

Профилактика ацидоза у лактирующих коров.

В.С. Крюков, доктор биол. наук, профессор

В.С. Крюков занимается изучением питания животных с 1966 года. Начал трудовую деятельность во Всесоюзном институте физиологии и биохимии животных (тогда он так назывался). Аспирантуру проходил во ВНИИЖ и 30 лет проработал во ВНИТИП. Кандидатская диссертация была посвящена изучению обмена веществ у лактирующих коров, докторская – разработке биохимических основ профилактики афлатоксикоза. В ведущих с.-х. журналах России регулярно публикует статьи по вопросам технологии производства кормов, оценке кормовых ингредиентов, регуляции питания у животных и птиц. В публикуемых обзорах В.С. Крюков знакомит учёных России и практиков с оригинальными разработками зарубежных коллег. Опубликованы оригинальные работы по смешиванию компонентов премиксов и комбикормов, кислотосвязывающей способности кормов, влияния электролитного баланса рационов на обмен веществ и продуктивность свиней и коров. В 2013 году впервые для мировой практики обоснована оценка действия нескольких микотоксинов при одновременном их присутствии в корме.

Резюме

Субклинический ацидоз рубца (САР) у высокопродуктивных коров распространён повсеместно. В России отсутствует статистика по проявлению САР. Известно, что в США убытки от САР в среднем составляют около 1,12 дол./гол./ день, поэтому использование кормовых добавок для профилактики САР стало общепринятым приёмом. Используют соду, окись магния, а также смеси различных веществ. Рекомендуемые дозы буферных кормовых добавок составляют 0,8 - 1,6% от массы СВ корма. Применение буферных добавок не всегда даёт ожидаемые результаты, поэтому продолжают изучать механизм их действия на животных. В статье рассмотрены известные приёмы по обоснованию выбора кормовых добавок или их рецептуры, а также перспективы исследований. Выражено сожаление, что это направление в кормлении животных совершенно не разрабатывается в России.

Ключевые слова:

Субклинический ацидоз рубца, профилактика ацидоза, буферные кормовые добавки, раскислители, электролитный баланс, кислотосвязывающая способность кормов, гидрокарбонат натрия, окись магния.

Summary

Sub acute rumen acidosis (SARA) is widely spreaded among high-yielding dairy hards. There is no statistics of SARA occurrence in Russia. As is generally known, average losses from SARA are about 1,12 \$/cow/day in the USA, so the use of feed additives for prevention of acidosis is commonly used method. Sodium bicarbonate (NaHCO_3), magnesium oxide and mix of different matters are usually used. Recommended dose of buffer feed additives is 0,8 -1,6% of fodder's mass. The use of buffer feed additives sometimes doesn't yield expected results, because of this scientists carry on the research of mechanism of its action on animals. The article highlights well-known methods of substantiation of the choice of feed additives, its formulation and the prospects of the future research

Key words :

Sub acute rumen acidosis, prevention of acidosis, buffer feed additives, alkalizers, dietary cation-anion difference, acid binding capacity of feed, sodium bicarbonate, magnesium oxide

Ежегодные убытки от субклинического ацидоза в США оценивают в 0,5 – 1,0 млрд. долларов или в среднем 1,12 дол./гол./день (Stone. 1999, Eneemark 2008). Это происходит на лучшем, чем в России фоне разработанности нормирования питательных веществ в рационах коров и качества грубых кормов. Для профилактики ацидоза в Америке широко применяют буферные кормовые добавки, что давно стало стандартной процедурой (Erdman 1988 Nutjens 1991, Garry 2002). Их используют в кормлении коров уже более 40 лет, но, несмотря на обширный опыт в этой области, изучение влияния веществ, обладающих буферными свойствами, продолжается, – это свидетельствует о сложности проблемы или в большей степени её разносторонностью в связи с многообразием условий кормления и содержания животных. Обзор научных публикации на эту тему свидетельствует, что, несмотря на широкое использование буферов в кормлении коров и ограниченное число веществ, входящих в их состав, механизм действия буферных добавок остаётся не до конца ясным (Singh 2005)

Кормовые добавки, используемые для предупреждения ацидоза, называют «буферами». При таком определении в их перечень попадают вещества, которые хотя и используются под этим названием, но к буферам не относятся. С научной точки зрения их следует подразделить на настоящие буфера – это вещества, которые в растворах стабилизируют рН среды и поддерживают его постоянство на определённом уровне, при добавлении кислот или щелочей. В этом отношении истинными буферами являются бикарбонат натрия или сода и бикарбонат калия. Другие соли, обладающие буферными свойствами, здесь не рассматриваются, так как их не применяют с указанной целью в кормлении животных. На положительное действие соды на жвачных было впервые указано Matrone, et al. (1959), которые установили, что животные, в рацион которых добавляли бикарбонат натрия, потребляли больше корма и лучше росли. С точки зрения физиологии пищеварения жвачных это не является неожиданным, поскольку бикарбонат натрия является естественным буферным веществом, которое содержится в слюне и поступает в рубец в большом количестве.

В группу буферов, применяемых в кормлении, включают окись и гидроксид магния, карбонаты калия, натрия и кальция, - с научной точки зрения эти вещества не являются буферами – они нейтрализуют кислоты рубца, поэтому их относят к нейтрализаторам или раскислителям.

Иногда к буферам относят адсорбенты (Dschaak et al. 2010), однако их действие нельзя объяснить буферными свойствами, поскольку с химической точки зрения они таковыми не обладают. Не являются они и нейтрализаторами – их механизм действия в этом направлении не изучен и, по-видимому, связан с адсорбционными свойствами. Буфера

отличаются от раскислителей тем, что они поддерживают рН среды в определённом диапазоне в зависимости от константы диссоциации вещества, а раскислители повышают рН с увеличением их концентрации в среде или с ростом потребляемой дозы. Для некоторых веществ эта зависимость более сложная, поскольку их действие ограничивается растворимостью, которая падает с повышением рН среды. В результате для них растворимость в рубце является механизмом, ограничивающим чрезмерное повышение рН. В настоящей статье понятие «буферные» кормовые добавки применяется в широком смысле привычном для практиков, то есть, включая истинные буфера, нейтрализаторы и адсорбенты.

Наибольшая эффективность от применения буферных добавок отмечена в первые 2-3 месяца лактации в следующих случаях:

- ожидается субклинический ацидоз рубца
- кукурузный силос, а так же силоса из других злаковых культур, представляют основную часть грубых кормов;
- грубые корма мелко измельчены;
- смешанная сбалансированная кормосмесь имеет влажность выше 55- 60%;
- в рационе низкое содержание клетчатки;
- уровень концентратов в суточном рационе превышает 50% и содержит более 35% легко ферментируемых сахаров;
- кормление животных в разное время с беспорядочным чередованием длинных и коротких интервалов между кормлениями;
- пониженное содержание жира в молоке;
- слабая жвачка;
- проблемы с конечностями;
- высокая окружающая температура.

Приведенный список довольно внушителен, поэтому в реальности трудно найти стадо, в котором в той или иной степени не присутствовали один или несколько из перечисленных факторов в различных сочетаниях, что, в общем, и предопределило широкое использование буферных добавок.

Образование в рубце значительного количества летучих жирных кислот (ЛЖК) и молочной кислоты обусловлено нормальным течением ферментации сахаров. Недиссоциированные кислоты всасываются, а ионизированные подвергаются нейтрализации, - в результате рН рубцового содержимого поддерживается на уровне 6,4 – 6,7. При рН 6,8 почти 99% ЛЖК будут в диссоциированном состоянии.

Существуют три источника веществ, вызывающих нейтрализацию кислот в рубце, и, главным из них является слюна. Содержащиеся в кормах вещества тоже нейтрализуют кислоты рубца, но их роль в этом отношении менее значима. Любые факторы, влияющие на образование слюны, непосредственно отражаются на кислотности рубцового содержимого. Третьим источником буферных веществ являются кормовые добавки, - в количественном отношении их доля не велика, но они играют важную регуляторную роль, поскольку восполняют тот дефицит, который возникает в результате недостаточной секреции слюны или же под влиянием выше перечисленных факторов. При рассмотрении биологических механизмов большинства действующих причин оказывается, что эти факторы, так или иначе связаны с изменением секреции слюны и её состава.

Корова в среднем выделяет от 5 до 10 литров слюны на 1 кг потреблённого сухого вещества рациона, то есть диапазон изменений количества образующейся слюны достаточно широк, что непосредственно влияет на физиологию пищеварения. При потреблении грубых кормов слюны выделяется существенно больше, чем при поедании концентратов, поэтому с увеличением доли последних в суточном рационе происходит уменьшение выделения слюны, что способствует возникновению ацидоза.

При нормальной секреции слюны, в сутки в рубец поступает около 3000 г бикарбоната натрия и около 1000 г гидрофосфата натрия. Эти два вещества составляют основу буферной системы рубца. В процессе потребления и пережевывания корма постоянно и равномерно выделяется слюна. Таким образом, бикарбонат и гидрофосфат натрия являются важными буферными веществами эндогенного происхождения.

Из кормов, предупреждающих ацидоз, выделяются бобовые культуры, поэтому при значительном количестве их в рационе случаи ацидоза редки. В связи с этим буферные добавки всегда более эффективно действуют на фоне рационов, включающих силоса, приготовленные из злаков и, особенно, кукурузного. Эта ситуация характерна для кормовой базы средней и южной **частей** России. Корма сами по себе обладают буферным свойством, которое возрастает с увеличением в них содержания калия. Повышенным содержанием калия отличаются сеяные травы, в почву под которые вносят удобрения, содержащие калий.

Буферные добавки используют не регулярно, потому что их эффективность проявляется не всегда. Это объясняется тем, что состав рационов различен, и они не заменяют надлежащую организацию кормления и содержания животных, тогда как правильная организация кормления может исключить в них необходимость.

В качестве буферной кормовой добавки широкое распространение получила сода, которую в зарубежных рекомендациях предлагают включать в рацион в количестве 0,8 – 1,5% в расчёте на сухое вещество или 160 – 300 г/гол/ сутки: как видно величина добавки может различаться в 2 раза. Это обусловлено тем, что рекомендации основываются на результатах многочисленных исследований, проводимых в самых разных условиях, которые и накладывали влияние на рекомендуемые величины. Обратим внимание на то, что эти дозы составляют всего 5 – 10% от доли гидрокарбоната, поступающего в рубец со слюной. При добавлении соды в кормушку поверх силоса создаются условия для быстрого её потребления, и эффективность такого мероприятия будет небольшой. Это обусловлено тем, что гидрокарбонат быстро растворяется и исчезает из рубца в течение первого часа после потребления, тогда как максимальный уровень кислот в рубце достигается через 4 – 6 часов после поедания корма, когда потребленной соды в рубце уже не будет. Поэтому её действие и других буферных добавок лучше проявляется, если их включать в кормосмесь, которую коровы будут потреблять при свободном доступе в течение суток, обеспечивая равномерное поступление в рубец буферной добавки. Постоянное в течение дня потребление соды позволяет восполнять дефицит гидрокарбоната, поступающего в недостаточном количестве, со слюной. В результате pH рубца повышается, создавая оптимальные условия для роста микрофлоры.

Некоторые исследователи указывают, что высокие дозы соды могут вызывать угнетение потребления корма, что, возможно, связано с изменением вкуса корма.

Оксид магния не обладает буферными свойствами, хотя используется в качестве буферной добавки – она обладает щелочными свойствами и является раскислителем. Даже при не равномерном потреблении корма, добавленный в него оксид магния в виду низкой растворимости по сравнению с содой дольше задерживается в рубце, и нейтрализует кислоты по мере повышения их концентрации. В ряде экспериментов, при изучении влияния на продуктивность соды и окиси магния, последняя оказалась более эффективной (Miller 2007).

Выбирая оксид магния для использования в качестве кормовой добавки, нужно учитывать, что она обладает различной растворимостью, которая может составлять от 6,5 до 22,6% в зависимости от технологии её производства (Veede et al. 1989). При столь разной растворимости количество доступного действующего вещества и эффективность будут существенно различаться.

Учитывая, что ацидоз может быть обусловлен любой из ранее перечисленных причин или их комплексом, даже в течение суток он проявляется в разной степени. Вероятно, это обусловлено тем, что не принимают во внимание изменение роста микрофлоры рубца в

связи с потреблением новых порций корма, а также тем, что учитывают не все детали кормления и содержания животных, которые вызывают ацидоз. Применение буферных добавок, особенно соды, приводит как к улучшению продуктивности, а иногда и к её снижению (Hasan et al. 2001).

При обзоре научных статей по рассматриваемой теме, нет повода для сомнения в достоверности описываемых результатов. По-видимому, неоднозначность публикуемых результатов обусловлена тем, что в связи с недостаточной изученностью механизма действия буферных добавок, не обращали внимания на факторы, вызывающие ацидоз и не удачно выбирали дозы действующих веществ или их природу.

В эксперименте *in vitro* при инкубации рубцового содержимого сравнивали действие равных молярных доз разных буферных добавок, об активности которых судили по образованию газов и изменению рН инкубационной среды. В результате проведения исследований установили, что по сравнению с контролем, доломитовый известняк не повлиял на образование газов и рН среды, окись магния на 7% повысила образование газов и на 0,3 ед. рН, сесквикарбонат - на 32% и 0,81 ед. рН, сода – на 49% и 0,98 ед. рН соответственно (Faser 2010). Эти результаты показывают, что сода является наиболее активным веществом по действию на микрофлору рубца; близким по действию оказался сесквикарбонат. По-видимому, это обусловлено тем, что сода и трона обладают наиболее высокой растворимостью из испытанных веществ. Применение бикарбоната в наибольшей степени стимулировало образование газов, что может сопровождаться повышенной потерей энергии рациона. Результаты, полученные *in vitro* нельзя переносить на животных, поскольку в отличие от «ограниченной» системы *in vitro*, в рубце животных система «открытая», и концентрация и соотношение кислот в ней меняется, поскольку отдельные кислоты постоянно всасываются, причём с разной скоростью. В рубец непрерывно добавляются новые порции слюны, содержащие бикарбонат натрия, чего не происходит *in vitro*, а кроме того он всасывается, что тоже влияет на динамику концентрации рассматриваемых веществ в рубце. Существенное влияние оказывает разбавление среды при потреблении животными воды. Из этого следует, что лабораторные исследования *in vitro* позволяют только ориентировочно оценить потенциальную возможность веществ влиять на концентрацию кислот в рубце.

В обзоре (Mukmin and Weng 2012) обобщены результаты изучения влияния добавок соды и окиси магния в рационы с высоким содержанием концентратов (60%) на пищеварение и молочную продуктивность коров (табл1).

Таблица 1

Влияние соды и окиси магния на рН рубца, потребление корма и

продуктивность коров в первые 2 – 3 месяца лактации

Добавлено в рацион	Контроль	NaHCO ₃	MgO	MgO + NaHCO ₃
0,8% MgO 0,8% NaHCO ₃	6,37/ 18,8/ 35,2*	6,43/ 17,9/ 35,5	6,47/ 19,0/ 38,3	6,50/ 19,6/ 38,8 ^①
0,8% MgO 1,0% NaHCO ₃	6,17/ 18,6/ 34,6	6,43/ 19,8/ 31,5	6,46/ 19,8/ 35,2	6,34/ 19,6/ 33,4 ^②
0,8% MgO 1,5% NaHCO ₃	6,46/ 18,5/ 34,5	6,52/ 20,7/ 36,1	6,47/ 19,2/ 34,9	6,47/ 20,6/ 38,3 ^③
0,5% MgO 1,0% NaHCO ₃	6,20/ 7,0	6,30/ 8,5	6,30/ 8,0	6,20/ 7,7 ^④ **

* рН рубца/ потребление корма, кг / молока, кг в день

** Исследование на тёлках.

① Teh et al. 1985; ② Erdman et al. 1982; ③ Erdman et al. 1980; ④ Pierce et al. ** 1983.

Из приведенных результатов следует, что включение в рацион 0,8% соды не повлияло на продуктивность; она понизилась при включении 1,0% соды и возросла при добавке 1,5% соды. Разные по величине добавки соды слабо влияли на рН рубцового содержимого, хотя увеличение рН было максимальным в группе с наибольшей исходной кислотностью (Erdman et al. 1982). Предположение о том, что действие соды связано с её буферными свойствами является доминирующим в науке, но имеются и другие гипотезы, объясняющие её положительное действие на продуктивность. Так, указывается, что под влиянием соды повышается потребление воды, что в свою очередь ведет к более быстрому переходу крахмала из рубца в кишечник и уменьшению образования ЛЖК в рубце (Russell and Chow 1993). Таким образом, эффективность соды может быть прямо связана с содержанием крахмала в рационе и его задержки в рубце.

Добавление в корм окиси магния в одном случае повысило удои и в двух - увеличение было слабо выражено (табл. 1). Совместное применение соды и окиси магния в двух случаях вело к повышению продуктивности (Teh et al. 1985; Erdman et al. 1980) и в одном: ослабило негативное влияние соды (Erdman et al. 1982). Лучшая эффективность в результате совместного применения соды и окиси магния возможно объясняется тем что после их потребления сода быстро растворяется и при этом повышается рН, при котором растворимость окиси магния падает и, следовательно его действие не проявляются. В дальнейшем, когда сода быстро всосётся, в рубце начнёт снижаться рН, что создаёт условия для роста растворимости окиси магния и его действия в качестве нейтрализатора. Таким образом, одновременное применение двух веществ позволяет охватить больший временной период воздействия на кислотность рубца.

Включение буферных добавок в суточный рацион обуславливает снижение кислотности рубцового содержимого и повышение потребления корма. Под их влиянием в ряде случаев отмечали увеличение переваримости сухих веществ корма и, в том числе, нейтрально детергентной клетчатки (Mukmin and Weng 2012).

Использованию бикарбоната натрия в качестве буферной кормовой добавки посвящён основательный обзор Краузе. Согласно обобщённым публикациям, сода является наиболее распространённой буферной добавкой в рационы коров для предотвращения ацидоза, которую рекомендуют включать в дозе от 0,7 до 1,5% в расчёте на сухое вещество рациона. Автор обзора рекомендует более узкий диапазон добавки: от 0,6 до 0,8% от массы сухого вещества рациона, при этом указывая, что необходимы дополнительные исследования для того чтобы определить оптимальную величину добавки (Krause 2008). Если обратить внимание на то, что возникновение и степень выраженности ацидоза зависит от состава рациона, его физической формы и ряда других факторов, в том числе и тех, на которые не всегда обращают внимания, то определить оптимальную величину добавки в более узком диапазоне, которая бы подходила для всех случаев, невозможно.

Недавно для обоснования свойств веществ, используемых в качестве буфера и их количества, испытали новый подход, который заключается в определении расхода уксусной кислоты на титрование раствора (взвеси) буфера до pH 6,8 (Faser 2010). Было установлено, что кислотосвязывающая способность (КСС) окиси магния (MgO) составила 40,72, смеси карбонат/окись магния (MgCO₃/MgO) - 34,60, доломита (MgCO₃/MgO/NaHCO₃) - 22,6, кальций-магниевый карбоната (CaMgCO₃) - 20,67, сесквистерона натрия (NaHCO₃* Na₂CO₃* 2H₂O) - 12,88 и соды (NaHCO₃) - 11,44 мэкв/г.

Из представленных данных видно, что для нейтрализации кислот потребуется наименьшее количество окиси магния и наибольшее – гидрокарбоната натрия. Следует обратить внимание, что эти величины отражают не массу израсходованных веществ, а количество их эквивалентов. При одинаковом механизме действия количество эквивалентов веществ было бы близким. Наблюдаемые различия подтверждают, что механизм, за счёт которого повышался pH, был разным. Эти величины, характеризующие КСС, не согласуются с биологической эффективностью испытанных веществ, ранее выявленной на животных, когда установили, что сода и магнезит могут использоваться с наибольшим по сравнению с другими добавками и часто одинаковым успехом для профилактики ацидоза и повышения продуктивности (Erdman 1982, 1988).

Если учесть, что механизмы действия соды и окиси магния в рубце совершенно разные: гидрокарбонат натрия является истинным буфером, то окись магния -

нейтрализатор. Под влиянием нейтрализатора рН рубца может повышаться пропорционально увеличению его содержания в корме, однако эта закономерность не проявляется в отношении окиси магния, поскольку её действие ограничено растворимостью. При приближении рН в рубце к 6,6 – 6,8 её растворимость резко снижается и реакция нейтрализации прекращается. При этом вновь активируется микрофлора, продуцирующая кислоты, что ведёт к повышению кислотности, и растворимость окиси магния начинает восстанавливаться, возобновляя реакцию нейтрализации. Применение окиси магния вызывает повышение рН не только в рубце, но и в тонком отделе кишечника, что содействует росту активности амилалитических ферментов, улучшая переваримость крахмала.

Определение КСС минерального сырья и комбикормов применяют для характеристики кормов, используемых в кормлении свиней и птиц (Крюков 2011, **2012**). Однако в последнем случае, КСС кормов и минералов определяют путём титрования соляной кислотой, поскольку именно с ней они вступают в реакцию в желудке. Определение КСС в кормах для жвачных животных ставит перед исследователями совершенно другую цель: определить их способность к нейтрализации органических кислот в рубце. Это важное направление для оценки кормов, используемых в скотоводстве, требует специального развития в российской и мировой науке. Оно подтверждается тем, что ацидоз рубца развивается гораздо реже у коров, получающих рационы, в составе которых источником грубых кормов являются бобовые культуры (Erdman R.A. 1988), характеризующиеся более высокой КСС по сравнению с кукурузным силосом или силосами из других злаковых культур. Несмотря на важность использования величины КСС кормов при прогнозировании или предупреждении возможных случаев ацидоза рубца, она в большинстве случаев может быть только дополнительным, хотя и важным показателем. Это обусловлено спецификой пищеварения у жвачных животных.

Описан предполагаемый механизм действия гидрокарбоната натрия (Sanchez, 1999, Singh, 2005 Gabel, 1989), который связывают с ионом гидрокарбоната. При статистической обработке результатов 41 эксперимента, проведенного на коровах, получавших рационы, содержащие в среднем 57% комбикорма, установлено, что бикарбонат натрия в рационах с кукурузным силосом повышал удой на 0,8 кг/гол/день и содержание жира на 0,22%. Влияние добавки соды было незначительным, если в качестве объёмистых кормов не использовали кукурузный силос. На основании обзора многочисленных исследований было сделано заключение, что использование гидрокарбоната натрия в качестве кормовой добавки в рационы коров, характеризуется противоречивыми результатами: от улучшения продуктивности до её угнетения (Hasan et

al. 2001). В ряде исследований удалось установить, что карбонат натрия (Na_2CO_3), как и гидрокарбонат, также положительно влиял на продуктивность коров (Belibasakis, and Triantos. 1991. Edwards and Poole. 1983. Loften and Mertens. 1979) и содержание жира в молоке (Caddisa et al 1988; Ghorbani et al 1989). Таким образом, выше цитируемые публикации не подтверждают уникальной роли иона гидрокарбоната. Не все исследователи разделяют предполагаемый механизм действия гидрокарбоната в рубце (Singh 2005).

Такое же заключение можно сделать и относительно катиона натрия, поскольку давно известно, что применение гидрокарбоната или карбоната калия, также эффективно повышало рН содержимого рубца, соотношение ацетат: пропионат и жирность молока (Erdman 1988). В отдельных случаях гидрокарбонат калия, был даже более эффективным, по сравнению с содой, в отношении увеличения концентрации жира в молоке (West et al 1986). На фоне кукурузного силоса положительное действие лучше проявляли и другие буферные добавки, включая сесквистерон натрия, окись магния и многокомпонентные буферные смеси (Staples and Lough 1989).

При изучении буферных добавок на животных, редко учитывают, что их включение в рацион во всех случаях ведёт к повышению величины электролитного или катионно-анионного баланса (ВКАБ). Это расчётная величина, существующая виртуально, которую нельзя взвесить, или добавить в корм, но она меняется при изменении рациона, поэтому её необходимо нормировать, хотя не существует понятия: «потребность в ВКАБ».

Для расчёта ВКАБ применяют различные формулы, каждая из которых имеет определённое научное обоснование.

1. $\text{Na} + \text{K} - \text{Cl}$, (Mongin. 1980)
2. $(\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + \text{S})$, (Ender et al 1971)
3. $(\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + 0.6\text{S})$, (Goff et al. 2004)
4. $(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) - (\text{Cl} + \text{S} + \text{P})$
5. $(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) - (\text{Cl} + \text{P} + \text{S}_{\text{(неорг.)}})$, (Chan J.C.M, 1974, 1981)
6. $(\text{Na} + \text{K} + 0,38\text{Ca} + 0,30\text{Mg}) - (\text{Cl} + 0,60\text{S} + 0,50\text{P})$, (Horst et al. 1997)
7. $(\text{Na} + \text{K} + 0,15\text{Ca} + 0,15\text{Mg}) - (\text{Cl} + 0,20\text{S} + 0,30\text{P})$, (Horst et al. 1997)
8. $(\text{Na} + \text{K} + 0,15\text{Ca} + 0,15\text{Mg}) - (\text{Cl} + 0,60\text{S} + 0,50\text{P})$, (NRC, 2001)
9. $(\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K} + \text{NH}_4 + \text{H}) - (\text{HCO}_3 + \text{Cl} + \text{H}_2\text{PO}_4 + \text{HPO}_4 + \text{SO}_4)$

Пример расчёта по формуле 7 приведен ниже

$$\text{ВКАБ} = (\% \text{Na} * 435) + (\% \text{K} * 256) + (0.15 * \% \text{Ca} * 499) + (0.15 * \% \text{Mg} * 822) - (\% \text{Cl} * 282) - (0.20 * \% \text{S} * 624) - (0.30 * \% \text{P} * 581),$$

где: ВКАБ – величина электролитного баланса, выраженная в миллиэквивалентах на кг сухого вещества,

% - содержание элемента в расчёте на сухое вещество корма;

выделенные цифры – коэффициенты, числовые значения которых остаются постоянными для всех формул.

Всасывание кальция, магния, фосфора и серы из кишечника характеризуется значительной изменчивостью, поэтому в зависимости от условий проявления действия электролитного баланса корма, может существенно различаться. Изучая влияние калия, натрия и хлора на продуктивность коров, пришли к выводу, что концентрация калия и натрия играет меньшую роль, чем ВКАБ рациона (Tucker and Hogue 1990). Это было подтверждено и другими исследователями (West et al. 1992). ВКАБ влияет на состояние рубцового пищеварения и продуктивность коров.

Показано, что увеличение ВКАБ рациона с -420 до +690 мэкв/кг вызывало возрастание потребления корма (Wang and Beede. 1992). В эксперименте на рационах с ростом ВКАБ от -100 до 0,00, +100 и +200 мэкв/кг наблюдали увеличение рН среды рубца, хотя содержание ЛЖК при этом не изменялось, удой повысился на 8,6% (Tucker et al. 1988). Статистическая обработка результатов исследований, проведенных в разные годы, показала, что существует линейная зависимость между ВКАБ рациона и потреблением корма (Hu. and Murphy 2004). В результате пришли к выводу, что максимальное потребление корма достигается при его ВКАБ равной 400 мэкв/кг.

Исходя из рекомендуемой ВКАБ, можно рассчитать количество буфера или отдельного вещества, которое нужно добавить в рацион, а не принимать мало обоснованное решение на основе общих рекомендаций. Так, если ВКАБ используемого рациона составляет 320 мэкв/кг, то чтобы достичь требуемого норматива, ВКАБ нужно увеличить на: $400 \text{ мэкв/кг} - 320 \text{ мэкв/кг} = 80 \text{ мЭкв/кг}$. Если принять, что ВКАБ будет повышено за счёт соды, то по справочнику находим, что масса 1 эквивалента натрия равна 23 г и, исходя из этого, 1 г натрия содержит 43 мэкв. Путём деления на 43 недостающих до нормы мэкв находим количество граммов натрия, которое необходимо добавить к 1 кг корма: $80 \text{ мэкв/кг} : 43 \text{ мэкв/г} = 1,86 \text{ г/кг}$. Учитывая, что в соде содержится 27,4% натрия, в 1 кг рациона необходимо включить $1,86 \text{ г/кг} : 27,4 \times 100 = 8,79 \text{ г/кг}$ соды. Аналогичные расчеты проводят при использовании других веществ. Можно использовать и карбонат или пропионат натрия (калия). Анионы перечисленных веществ не входят в формулу расчета ВКАБ, поэтому на неё не влияют. Нет смысла в использовании поваренной соли, поскольку отрицательно заряженный ион хлора влияет на ВКАБ так же как и

положительно заряженный ион натрия, поэтому при их одинаковом всасывании не удастся заметно изменить ВКАБ в организме.

При изучении на коровах в первые 10 недель лактации влияния рационов с ВКАБ +180, +250, + 520 мэкв/кг установили, что наибольшая продуктивность получена на рационе с ВКАБ 520 мэкв/кг, причём она была выше, если ВКАБ увеличивали путём добавления равных долей натрия и калия, по сравнению с использованием только одного из элементов (Sanchez 2000). С одной стороны это дополнительно исключает уникальную роль калия или натрия, а с другой – отражает взаимодействие этих элементов при влиянии на обмен веществ и на продуктивность. Важная роль калия в изменении ВКАБ проявляется независимо от стадии лактации во время теплового стресса, который сопровождается повышенным выведением калия из организма с потом и молоком, поэтому его уровень в рационе целесообразно повышать (Griffel et al. 1997, West et al 1987 a, b). При этом необходимо учитывать взаимодействие калия и магния, поддерживая их соотношение в рационе на уровне 5: 1 (по массе на сухое вещество корма).

Применение комплексных кормовых добавок, содержащих нейтрализатор и буфер (соду) часто оказывается более эффективным по сравнению с одной содой (Staples and Lough 1989).

Повышение ВКАБ в рационах коров обеспечивает наибольший эффект в начале лактации (Sanchez 2000, Delaquis and Block. 1995) - это свидетельствует о том, что действие буферных добавок обусловлено спецификой обмена веществ у новотельных коров. Их большая эффективность на фоне рационов с кукурузным силосом по сравнению с люцерновым сенажом может быть обусловлена тем, что ВКАБ рационов с кукурузным силосом обычно ниже (Escobosa et al. 1984) и включение в них соды позволяет повысить ВКАБ.

При нормировании питательных веществ, рацион рассчитывают исходя из потребностей среднего животного, хотя они в стаде не одинаковы. Кроме того, повышение концентрации кислот в рубце зависит от состава корма, времени его потребления и, поэтому рН не держится постоянно на низком уровне. При введении в кормосмесь буферных добавок вещества последних будут поступать в рубец, с потребляемым кормом, не зависимо от концентрации в нём ЛЖК. В связи с этим было выдвинуто предположение о целесообразности предоставления коровам свободного доступа к буферным добавкам, чтобы они в зависимости от кислотности содержимого рубца самостоятельно определяли время и их потребляемое количество. В эксперименте при скармливании корма, включающего гидрокарбонат натрия, или корма без соды, но при свободном доступе к гидрокарбонату (в смеси с мелассой 70% +30%), было

установлено, что при неограниченном доступе бычки на откорме потребляли соды в 2,2 раза больше, а дойные коровы – в 3.3 раза меньше, по сравнению с потребляемым кормом, включавшем соду (Paton 2006). Если использовали сухие буферные смеси (без мелассы), то коровы не потребляли нужное их количество в связи с мучнистой и пыльной формой, а главное – неприятным вкусом. Имеются указания, что при добавке соды в рацион более 110 г/гол/ сутки коровы в отдельных случаях могут потреблять меньше корма (Shaver et al 1991). Проблему пытались решать путём включения соды в кормовые добавки с привлекательным вкусом. Однако это оказывалось не всегда приемлемым, да и невозможно было приготовить коммерческую добавку с постоянным составом, пригодную для различных ситуаций. Эти трудности были оригинально преодолены в результате включения буферных добавок в лизунцы. Так, при испытании было установлено, что коровы слизывали в среднем по 320 г/день (Krause et al. 2009). Количество потребляемого лизунца можно регулировать его плотностью, повысив прочность массы лизунца можно ограничить его потребление и подобрать для конкретного стада подходящий вариант. Учитывая, что концентрация кислот в рубце у отдельных животных отличается как по уровню, так и по времени, то коровы при свободном доступе к лизунцу сами смогут регулировать его потребление. Применение этого элемента технологии избавляет от необходимости проведения расчетов для балансирования рационов по ВКАБ.

Подводя итог отметим, что кормовые добавки с положительной ВКАБ безусловно необходимы в первые 10 недель лактации, особенно, если рацион включает достаточное количество кукурузного силоса. При использовании объёмистых кормов представленных силосами, приготовленными из разнотравья или, бобовых культур, необходимость использования буферных добавок может быть минимальной и её целесообразность определяют на основе расчета ВКАБ рациона и анализа состояния животных и жирности молока.

В целом применение буферных добавок наиболее эффективно в начале лактации, менее эффективно в середине и не установлено положительного влияния в конце лактации. В качестве буферных добавок лучше использовать бикарбонат натрия и карбонат калия в равном эквивалентном соотношении и в качестве нейтрализатора – оксид магния.

При обосновании дозы буферной добавки следует принимать во внимание, что она должна обеспечить ВКАБ в рационе в начале лактации на уровне 400 – 500 мЭкв/кг и в середине лактации: 350 – 400 мЭкв/кг.

В связи с высокой изменчивостью содержание калия в грубых кормах расчёт ВКАБ рациона необходимо проводить на основании результатов химического анализа компонентов рациона.

Действие рациона с ВКАБ, установленной на основании расчётов, не всегда сопровождается ожидаемыми результатами. Поэтому для обоснования выбора ВКАБ следует проводить анализ мочи. У лактирующих коров рН мочи должен быть в пределах 7,6 – 8,3. Показатель ниже 7,6 свидетельствует о том, что ВКАБ рациона следует повысить, иначе корова не достигнет возможного уровня продуктивности. Высокий рН мочи свидетельствует, что наблюдаются нежелательные отклонения в обмене веществ и продуктивность снижена, поэтому нужно убавить в рационе количество соды, или другой буферной добавки вплоть до полного их исключения и, если этого недостаточно, то снизить концентрацию калия путём подбора компонентов рациона.

В заключение добавим, что во время презентации о регуляции ВКАБ в рационах коров, один из руководителей хозяйства с высокопродуктивным стадом заявил, что у них на ферме были американцы, которые сказали, что они не обращают внимания на электролитный баланс. Что можно на это ответить? Американцы тоже бывают с разными знаниями. В России, не знают об электролитном балансе, хотя есть хозяйства, в которых продуктивность достигает 7-8 и более тысяч литров молока на голову. Однако никто не ответит на вопрос: сколько при этом недополучают молока, и насколько сокращается период использования коров. В сельскохозяйственных университетах США исследования в этом направлении активно проводятся последние двадцать лет - этот период совпал с развалом сельскохозяйственной науки в России и ни в одном научном коллективе работы по этой теме не проводили, поэтому информация в связи ВКАБ со спецификой местной кормовой базы отсутствует. Выше представленный обзор полностью основан на результатах, полученных в американских университетах, поэтому заявлять, что в Америке на этот показатель не обращают внимания не верно.

В настоящее время выявлен биохимический механизм реализации действия электролитов корма на организм, который обеспечивает жизнедеятельность и его невозможно не принимать во внимание. Когда рацион для коров не контролируется по ВКАБ, выше упомянутый механизм, безусловно, функционирует, но на некотором случайно сложившемся уровне. Насколько этот уровень в конкретных условиях является оптимальным для протекания физиологических процессов остаётся не выясненным. Да и к тому же роль этого механизма для коров с продуктивностью ниже 4,5 – 5 тысяч литров не столь актуальна, потому что обмен веществ у них протекает менее напряжённо, чем у высокопродуктивных животных и некоторая несбалансированность между отдельными

путями обмена веществ не отражается заметно на продуктивности. Поэтому сомнения в значимости ВКАБ и необходимости его регулирования в рационах высокопродуктивных коров неуместны. ВКАБ – это новый для российских специалистов параметр, контроля качества рациона в молочном скотоводстве, который, не требуя больших расходов, позволит повысить экономику молочного скотоводства.

Список цитированной литературы

- Крюков В. С. 2011. Управление кислотосвязывающей способностью и электролитным балансом. Ж. «РацВетИнформ» №9 с 31 - 37.
- Крюков В. С. 2012. Что надо знать о кислотосвязывающей способности кормов. Ж. «РацВетИнформ» №1 с 32 - 37.
- Beede D.R., Hirschert E.M., Lough D.S., Sanchez W.K. and Wang C. 1989 Solubility of magnesium from feed grade sources in an in vitro+ abomasal system. Proc. Fa Dairy Prodn. Conf. p.1 – 4
- Belibasakis, N.G. and A. Triantos. 1991. Effects of sodium carbonate on milk yield, milk composition, and blood components of dairy cows in early lactation. J. Dairy Sci. v.74, p 467-473.
- Chan, J.C.M. 1974. The influence of dietary intake on endogenous acid production. Nutr. Metab.v. 16, p.1-9.
- Chan, J.C.M. 1981. Nutrition and acid-basemetabolism. Fed. Proc.. v. 40, p 2423 – 2428.
- Delaquis A.M. and E. Block. 1995. Dietary cation-anion difference, acid-base status, mineral metabolism, renal function, and milk production of lactating cows. J. Dairy Sci. v. 78 p.2259-2268 .
- Dschaak C. M., J.-S. Eun , A. J. Young, R. D. Stott and S. Peterson. 2010. Effects of Supplementation of Natural Zeolite on Intake, Digestion, Ruminal Fermentation, and Lactational Performance of Dairy Cows. The Professional Animal Scientist. v. 26 (2010), p.647–654
- Edwards, SA and DA Poole. 1983. The effects of including sodium bicarbonate in the diet of dairy cows in early lactation. Anim. Prod. v. 37 p. 183-191.
- Enemark, J.M.D., 2008. The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): A review. Vet. J., 176: 32-43.
- Ender F, Dishington IW, Helgebostad A: Calcium balance studies in dairy cows under experimental induction and prevention of hypocalcaemic paresis puerperalis. Z. Tierphysiol., Tierernahrg. und Futtermittelkde. 1971, 28, 233-256.
- Erdman, R. A., R. L. Botts, R. W. Hemken, and L. S. Bull. 1980. Effect of dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide on production and physiology in early lactation. J. Dairy Sci. V.63: p.923-930.

Erdman, R. A., R. W. Hemken, and L. S. Bull. 1982. Dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide for early postpartum lactating dairy cows: Effects on production, acid-base metabolism, and digestion. *J. Dairy Sci.* v. 65, p.712-731.

Erdman R.A. 1988. Dietary buffering requirements of lactating cow: A review. *J Dairy Sci.* v. 65, 712-731.

Escobosa, A., C.E. Coppock, L.D. Rowe Jr., W.L. Jenkins and C.E. Gates, 1984. Effects of dietary sodium bicarbonate and calcium chloride on physiological responses of lactating dairy cows in hot weather. *J. Dairy Sci.*, v. 67, p. 574-584.

Faser J. 2010. Keep sodium bicarbonate for buffering in dairy cow rations. *American dairymen.* V.36. N 02. p.10-14.

Gabel, G., M. Bestmann, and H. Martens. 1989. Bicarbonate transport in rumen; effects of diet and of short chain fatty acids and chloride. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* v. 62 p.20-21.

Caddisa, K.A., L.D. Muller and T.F. Sweeney. 1988. Sodium sesquicarbonate for early lactation dairy cows fed corn silage based diets. *J. Dairy Sci.* v. 71 p. 381-392.

Garry F.B. 2002 цит по: Enemark J.M.D. 2008

Ghorbani, G.R., JA Jackson and R.W. Hemken. 1989. Effects sodium bicarbonate and sodium sesquicarbonate on animal performance, ruminal metabolism and systemic acid base status. *J. Dairy Sci.* v. 72 p. 2039-2046.

Griffel, L.A., W.K. Sanchez, R.C. Bull, R.F. Rynk, M.A. Guy, and B.A. Swanson. 1997. Effects of dietary protein and sodium or potassium buffers during summer on lactational performance, acid-base status and nitrogen metabolism of dairy cows. *J. Dairy Sci.* v. 80(Suppl. 1):241.

Hasan Z.-U., Sarwar M, Iqbal Z. and Mahmood S. 2001. Dietary Cation Anion Balance in the Ruminants I-Effects during Early Lactation. *Int. J. Agri. Biol.*, v. 3, p.243 – 249.

J. P. Goff, R. Ruiz, R. L. Horst. 2004. Relative Acidifying Activity of Anionic Salts Commonly Used to Prevent Milk Fever. *J Dairy Sci.* v. 87. p. 1245-1255

Horst RL, Goff J, Reinhardt TA, Buxton DR: Strategies for preventing milk fever in dairy cattle. *J.Dairy Sci.* 1997, 80, 1269-1280.

Hu, W. and M.R. Murphy. 2004. Dietary Cation-Anion Difference Effects on Performance and Acid-Base Status of Lactating Dairy Cows: A Meta-Analysis. *J. Dairy Sci.* v. 87 p. 2222 - 2233.

Hutjens, M.F., 1991. Feed additives. *Veterinary clinics of North America.* Food Animal Practice 7, 525–540.

Krause K. M. 2008 . To Buffer or Not? Supplemental Bicarb and Subacute Ruminant Acidosis. http://ag.arizona.edu/ANS/swnmc/Proceedings/2008/06Krause_08

Krause K. M. Dhuyvotter D.V. and Oetzel G. R2009 Effect of low-moisture buffer block on ruminal pH in lactating dairy cattle induced with subacute ruminal acidosis. *J. Dairy Sci.* v. 92, p. 352 – 364.

Loften, J.R. and D.R. Mertens. 1979. The effect of sodium bicarbonate, forage source and NDF level on feed intake, milk production and milk constituents. *J. Dairy Sci.* 62(Suppl. 1): 141. (Abstr)

Matrone, G.,H. A. Ramsey, and G.H. Wise. 1959. Effect of volatile fatty acids, sodium and potassium bicarbonate in purified diets for ruminants. *Proc. Soc. Exp. Bio. Med.* v. 100 p.8- 12.

Miller G. 2007. Buffers in dairy rations. p. 1 – 3. <http://www.premierchemicals.com>

Mongin, P. 1980. Electrolytes in nutrition: Review of basic principles and practical application in poultry and swine. In *Third Ann. Int. Mineral Conf.* Orlando, FL, p 1.

Mukmin A. and Weng R. C. 2012. Effect of additional magnesium oxide for ruminant consuming high ratio concentrate diets. (Literature Review). Lecture in Animal Science - National Pingtung University of Science and Technology – Taiwan. Kamis, 12 Januari 2012

NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 2001. National Research Council. National Academic Press. Washington, D.C. 2001.

Paton, L. J., Beauchemin, K. A., Veira, D. M. and von Keyserlingk, M. A. G. 2006. Use of sodium bicarbonate, offered free choice or blended into the ration, to reduce the risk of ruminal acidosis in cattle. *Can. J. Anim. Sci.* v.86 p. 429–437.

Peirce, S. B., L. D. Muller, and H. W. Harpster. 1983. Influence of sodium bicarbonate and magnesium oxide on digestion and metabolism in yearling beef steers abruptly changed from high forage to high energy diets. *J. Anim. Sci.* v.57. p.1561-1567.

Russell J.B , Chow J.M. Another theory for the action of ruminal buffer salts: decreased starch fermentation and propionate production. 1993 *J Dairy Sci.* v. 76 p. 826-830.

Sanchez, W. K. 1999. Another new look at DCAD for the postpartum dairy cow. *Mid-South Ruminant Nutrition Conference*, Dallas-Fort worth, TX, p79- 86.

Sanchez W. K., 2000. Potassium and Other Macrominerals for the Lactating Dairy Cow. *Advances in Dairy Technology* (2000). v. 12, p 127 – 140.

Shaver R.D., Armentano L.E., Crowley J.W. 1991. Dietary buffers for dairy cattle. *Cooperative extension publ. Madison, Wisconsin.* A 3436. P..1 – 4.

Singh N, 2005. A model to predict fluctuations in rumen pH. Thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. p. 93

Staples C. R. Lough D.S. 1989 Efficacy of supplemental dietary neutralizing agents for lactating dairy cows. A review. *Animal Feed Sci. Tech.* v. 23. p. 277-303.

Stone WC, 1999. The effect of subclinical rumen acidosis on milk components. In: *Proceedings Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers*, Cornell University, Ithaca, New York, p. 40-46.

Teh, T. H., R. W. Hemken, and R. J. Harmon. 1985. Dietary magnesium oxide with sodium bicarbonate on cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* v. 68 p.:881-890.

Tucker, W.B., G.A. Harrison and R.W. Hemken. 1988. Influence of dietary cation-anion balance on milk, blood, urine and rumen fluid in lactating dairy cattle. *J. Dairy Sci.* v.71 p. 346-354.

Tucker, W.B. and J.F. Hogue. 1990. Influence of sodium chloride or potassium chloride on systemic acid-base status, milk yield, and mineral metabolism in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, v. 73 p.34853496.

Wang, C. and D.K. Beede. 1992. Effects of diet magnesium on acid-base status and calcium metabolism of dry cows fed acidogenic salts. *J. Dairy Sci.* v.75, p. 829- 836.

West J.W., Coppock C.E., Nave D.H., Schelling G.T.1986. Effects of potassium buffers on feed intake in lactating dairy cows and on rumen fermentation in vivo and in vitro. *J. Dairy Sci.* v. 69, p. 124–134.

West, J.W., C.E. Coppock, D.H. Nave, J.M. Labore, and L.W. Greene. 1987a Effects of potassium carbonate and sodium bicarbonate on rumen function in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* v.70 p.81- 92.

West, J.W., C.E. Coppock, K.Z. Milam, D.H. Nave, and J.M. Labore. 1987b. Potassium carbonate as a potassium source and dietary buffer for lactating cows during hot weather. *J. Dairy Sci.* v.70 p.:309-318.

West, J.W., K.D. Haydon, B.G. Mullinix, and T.G. Sandifer. 1992. Dietary cation-anion balance and cation source effects on production and acidbase status of heat-stressed cows. *J. Dairy Sci.* v. 75 p. 2776-2784.