала из зерновых ферментируется в рубце. Количество ферментируемого в рубце крахмала для различных зерновых следующее: овес – 90% и более, ячмень – 85-90%, пшеница – 85-90%, кукуруза молотая – 60%, сорго – 60%.

В значительной степени скорость ферментации крахмала в рубце зависит от скорости гидролиза протеина микрофлорой, так как белковые тельца окружают крахмальную гранулу.

Количество ферментируемого в рубце крахмала гороха зависит от соотношения амилопектина и амилозы и может меняться в зависимости от сорта гороха (так как амилоза имеет значительно меньшую скорость ферментации, чем амилопектин). Зависимость количества амилопектина и амилозы справедливо и для других культур, но, как правило, имеет меньшую вариабельность, чем у гороха.

На скорость ферментации крахмала в рубце влияют параметры тепловой обработки, размер частиц продукта. Снижение размера частиц (более мелкий размол) приводит к увеличению скорости ферментации крахмала и количества ферментируемого в рубце крахмала, так как повышается площадь поверхности и увеличивается количество субстрата для ферментативных реакций. Также тепловая обработка, как правило, увеличивает скорость ферментации крахмала в рубце, так как разрушается белковая оболочка крахмальной гранулы. В частности, грануляция кукурузы приводит к увеличению количества ферментируемого в рубце крахмала до 80%.

Изменение микрофлоры при изменении РН рубца

При изменении РН изменяется и все микробиологическое сообщество рубца.

Бактерии, ферментирующие клетчатку, растут и активно развиваются при РН среды выше 6,0. Снижение РН ниже 6,0 приводит к резкому

снижению активности данной бактериальной группы и, как следствие, снижению переваримости клетчатки, снижению потребления корма. Следствием этого является большое количество не переваренной клетчатки в кале.

В снижении РН рубца основную роль играет молочная кислота. Молочная кислота примерно в 10 раз сильнее, чем основные летучие жирные кислоты (ЛЖК). Поэтому даже относительно небольшая ее концентрация в рубце может значительно снизить рН [2]. Молочная кислота поступает вместе с кормом (силосом), а также вырабатывается бактериями рубца. Основным продуцентом молочной кислоты в рубце – *Streptococcus bovis* (*S.bovis*). В нормальном состоянии между выработкой молочной кислоты, ее поступлением с кормом (из силоса), использованием бактериями рубца и выходом из него существует определенный баланс. Есть несколько групп бактерий (*M. elsdeni*, *S. ruminantum*) – утилизаторов лактата, которые ферментируют молочную кислоту с образованием пропионата, не давая ей накапливаться в рубце, и тем самым эффективно повышают рН. Скорость ферментации молочной кислоты высока и составляет до 90% в час [2].

Таким образом, при наличии достаточного количества субстрата – углеводов (доступного крахмала, глюкозы) происходит активный рост количества утилизаторов крахмала, в частности *S.bovis*, *S.ruminantum*. *S.bovis* может активно расти в широком диапазоне РН. В тоже время утилизаторы лактата активно растут только при РН выше 6,0. Снижение РН рубца значительно снижает скорость роста утилизаторов лактата.

Продуценты молочной кислоты (*S.bovis*) и утилизаторы лактата имеют разную скорость роста. Бактерий группы утилизаторов молочной кислоты растут в несколько раз медленнее, чем, например, бактерии – утилизаторы крахмала (*S. Bovis*, *S.ruminantum*), и для достижения уровня, необходимого для эффективной нейтрализации большого количества молочной кислоты в рационе с высокой долей концентратов, понадобится до 2 недель, в то время как для утилизации крахмала — 2–3 дня. Поэтому для предотвращения

накопления молочной кислоты в рубце и развития ацидоза необходимо не допускать резкого повышения уровня крахмала в рационе, например, сразу после отела, а также необходимо не допускать изменений в доступности крахмала, например за счет резкого изменения крупности помола зерна.

Следствием изменения состава микрофлоры рубца происходит изменение состава продуктов ферментации. Происходит снижение доли уксусной и масляных кислот, возрастает количество пропионовой и молочной.

Факторы перехода *S.bovis* к синтезу молочной кислоты

Ферментативная система *S.bovis*, *S.ruminantium* имеет двойственность. При высоком РН среды и низкой концентрации субстрата (глюкозы, крахмала) *S.bovis* вырабатывает уксусную, муравьиную и небольшое количество этилового спирта, *S.ruminantium* – уксусную, пропионовую и небольшое количество масляной кислот. При повышении доступности глюкозы происходит сдвиг ферментации *S.bovis*, *S.ruminantium* в сторону молочной кислоты [3]. При снижении РН среды процесс сдвига в сторону синтеза молочной кислоты усиливается.

Таким образом, избыточное количество легкодоступных углеводов приводит к синтезу большого количества молочной кислоты в рубце и снижению РН, что в свою очередь еще больше провоцирует дальнейшее снижение РН рубца. Всасывание ЛЖК приводит к снижению их концентрации и к постепенному повышению РН рубца.

Затраты микрофлоры на поддержание жизни (жизнедеятельности)

Затраты энергии микрофлоры, как и всех других живых организмов, можно разделить на затраты на поддержание жизни и затраты на рост. В условиях отсутствия избытка углеводов и достаточном количестве азота затраты энергии на поддержание жизни невелики. В тоже время, при наличии избыточного количества свободных углеводов происходит рост затрат

энергии на поддержание жизни бактериальной массы, которая выделяется в виде тепла и является неэффективным расходования энергии корма. В условиях избытка глюкозы расходы *S.bovis* на поддержание жизни могут в 10 раз превосходить расходы данной бактерии, когда нет избытка глюкозы. Таким образом, в условиях избытка углеводов (ацидоза) бактериальная флора расходует энергию корма менее эффективно, выделяя большее количества тепла [3].

Вырабатываемые изомеры молочной кислоты и их метаболизм

Бактериальная микрофлора вырабатывает молочную кислоту в виде двух изомеров L- и D-изомер молочной кислоты. L-изомер молочной кислоты является классическим метаболитом млекопитающих, в печени преобразуется в глюкозу. D-изомер молочной кислоты вырабатывается только бактериальными клетками и у коров медленно метаболизируется (в отличие от человека и свиней). Низкая скорость обмена D-изомера молочной кислоты в организме коровы приводит к его накоплению, снижению pH крови, нарушению многих функций организма, развитию классического ацидоза организма.

Эндотоксины, их роль в развитии заболеваний коров.

Эндотоксины — бактериальные токсические вещества, которые представляют собой структурные компоненты определённых бактерий и высвобождаются только при лизисе (распаде) бактериальной клетки. Это отличает эндотоксины от экзотоксинов, растворимых соединений, секретируемых живой бактериальной клеткой.

Основным примером эндотоксинов является липополисахарид или липоолигосахарид. Липополисахарид грамм-отрицательных бактерий глубоко исследован и широко применяется как эндотоксин. Часто термины эндотоксин и липополисахарид используются как синонимы.

У грамм-положительных бактерий клеточная стенка содержит липотейхоевые кислоты. Существует достаточно большое количество факторов, показывающих роль липотейхоевой кислоты в развитии заболеваний жвачных животных [4].

Липотейхоевые кислоты — компоненты клеточной стенки грамм-положительных бактерий. Молекула липотейхоевой кислоты состоит из тейхоевой кислоты, ковалентно связанной с липидом, который в бактериальной клетке встроен в клеточную мембрану. Является лигандом для рецептора иммунных клеток TLR2, активируя, таким образом, систему врожденного иммунитета.

Выработка эндотоксинов при ацидозе

При развитии ацидоза происходит резкое увеличение количества эндотоксинов в рубцовой жидкости, до 18 раз. При этом у коров большее количество эндотоксинов находится вдоль поверхности рубца, чем в кишечнике. Эпителий, как рубца, так и кишечника не пропускает эндотоксины. В тоже время при наличии нарушений, повреждении эпителия, развития воспалительных процессов происходит повышение проницаемости для крупных молекул. В частности снижение pH повышает проницаемость в 5-6 раз [5]. Наличие микотоксинов, моно- и ди-глицеридов (корм с высокой долей жира) также резко повышает проницаемость эпителия для токсичных соединений [6]. Существует прямая корреляция между количеством эндотоксинов в рубцовой жидкости и их концентрацией в плазме крови, которая усиливается дополнительными факторами (микотоксины, жиры и т.д.). Также концентрация эндотоксинов в плазме крови повышается при наличии заболеваний, имеющих бактериальную природу (маститы, метриты и т.д.).

Существует два основных пути связывания эндотоксинов: через активизацию иммунной системы с выработкой большого количества

провоспалительных цитокинов, и связывания через липопротеины, хиломикроны с последующим их выводом с желчью.

Активация иммунной системы эндотоксинов приводит к большим затратам энергии. Введение внутривенно эндотоксинов потребовало дополнительного расхода организмом коровы (иммунной системой) глюкозы в количестве более 1 кг в день, а выработка молока снизилась на 80% [7]. Данные исследования показывают огромные энергетические затраты на нейтрализацию эндотоксинов, вырабатываемых при развитии ацидоза. Величина экономических затрат, связанным с вводом дополнительного количества зерна, снижением продуктивности из-за нейтрализации эндотоксинов может быть значительной.

Ацидоз рубца у коров связан с возникновением окислительного стресса в печени. Уровень малондиальдегида – индикатора окислительного стресса возрастал в два раза в условиях ацидоза у коров в середине лактации [8]. Окислительный стресс в печени может провоцировать развитие жировой дистрофии печени.

Эксперименты по внутривенному введению эндотоксинов показали снижение уровня кальция в плазме крови пропорциональному концентрации эндотоксинов. Аналогично было определено снижение концентрации фосфора [9]. В экспериментах с высоким уровнем кальция, поддерживаемого введением хлорида кальция наблюдалось значительное повышение смертности [4]. Поэтому снижение уровня кальция является защитным механизмом. Кальций играет важную роль в детоксификации эндотоксинов. Пониженный уровень кальция (гипокальцемия) во время лактации при достаточной его концентрацией в корме может быть признаком высокого уровня эндотоксинов в плазме крови. Кроме того, эндотоксины могут провоцировать гипокальцемию (залеживание, парез) во время отела, в том числе за счет высокой концентрации микотоксинов в корме и снижения барьерной функции эпителия.

Связь ламинитов и ацидозов коров

Практические наблюдения установили сильную корреляцию между наличием ацидоза рубца и состоянием (здоровьем) копыт [10]. Большинство исследований связывает нарушение кератинизации копыт со снижением барьерной функции эпителия и проникновением в поток крови эндотоксинов и гистамина, что напрямую связано с развитием ацидоза, в том числе ацидоза, связанного с ферментацией в кишечнике избыточного количества крахмала. Одной из гипотез по снижению активности формирования кератина копыт является снижение уровня кальция при ацидозе (из-за эндотоксинов) и его дефиците для синтеза кератина. Многочисленными исследованиями показано, что введение дополнительно с кормом 20 мг/корову/день биотина положительно влияет на здоровье копыт. Существуют противоречивые данные по количеству синтезированного биотина микрофлорой рубца. По данным NRC-2001 микрофлора рубца синтезирует 12 мг/день биотина, по данным [11] микрофлора рубца потребляет 11 мг/день биотина при поступлении биотина с кормом в количестве 130-140 мг/день. Различия в количестве синтезированного/потребленного биотина в зависимости от рациона отсутствуют [11]. Поэтому мало фактов показывающих на прямой дефицит биотина при ацидозе. В тоже время повышение окислительного стресса при ацидозе снижает доступность витаминов – антиоксидантов.

Метаболизм липидов при ацидозе

Изменение микрофлоры рубца приводит к изменению метаболизма липидов в рубце. Особенностью жвачных животных является значительная активность по биогидрогенизации микрофлорой рубца липидов корма [12,13]. Исследования показали, что в условиях ацидоза и снижении РН рубца происходит снижение активности целлюлолитических бактерий, формирующих trans 11- изомеры, в сторону бактерий (в том числе и утилизаторов молочной кислоты), формирующих trans 10 – изомеры. При

этом первоначальным шагом в процессе биогидрогенизации является формирование сопряженных жирных кислот. В случае гидрогенизации целлюлолитической микрофлорой формируется cis9, trans 11 C18:2, путь, формирующий trans 10 – изомер, в качестве первого шага содержит формирование trans 10, cis 12 C18:2. Появление trans 10, cis 12 C18:2 даже в небольших количествах приводит к блокированию синтеза молочной железой новых жирных кислот и, тем самым, резкому снижению жирности молока [14]. Низкий РН рубца снижает активность микрофлоры на завершающем шаге процесса биогидрогенизации – формирования из trans изомеров 18:1 стеариновой кислоты (18:0). Таким образом, в условиях ацидоза происходит резкое увеличение содержания trans изомеров в молочном жире. При большом количестве линолевой кислоты в рационе количество trans изомеров может превышать 10%.

Таким образом, развитие ацидоза рубца приводит к следующим изменениям в молочном жире [12, 15]:

- снижается жирность молока,
- увеличивается доля trans изомеров в молочном жире,
- в транс изомерах возрастает доля trans 10 и снижается доля trans 11,
- происходит снижение доли iso- жирных кислот (жирных кислот с ветвящейся цепью),
- возрастает доля нечетных жирных кислот.

Ацидозы при тепловом стрессе

Тепловой стресс провоцирует развитие ацидоза у коровы. Потери калия с потом, выделение углекислого газа снижают буферную емкость крови. При высокой температуре происходит снижение времени на жвачку, тем самым происходит снижение выделения слюны и снижается РН рубца [16]. Таким образом, рационы с большим количеством легкоферментируемых углеводов при тепловом стрессе будут приводить к развитию ацидозов у высокопродуктивных коров в большей степени, чем при комфортной

температуре. Дополнительным фактором усиления теплового стресса при развитии ацидоза является повышение затрат микробиотой рубца на поддержание жизни, то есть дополнительного выделения тепла.

Модификаторы РН рубца и его микробиоты

- буферные смеси.

Буферные смеси, содержащие бикарбонат натрия и оксид магния, повышают РН рубца. Для лактирующих коров ввод 100-150 г соды и до 50 г оксида магния является экономически оправданным решением. При этом РН рубца повышается несколько больше (в среднем на 0,2), чем можно было бы ожидать из теоретического расчета их буферной емкости. Поэтому был сделан вывод о более быстром выходе крахмала из рубца [17].

- Живые дрожжевые культуры.

Живые дрожжевые культуры – десятилетиями отработанное решение по снижению рисков развития ацидоза. Механизм действия живых дрожжевых культур заключается в снижении количества растворенного кислорода в рубцовой жидкости, что способствует росту и активности строгих анаэробов, к которым относятся утилизаторы молочной кислоты и целлюлолитические бактерии. Это приводит к более быстрой переработке молочной кислоты и тем самым к повышению РН рубца, а также к повышению переваримости клетчатки [2].

- Ионофоры.

Ионофорные антибиотики действуют на грам-положительные бактерии. *S.bovis* является грам-положительной бактерией и поэтому действие ионофоров на *S.bovis* снижает ее активность и выработку молочной кислоты. Свойства ионофорных антибиотиков проявляют некоторые эфирные масла.

Методы профилактики развития ацидоза

При формировании рациона высокопродуктивных коров необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

- Требуемое количество эффективной клетчатки в корме
- Количество ферментируемого в рубце крахмала должно соответствовать количеству эффективной клетчатки, в корм вводить зерновые с крахмалом, имеющим меньшую скорость ферментации в рубце (кукуруза)
- Отсутствие резких изменений в рационе, в том числе по крупности помола зерна, постепенное изменение рациона, в том числе после отела
- Модификаторы рубцовой микрофлоры
 - буферные соли (бикарбонат и оксид магния)
 - живые дрожжевые культуры
 - ионофорные антибиотики
- Дополнительный ввод антиоксидантов, витаминов (в том числе биотина), микроэлементов для уменьшения последствий окислительного стресса.

Литература

1. Zebeli Q. “Modelling the Adequacy of Dietary Fiber in Dairy Cows Based on Responses of Ruminal PH and Milk Fat Production to Composition of the Diets”, *Journal of Dairy Science*, 2008, v. 91, 2046-2066
2. Allen M.S. “Relationship Between Fermentation Acid Production in the Rumen and the Requirement for Physically Effective Fiber”, *Journal of Dairy Science*, 1997, v. 80, 1447-1462
3. Russel J.B. “Strategies that Ruminal Bacteria Use to Handle Excess Carbohydrate”, *Journal of Animal Science*, 1998, v. 76, 1955-1963
4. Emily F. Eckel, Burim N. Amejai “Role of bacterial endotoxins in the etiopathogenesis of periparturient diseases of transition dairy cows”, 2016, *Journal of Dairy Science*, v. 99, 5967-5990
5. Burim N. Ametaj, Qendrim Zebeli, Summera Iqbal «Nutrition, microbiota, and endotoxin-related diseases in dairy cows», 2010, *R. Bras. Zootec.*, v.39, p.433-444
6. Liew W-P-P and Mohd-Redzwan S (2018) “Mycotoxin: Its Impact on Gut Health and Microbiota”. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 8:60
7. S. K. Kvidera, E. A. Horst, M. Abuajamieh, E. J. Mayorga, M. V. Sanz Fernandez, and L. H. Baumgard, “Glucose requirements of an activated immune system in lactating Holstein cows”, 2017, *J. Dairy Sci.* 100:2360–2374
8. J. A. Abaker, T. L. Xu, D. Jin, G. J. Chang, K. Zhang, and X. Z. Shen «Lipopolysaccharide derived from the digestive tract provokes oxidative stress in the liver of dairy cows fed a high-grain diet», 2017, *J. Dairy Sci.* 100:666–678
9. M. R. Waldron, B. J. Nonnecke, T. Nishida, R. L. Horst, and T. R. Overton, “Effect of Lipopolysaccharide Infusion on Serum Macromineral and Vitamin D Concentrations in Dairy Cows”, 2003, *J. Dairy Sci.* 86:3440–3446
10. D. J. Tomlinson, C. H. Muë lling, and T. M. Fakler «Formation of Keratins in the Bovine Claw: Roles of Hormones, Minerals, and Vitamins in Functional Claw Integrity» 2004, *J. Dairy Sci.* 87:797–809
11. E. C. Schwab, C. G. Schwab, R. D. Shaver, C. L. Girard, D. E. Putnam, and N. L. Whitehouse

«Dietary Forage and Nonfiber Carbohydrate Contents Influence B-Vitamin Intake, Duodenal Flow, and Apparent Ruminal Synthesis in Lactating Dairy Cows»
J. Dairy Sci. 89:174–187

12. F. Enjalbert, S. Combes, A. Zened and A. Meynadier
«Rumen microbiota and dietary fat: a mutual shaping»,
2017, Journal of Applied Microbiology 123, 782-797

13. Arianna Buccionia, Mauro Decandia, Sara Minieria, Giovanni Molleb,
Andrea Cabiddub,
«Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation
with an emphasis on the role of endogenous plant factors»,
Animal Feed Science and Technology, 174 (2012), 1–25

14. K. J. Shingfield, L. Bernard, C. Leroux and Y. Chilliard
«Role of trans fatty acids in the nutritional regulation of mammary lipogenesis in
ruminants»,
Animal (2010), 4:7, pp 1140–1166

15. Mitchell, C. *et al.* «The Effects of Subacute Ruminal Acidosis on Milk Fatty
Acid Profile in Dairy Cattle»,
American Journal of Animal and Veterinary Sciences 2016, 11 (2): 55-60

16. Mishra, M., F. A. Martz, R. W. Stanley, H. D. Johnson, J. R. Campbell, and E.
Hilderbrand. 1970. «Effect of diet and ambient temperature-humidity on ruminal
pH, oxidation reduction potential, ammonia and lactic acid in lactating cows», J.
Anim. Sci. 30:1023

17. Russel J.B. “Another Theory for the Action of Ruminal Buffer Salts:
Decreased Starch Fermentation and Propionate Production”, Journal of Dairy
Science, 1993, v.76, 826-830