

## ПИТАНИЕ

УДК 636.4.084.5.085.1

doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.3.87-97

### УПРАВЛЕНИЕ КИСЛОТOSВЯЗЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТЬЮ И ЭЛЕКТРОЛИТНЫМ БАЛАНСОМ В КОРМАХ ДЛЯ СВИНЕЙ

<sup>1</sup>Крюков В.С., <sup>2</sup>Глебова И.В., <sup>3</sup>Зиновьев С.В., <sup>4</sup>Новикова О.Б.

<sup>1</sup>ООО «Ветфармстандарт», Москва; <sup>2</sup>Курская ГСХА, Курск, <sup>3</sup>ВНИИПП - филиал ФНЦ «ВНИТИП» РАН; <sup>4</sup>ВНИВИП - филиал ФНЦ «ВНИТИП» РАН, Российская Федерация

Хотя органические кислоты давно используются в качестве кормовых добавок, результаты их применения неустойчивы. Рекомендации по применению импортных препаратов ОК зачастую не имеют достаточного научного обоснования, если не учитывают реальных величин КСС и КАБ рационов. Цель данной работы – систематизация данных экспериментальных исследований по изучению влияния кислотосвязывающей способности кормов и величины электролитного баланса на продуктивное действие у поросят и свиноматок. Основные разделы: кислотосвязывающая способность корма (КСС), катионно-анионный баланс (КАБ), взаимосвязь КСС и КАБ, влияние кормов с различным КАБ на физиологическое состояние и продуктивность поросят, влияние отрицательного КАБ у свиноматок. Проанализированы данные исследований, в которых поросятам в корм добавляли муравьиную, фумаровую, масляную кислоты или бензоат кальция, которым заменяли углекислый кальций. Поросята были подвергнуты операции с наложением илео-цекального анастомоза и фистулы для отбора кишечного химуса. Муравьиная и фумаровая кислоты оказались неэффективными при включении в рационы поросят, выращиваемых в интервале от 30 до 100 кг ЖМ, несмотря на то, что они существенно снижали рН содержимого кишечника при потреблении кормов с низкой КСС. Действие элементов, входящих в формулу расчёта КАБ, проявляется в организме после их всасывания в результате воздействия на электролитный баланс и кислотно-щелочной резерв организма. Вариации КАБ на фоне разных рационов неодинаково влияют на обмен веществ и на продуктивность. Приведены ориентировочные величины кислотосвязывающей способности и электролитного баланса кормов для свиней. В критические периоды роста поросят – со времени отъёма и в последующие 3 недели целесообразно скармливать корма, КАБ которых составляет от -70 до 0 мэкв/кг, затем баланс ионов корма повышают до 120-250 мэкв/кг. Корма с отрицательным балансом (от 0 до -70 мэкв/кг) следует скармливать свиноматкам, начиная за 7-10 дней до опороса и в последующие 7 дней после него. Имеющиеся в литературе нормативы по электролитному балансу кормов для свиней являются ориентировочными и требуют уточнения в конкретной ситуации. Надёжным критерием для принятия решения об оптимальной величине КАБ является рН мочи.

*Ключевые слова:* корма для свиней, органические кислоты, кислотосвязывающая способность, электролитный баланс кормов

*Проблемы биологии продуктивных животных, 2018, 4: 87-97*

#### Введение

Изучение влияния щелочных и кислотных элементов рациона на обмен веществ привлекает специалистов с начала прошлого века. Интерес к использованию органических кислот (ОК) в кормлении животных тоже занимает внимание около 60 лет. На основе полученных знаний созданы кормовые добавки для регуляции обмена веществ, но эффективность их не одинакова, поскольку принципы их разработки, критерии оценки и цели создания были разными. В большинстве случаев предлагаемые продукты позитивно влияют

на продуктивность, однако исследования продолжаются, так как имеющиеся знания не обеспечивают устойчивого получения ожидаемых результатов. Даже в одних и тех же стадах эффект может не проявляться или пропадать после длительного получения положительных результатов. Это обусловлено тем, что не выявлены те отдельные факторы, которые могут изменять положительную ответную реакцию.

Цель данной работы – систематизация данных экспериментальных исследований по изучению влияния кислотосвязывающей способности кормов и величины электролитного баланса на продуктивные эффекты у поросят и свиноматок.

### **Кислотосвязывающая способность**

Электролитный баланс кормов функционально связан с величиной кислотосвязывающей способности (КСС). Несмотря на кажущуюся простоту (оттитровали суспензию корма, установили величину КСС и можно судить о качестве корма), однако анализ зарубежных публикаций (в России это направление не разрабатывается) показывает, что существуют как методологические, так и методические различия при выполнении научных работ в этой области, которые создают трудности в проведении сравнительной оценки полученных результатов. Исследования проводят в неодинаковых условиях и ставят при этом разные цели. Из ряда публикаций у авторов статьи вызвали интерес исследования, в которых в гроуэр для поросят вводили разные кислоты. В работе (Mroz et al., 2000) поросятам 2-й–4-й групп добавляли муравьиную, фумаровую или масляную кислоты из расчёта 300 мэкв/кг. В корм 5-й–8-й групп добавили бензоат кальция (24 г/кг), которым заменяли углекислый кальций, и те же кислоты. Рацион поросят 1-й группы отличался от рациона 5-й более высоким значением КСС. Поросята были подвергнуты операции с наложением илеоцекального анастомоза и фистулы для отбора кишечного химуса.

Добавление к корму 2-й и 3-й групп фумаровой и муравьиной кислот понижало КСС и рН корма, тогда как масляная кислота (4-я группа) не повлияла на величину КСС и слабо понизила рН. Исходя из того, что во все рационы добавляли по 300 мэкв/кг испытуемых кислот, можно было ожидать, что на близкую величину снизится величина КСС корма, однако реальное снижение её во 2-й и 3-й группах составило всего 61-95 мэкв/кг, и она совсем не изменилась в 4-й группе (табл. 1).

Включение бензоата кальция в корм 5-й группы снизило КСС, и на этом фоне в кормах 6-й, 7-й и 8-й групп происходило его дальнейшее снижение, то есть отмечено взаимоусиливающее действие ОК и бензоата кальция. В присутствии бензоата кальция проявилось действие масляной кислоты, которое не было заметно в 4-й группе с высокой КСС корма. На основании представленных данных можно прийти к выводу, что, несмотря на имеющиеся указания на возможность расчёта КСС рациона по сумме значений для входящих в его состав компонентов (Lawlor et al., 2005), это утверждение не пригодно для всех случаев, и надёжным остаётся определение КСС готового корма путём проведения химического анализа.

Кислотность химуса подвздошной кишки не изменялась под влиянием муравьиной, фумаровой и масляной кислот на фоне высокой КСС (2-я – 4-я группы). В то же время уровень рН химуса 5-й группы под влиянием бензоата кальция снизился на 1,43 и КСС – на 162 мэкв/кг. По-видимому, это можно объяснить тем, что анион бензойной кислоты не так быстро всасывается и метаболизируется в желудочно-кишечном тракте, как другие ОК и в результате понижает в нём кислотность (Maribo et al., 2000). На фоне пониженной буферной ёмкости корма (6-я – 8-я группы) органические кислоты вызвали дальнейшее снижение рН, но по действию они между собой существенно не различались. Под влиянием испытанных кислот в этих группах повысились переваримость протеина и использование азота корма, однако при скармливании комбикормов с высокой КСС среднесуточный прирост живой массы возрос только под влиянием масляной кислоты. Добавка в корм бензоата кальция несколько повысила прирост ЖМ в 5-й группе, и ещё больше он увеличился при

дополнительном включении в корм масляной кислоты. Муравьиная и фумаровая кислоты в этом случае оказались неэффективными при включении в рационы поросят, выращиваемых в интервале от 30 до 100 кг ЖМ, несмотря на то, что они существенно снижали рН содержимого кишечника при потреблении кормов с низкой КСС (Mroz et al., 2000). Авторы считают, что принятая ими в опыте дозировка бензойной кислоты могла быть высокой и, ссылаясь на других исследователей, указывают, что более подходящей является доза 15 г/кг (Lenis et al., 1998) или даже 5 кг/т (Bühler, 2009).

На основании многочисленных исследований пришли к выводу, что даже высокие дозы (10-30 кг/т) органических и неорганических кислот в большинстве случаев заметно не влияют на рН кишечного содержимого, хотя при этом они повышают продуктивность поросят (Gauthier, 2002). Изменение КСС корма влияет на продуктивность гораздо больше, чем добавление в него отдельных кислот. Высокая кислотосвязывающая способность корма может исключать проявления действия добавок ОК и даже снижать продуктивность животных, то есть повышение продуктивности под влиянием ОК зависит от кислотосвязывающей способности корма (Walsh et al., 2004).

*Таблица 1. Влияние органических кислот на кислотосвязывающую способность, рН корма, мочи, использование протеина и прирост живой массы поросят \**

Показатели	Группы							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Высокая КСС (ОР)				Низкая КСС (ОР+ бензоат кальция)			
Добавленная в корм кислота, доза (г/кг)	-	Муравьиная, 13,8	Фумаровая, 17,6	Масляная, 26,7	-	Муравьиная, 13,8	Фумаровая, 17,6	Масляная, 26,7
КСС** корма, мэкв/кг	632	571	537	638	578	535	497	489
Разница с 1-й группой	-	-61	-95	+6	-54	-97	-135	-143
Разница с 5-й группой	-	-	-	-	-	-43	-81	-89
рН корма	5,79	5,00	4,81	5,23	5,38	4,63	4,36	4,89
рН химуса подвзд. кишки	8,12	7,86	8,02	8,08	6,69	6,29	6,02	6,15
КСС химуса кишки, мэкв/кг	1848	1668	1711	1781	1686	1640	1680	1713
рН мочи	7,32	7,05	7,22	7,41	5,79	5,65	5,62	5,58
Потребление корма, г/сут.	2151	2145	2126	2106	2147	2146	2147	2134
Потребление воды, кг/сут.	10,57	8,98	7,64	7,59	8,28	7,79	7,72	9,57
Переваримость протеина, %	69,0	73,2	72,3	74,2	72,2	73,0	71,9	73,9
Использование протеина, %	48,3	53,2	51,2	52,3	48,7	53,0	47,4	54,4
Среднесуточный прирост, г	824	743	784	863	849	803	843	909

Примечания: \* адаптировано по (Mroz et al., 2000). \*\*Корм титровали 0,1 н HCl до рН 3.

Поросята-отъемыши, получавшие комбикорма с низкой КСС росли лучше, чем с высокой. Логично ожидать, что добавка ОК к кормам с высокой КСС вызовет её снижение и, как следствие, – улучшение продуктивности. Действительно, в ряде случаев рост поросят и особенно – эффективность использования корма, повышались, однако действие ОК оказывается выше при добавлении в корма с низкой КСС (Partanen, Mroz, 1999).

Содержание минералов в кормах и их химическая природа являются ведущим фактором, определяющим величину КСС (Bolduan et al., 1988; Jasatis et al., 1987). Она зависит от содержания щелочных элементов, которые преобладают в кормах, то есть количество катионов, входящих в состав электролитного баланса, прямо влияет на величину КСС. Присутствие в кормах одновременно щелочных и кислотных элементов и проявление их взаимосвязанного действия на обмен веществ, привело к мысли о необходимости объединения учёта этого влияния путём определения величины катионно-анионного баланса (КАБ). Установлено, что КСС кормов коррелирует ( $P < 0,001$ ) с КАБ (Lawlor, 1992).

### Катионно-анионный баланс

Расчёт КАБ проводят путём суммирования положительно и отрицательно заряженных ионов, которые образуются в желудочно-кишечном тракте в результате потребления корма, выражая их количество в единицах мэкв/кг. Величина КАБ – это сумма, которая имеет физический смысл, отражая баланс электрических зарядов ионов нормируемых веществ, не принимая во внимание биологическую роль каждого элемента. Расчёт величины катионно-анионного баланса можно проводить по разным формулам, каждая из которых имеет определённое научное обоснование.

Величина, рассчитанная по формуле:  $\text{Na} + \text{K} - \text{Cl}$ , в англоязычной литературе имеет название «пищевая катион-анионная разность» (dietary cation-anion difference) или «пищевой электролитный баланс» (dietary electrolyte balance, dEB). На ионный баланс влияют анионы сульфата и фосфата, поэтому для учёта их влияния иногда используют более сложные расчётные формулы. Эти ионы отличаются значительной изменчивостью по величине всасывания из кишечника, поэтому ожидаемое действие кормов на основании расчётной величины их электролитного баланса, может существенно отличаться от реального.

Расчёт КАБ по наиболее сложной формуле:

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

где: ВКАБ – величина баланса – мэкв/кг, % – содержание элемента в расчёте на сухое вещество корма; выделенные цифры – постоянные коэффициенты, которые используют во всех известных формулах.

Статистическая обработка результатов ряда исследований показала, что величины, полученные по формуле:  $(\text{Na} + \text{K}) - (\text{Cl} + 0.6 \text{ S})$ , в большей степени коррелировали с содержанием ионизированного кальция в плазме крови ( $R^2=0,84$ ), pH мочи ( $R^2=0,85$ ), потреблением корма ( $R^2=0,66$ ) и проявлением клиники родильного пареза ( $R^2=0,44$ ), по сравнению с величинами КАБ, рассчитанными по другим формулам (Goff et al. 2004).

Общим для известных формул является присутствие в них Na, K и Cl. Этим элементам характерна исключительно высокая доступность при всасывании. Различия состоят в том, что первую формулу чаще применяют для расчёта КАБ в рационах моногастричных животных, хотя убедительных доказательств этому выбору не существует. Сумма положительных или отрицательных ионов может оставаться постоянной в результате изменения величин отдельных слагаемых, отражающих количественное содержание конкретных элементов. Изменение их доли внутри суммы анионов и катионов будет накладывать специфическое и чаще негативное влияние на проявление действия электролитного баланса. При изучении влияния КАБ кормов приходится изменять количество отдельных элементов, неизбежно влияя на их соотношения, а это затрагивает фундаментальные аспекты физиологии обмена веществ, поскольку к эффекту электролитного баланса может добавиться физиологическое действие дефицита или избытка определённого элемента. В связи с этим указывают, что для точных рекомендаций по КАБ необходимо регламентировать соотношение между минералами, используемыми для расчёта (Block, Sanchez 2001).

Величину КАБ определяют для характеристики корма, тогда как действие элементов, входящих в формулу её расчёта, проявляется в организме после их всасывания в результате воздействия на электролитный баланс и кислотно-щелочной резерв организма. На всасывание минеральных веществ влияют многие факторы (Георгиевский и др., 1979). Вариации КАБ даже при равных числовых значениях на фоне разных рационов будут неодинаково влиять на обмен веществ и, следовательно, – на продуктивность.

До настоящего времени у физиологов ещё не отработаны в достаточной степени терминология, определяющая понятие КАБ и методы его расчёта. В научных статьях одно и то же смысловое значение может определяться разными словами и выражаться разными числовыми значениями. Не всегда достаточно детально описываются условия проведения

экспериментов, или исследователи упускают отдельные детали, считая их несущественными, поэтому величины КАБ, рекомендуемые для достижения оптимальной продуктивности, различаются и нередко оказываются действенными только для конкретных условий кормления и содержания животных.

Анализируя результаты научных исследований или рекомендации по величинам КАБ кормов, необходимо обращать внимание на формулу, по которой рассчитана рекомендуемая величина, так как при одинаковом содержании в корме элементов, входящих в состав корма, цифры, рассчитанные по разным формулам, могут различаться в несколько раз. В научной литературе можно встретить расчет КАБ на 100 г, 1 кг или 1 фунт корма, что также вносит путаницу при анализе рекомендуемых величин. Значения КАБ и КСС принято выражать в миллиэквивалентах, хотя иногда КАБ измеряют в миллимолях, а КСС – в миллилитрах 0,1 н соляной кислоты.

В большинстве случаев направленное изменение КАБ рационов проводят за счёт изменения содержания хлора, натрия и калия, так как именно эти элементы вносят наибольший вклад в суммарную величину электролитного баланса. Входящие в состав потреблённого вещества химические соединения, из которых в организм поступает одинаковое количество отрицательных и положительных зарядов, не повлияют на КАБ, и их не имеет смысла использовать для изменения КАБ в организме. Так, хлор из поваренной соли полностью поступает в организм и выполняет свою роль как элемент, но одновременно на каждый ион хлора в организм поступает равное количество катионов натрия, и в результате баланс положительно и отрицательно заряженных ионов не изменяется. Из хлористого кальция хлор всасывается почти полностью, тогда как кальций – меньше чем наполовину. В результате во внутренней среде организма формируется избыток отрицательных ионов хлора и величина КАБ в организме уменьшается. При включении в рацион хлористого аммония оба иона всасываются почти полностью, но затем аммоний быстро нейтрализуется, превращаясь в мочевины, при этом образуется свободный ион водорода, который ведёт к понижению pH. В то же время ион хлора остаётся без изменения, сдвигая анионный баланс внутренней среды организма в негативную сторону. Источниками анионов также могут быть серноокислые соли кальция, магния и аммония и в меньшей мере – фосфорнокислые соли

Органические кислоты, так же как и анионогенные элементы (хлор, сульфат и фосфат) снижают pH корма и часто – содержимого желудка, но их включение в корма не приводит к изменению рассчитываемой величины КАБ, поскольку их ионы не входят в формулы его расчёта. Это обусловлено тем, что анионы органических кислот после всасывания включаются в обмен веществ и не генерируют протонов, и поэтому не влияют на баланс содержания ионов в организме. При этом соли щелочных металлов органических кислот могут даже сдвигать КАБ в щелочную сторону, потому что их катионы входят в формулы расчёта величины КАБ (Kienzle. 1991).

#### **Взаимосвязь кислотосвязывающей способности и катионно-анионного баланса**

Опубликован ряд научных статей и обзоров, посвящённых изучению механизма действия кормов с различными величинами КСС, КАБ кормов и обоснованию их оптимальных уровней в кормах для животных. В то же время без внимания остаётся анализ совместного изучения результатов этих близких параметров корма и не все специалисты знают об этой связи.

Представляют интерес исследования, проведенные на поросятах-отъёмышках с живой массой 7,5 кг. Приготовленные для них комбикорма на основе кукурузы (65%) и соевого шрота (25%), имели обычную (+192 мэкв/кг) и отрицательную (-125 мэкв/кг) величины КАБ. Отрицательный электролитный баланс корма создавали путём замены в рационе углекислого кальция на хлористый кальций (Dersjant-Li et al., 2001a). В корме с положительным КАБ содержание натрия, калия и хлора составляло 2,16; 7,71 и 3,5 г/кг, с отрицательным КАБ – 2,12; 7,80 и 14,8 г/кг соответственно, то есть рационы отличались только по содержанию

хлора. В первом рационе величина КСС составляла 749 и во втором – 486 мэкв/кг (при рН 3), несмотря на то, что в корм с отрицательным КАБ не включали кислот, его рН снизился с 6,3 до 5,3. Это оказало влияние на рН химуса желудка – он также снизился с 4,33 до 3,71. Однако уже в верхнем и нижнем отделах тонкого кишечника величина рН не зависела от состава рациона. КСС содержимого желудка составляла 462 и 299 мэкв/кг соответственно, а в верхнем и нижнем отделах тонкого кишечника она повысилась в несколько раз и не была связана с параметрами рациона.

Таким образом, снижение КАБ рациона за счёт увеличения в нём содержания доступного хлора привело к снижению КСС и рН корма и химуса желудка. Скармливание поросётам корма с отрицательным КАБ увеличило его потребление с 395 до 503 г/сутки и прирост ЖМ с 268 до 319 г/гол/сутки. Эффективность использования корма не изменилась, то есть торможение роста на рационе с КАБ, равном +192 мэкв/кг обусловлено угнетением аппетита.

Затем, не меняя основных параметров рационов, в них увеличили содержание некрахмальных полисахаридов (НКС) с 10 до 15%; в результате снизился КАБ рациона, а также рН и КСС корма, но в этом опыте, в отличие от предыдущего, не было отмечено влияния электролитного баланса на рН и КСС содержимого желудка и кишечника. Если на фоне рациона с низким КАБ и 10% НКС потребление корма увеличивалось, то на фоне 15% НКС, наоборот, аппетит и прирост живой массы поросят снизились (Dersjant-Li et al., 2001a). Таким образом, можно заключить, что изменчивость результатов при изучении влияния КАБ на продуктивность может быть связана с такими факторами, на которые редко обращают внимание при изучении минерального обмена, и их не учитывают в условиях практического животноводства.

Позднее эти же авторы провели исследования на поросётах 5-недельного возраста, которым скармливали комбикорма с уровнями КАБ -100, +200 и +500 мэкв/кг (рассчитано по формуле:  $Na + K - Cl$ ). При этом прирост живой массы составил 484, 657 и 603 г/гол/сутки соответственно. Переваримость сухого вещества и протеина возрастала с увеличением КАБ корма (Dersjant-Li et al., 2001b). Принципиальные различия результатов двух опытов у одних и тех же исследователей обусловлены тем, что в период отъёма у поросят происходят изменения в пищеварении в связи с переходом от потребления молока к твёрдой растительной пище, которые сопровождаются неполным перевариванием корма в тонком кишечнике. В результате повышается доступность питательных веществ для условно-патогенной микрофлоры, обитающей в толстом кишечнике, что стимулирует её размножение с вытекающими негативными последствиями. В первом опыте при потреблении корма с отрицательным КАБ у поросят снижался рН содержимого желудка, это способствовало лучшей переваримости протеина корма и меньшему поступлению непереваренных веществ в толстый кишечник и предупреждало активное развитие микрофлоры. Поэтому корм с отрицательным КАБ для поросят в период отъёма оказывается предпочтительным. Во втором опыте поросята были старше и уже прошли критический период, связанный со стрессом отъёма, и у них сформировался новый тип пищеварения, поэтому для них более подходящим становится корм с положительным КАБ.

Полученные результаты согласуются с более ранними наблюдениями, в которых в корме поросят-отъёмышей, начиная с первого дня отъёма, увеличивали содержание хлора (снижая КАБ). Установили, что в течение первых двух недель после отъёма происходило повышение потребления корма – на 17%, среднесуточных привесов – на 22,7% и эффективности использования корма. В дальнейшем, с 3-й по 5-ю недели после отъёма, когда у поросят, в основном, завершился послеотъёмный период, эффективность корма с пониженным КАБ снижалась, даже было отмечено угнетение аппетита, потребление корма уменьшалось на 7,4%, прирост живой массы – на 2,6% (Mahan et al., 1996).

Несмотря на связь между КСС и КАБ и то, что их величины выражаются в одних и тех же единицах, они характеризуют разные свойства рациона. Механизм действия подкислителей

связывают с угнетением роста условно-патогенной микрофлоры желудочно-кишечного тракта, а ВАБ – с изменением баланса отрицательных и положительных зарядов в организме. Величины КАБ и КСС характеризуют рацион с разных сторон, хотя эти показатели взаимосвязаны.

### **Влияние кормов с различным катионно-анионным балансом на физиологическое состояние и продуктивность поросят**

В исследовании (Patience, Chaplin, 1997) значение КАБ рациона, приготовленного на основе ячменя (79,6%) и соевого шрота (16,3%), составило 163 мэкв/кг (формула  $Na + K - Cl$ ), а при замене углекислого кальция на хлористый, оно снизилась до -20 мэкв/кг. При скормливании этих кормов снижение КАБ обусловило повышение прироста живой массы поросят с 473 до 547 г/сутки и уменьшение расхода корма на прирост живой массы с 1,87 до 1,62 кг/кг. Доступность натрия из корма и хлора не зависела от КАБ, тогда как для других элементов она изменялась с повышением электролитного баланса. Усвоение магния и фосфора слабо снижалась при потреблении корма с низким электролитным балансом, при этом ретенция кальция упала в 2 раза. Усвоение хлора резко снижалось в результате многократного увеличения выделения его с мочой, а натрия – возрастало в несколько раз. Баланс калия не зависел от состава рационов.

Как указывалось ранее, период отъёма является критическим для поросят-отъёмышей в связи с перестройкой пищеварения. Первые 2-3 недели после отъёма для них более подходящим будет комбикорм с отрицательной КАБ, в пределах от -70 до 0 мэкв/кг (рассчитано по формуле:  $Na + K - Cl$ ). Величина КАБ типичных комбикормов для отъёмышей составляет +150 ... +220 мэкв/кг, поэтому они отзывчивы как на понижение КАБ корма, так и добавки ОК. В рекламе ОК слишком много внимания уделяется их возможности повышать кислотность содержимого желудка и кишечника и в результате тормозить размножение микроорганизмов. Однако это слишком упрощённое предположение, которое не всегда проявляется. ОК самостоятельно влияют на переваримость протеина, всасывание аминокислот и их внутриклеточный обмен. С кислотностью связана определённая игра понятий: «кислоты ↔ кислотность» – это первое, что узнают технологи хозяйств во время поверхностного знакомства с ОК. Продуктивность может повышаться даже в тех случаях, когда кислоты не влияют на рН содержимого желудочно-кишечного тракта или его микробную популяцию.

Снижение величины КАБ корма для поросят в ростовой период сопровождается угнетением аппетита и торможением роста поросят. Так, увеличение КАБ рациона с -85 до 0, +100, +175, +277 и +341 мэкв/кг повышало рост поросят только при увеличении КАБ до 0 и затем он мало изменялся в дальнейшем. Эти результаты подтверждают, что корма с отрицательной величиной КАБ благоприятно влияют на поросят только в первые 2-3 недели после отъёма. Описанный опыт проводили на поросятах, прошедших критический послеотъёмный период, поэтому больший прирост был получен при потреблении кормов с величиной КАБ от +175 до +277 мэкв/кг (Patience et al., 1987). В некоторых экспериментах наблюдали угнетение аппетита при снижении КАБ корма (Yen et al., 1981), что не является неожиданным, так как добавляемые в корм хлористый кальций и другие ацидогенные соли горькие и могут ограничивать потребление корма.

Для поросят в ростовой период оптимальная величина КАБ комбикорма находится в диапазоне от 120 до 275 мэкв/кг. Коэффициенты корреляции между КАБ и ростом поросят варьирует в пределах 0,84-0,90 (Qniniou, 2002).

### **Влияние отрицательного катионно-анионного баланса у свиноматок**

Корма с низкой величиной КАБ оказывают положительное влияние на физиологическое состояние свиноматок во время опороса и в начале лактации. Этот период для взрослых свиней является критическим и требует особого внимания. Последние дни перед опоросом и сразу после него характеризуются низким усвоением кальция,

сопровождающимся гипокальциемией, которой могут сопутствовать клинические признаки, или она протекает в субклинической форме. Заболевание обусловлено ослаблением функционирования механизмов, контролирующих поступление кальция в кровь из костей. Его эффективность падает при скармливании свиноматкам типичных кормов с КАБ от +185 до +220 мэкв/кг. Низкая концентрация кальция в крови сопровождается падением тонуса мышц, в том числе и мышц матки, что ведёт к увеличению продолжительности опороса. Время от начала опороса до рождения последнего поросёнка увеличивается настолько, что последние поросята подвергаются внутриутробной гипоксии и рождаются ослабленными или мёртвыми. Происходит задержка последа со всеми вытекающими последствиями. Кроме того у таких свиноматок ослабляется секреция окситоцина, и они продуцируют меньше молока (Cline, Ricbert, 2001), в результате происходит торможение роста поросят.

Другая проблема этого периода связана с тем, что при относительно высоком КАБ корма у свиноматок снижается кислотность мочи, возрастая до рН 7 и более, при этом создаются условия для развития микрофлоры в мочеполовых путях. Инфекции мочеполового тракта особенно широко распространены у свиноматок второго опороса и старше. На основании многочисленных наблюдений установлено, что мочеполовым инфекциям могут подвергаться от 15 до 80% поголовья. При поражении мочевого пузыря микрофлора может подниматься до почек, вызывая пиелонефриты. Заболевания могут сопровождаться отёком вымени, метритом, и агалактией (Padoan, 2008). При понижении КАБ корма до отрицательных значений возрастает мобилизация кальция из костей и повышается его концентрация в крови, что нормализует тонус мышц и опорос протекает более активно. Одновременно повышается поступление в кровь  $H^+$ . Избыточные катионы водорода выделяются через почки (Seldin, Giebisch, 1989) ухудшая условия для размножения микроорганизмов в мочеполовом тракте.

Таблица 2. Влияние кормов с различным катионно-анионным балансом у свиноматок\*

Параметры	КАБ корма, мэкв/кг				
	0	100	200	350	500
	Потребление корма, кг/гол./сут.				
	5,2	5,6	5,5	5,4	5,6
	Кровь				
рН	7,33	7,36	7,39	7,41	7,43
$HCO_3^-$ , ммоль/л	19,0	21,4	25,1	25,5	28,8
Na, ммоль/л	145,0	145,5	144,7	145,0	145,3
K, ммоль/л	5,0	4,9	4,7	4,7	4,7
Cl, ммоль/л	109,8	108,0	104,0	102,4	101,4
КАБ, мэкв/л	40,2	42,4	45,4	47,3	48,6
Ca ионизированный, мг/дл.	5,5	5,3	5,2	5,1	5,0
	Моча				
рН	4,87	5,01	6,64	7,00	7,70
КОЕ, lg	3,86	4,00	4,15	4,27	4,19
	Воспроизводство				
Поросят/опорос, гол.	10,7	10,5	10,5	10,3	10,3
Выжило к 10 дням, %	94,7	93,0	92,9	91,5	91,2
Выжило к 21 дню, %	92,9	91,1	89,3	88,6	87,8

Примечание: \*адаптировано по (DeRouchey et al., 2003).

В исследованиях, проведённых на супоросных свиноматках, использовали комбикорм, который был приготовлен на основе пшеницы, ячменя и соевого шрота с величиной КАБ +375 мэкв/кг. Применяя ацидогенные добавки, электролитный баланс снижали до +169, +38 и -93 мэкв/кг. В результате скармливания этих кормов за 10 дней до опороса рН мочи снижался с 7,2 до 6,8; 6,6 и <6,3 (Höhler et al., 2000).

В более детальном исследовании изучали влияние на свиноматок кормов с КАБ от 0,0 до +500 мэкв/кг. Экспериментальные корма скармливали в течение 20 дней, начиная с 109 дня супоросности (DeRouchey, 2003). Аппетит был несколько ниже у маток, получавших корм с КАБ 0,0 мэкв/кг (табл. 2). С ростом КАБ потребляемого корма возрастал рН крови, одновременно повышался уровень  $\text{HCO}_3$ . Важно отметить, что при минимальном КАБ корма в крови было установлено максимальное содержание ионизированного кальция. На этом фоне происходило снижение рН мочи. При потреблении обычных кормов, в которых величина КАБ может быть в пределах от +200 до +500 мэкв/кг, что ведёт к защелачиванию мочи и образованию кристаллов солей, которые в свою очередь активируют рост патогенной микрофлоры. Из табл. 2 следует, что при снижении КАБ корма прогрессивно падала контаминация мочи микроорганизмами и закономерно возрастала сохранность поросят. В данном случае в корма для свиноматок был включён хлортетрациклин в дозе 100 мг/кг, поэтому исходный уровень микроорганизмов в моче был понижен, и его дальнейшее снижение происходило под влиянием испытываемых кормов. Исследователи пришли к выводу, что в условиях опыта наибольший эффект получен при скармливании кормов с минимальным КАБ. В другом эксперименте также наблюдали, что снижение КАБ типичного кукурузно-соевого рациона вызывало снижение рН мочи, содержания в ней микробных клеток и повышало число выживших поросят-отъёмышей (DeRouchey et al., 2000).

### **Заключение**

Подводя итог обзору исследований по изучению влияния кислотосвязывающей способности и катионно-анионного баланса кормов на продуктивность свиней, отметим, что, хотя органические кислоты давно используются в качестве кормовых добавок, результаты их применения неустойчивы. Последнее связано с тем, что их эффективность зависит от величин КСС и КАБ, которые в практике хозяйств не учитывают. В исследованиях отечественных учёных это направление не разрабатывается. Рекомендации по применению импортных препаратов ОК, которые дают их продавцы, зачастую не имеют достаточного научного обоснования, поскольку не учитывают реальных величин КСС и КАБ рационов. Определение КСС не представляет сложности даже для лаборатории, располагающей простейшим оборудованием. Рекомендации по использованию расчётного метода определения этого показателя считаем преждевременными.

Важным приёмом повышения сохранности и роста поросят отъёмышей, а также продуктивности свиноматок является регулирование величины КАБ рационов. Этот показатель является расчётной величиной, для определения которой необходимо определить сумму катионов и анионов нормируемых элементов. В обычных рационах преобладают минеральные вещества, из которых в организм поступает больше катионов, поэтому баланс ионов выражается положительной величиной, которая может находиться в пределах от +120 до +400 мэкв/кг корма. В критические периоды роста поросят – со времени отъёма и в последующие 3 недели целесообразно скармливать корма, КАБ которых составляет от -70 до 0 мэкв/кг, затем баланс ионов корма повышают до 120-250 мэкв/кг. Корма с отрицательным балансом (от 0 до -70 мэкв/кг) целесообразно скармливать свиноматкам, начиная за 7-10 дней до опороса и в последующие 7 дней после него. Выше приведенные нормативы КАБ являются ориентировочными и требуют уточнения в конкретной ситуации. Надёжным критерием для принятия решения об оптимальной величине КАБ является рН мочи.

Расчёт КАБ и приёмы изменения этого показателя в нужном направлении не требует больших затрат, позволяя улучшить здоровье животных и получить существенную прибыль. Для регулирования величины КАБ производятся необходимые кормовые добавки, у специалистов можно получить и консультации по их применению.

## REFERENCES

1. Georgievskii V.I., Annenkov B.N., Samokhin V.T. *Mineral'noe pitanie zhivotnykh* (Mineral nutrition of animals). Moscow: Kolos Publ., 1979, 471 p. (In Russian)
2. Block E, Sanchez W.K. 2001. Is it important to adjust the dietary cation-anion difference for lactating dairy cows? *Proc. Tri-State dairy nutrition conference*. Indiana, P. 27-40.
3. Bolduan G., Jung H., Schneider R., Block J., Klenke B. Recent advances in the nutrition of weaner pigs. *Pig news info*. 1988, 9: 381-385.
4. Bühler K. Benzoic acid as feed additive in pig nutrition: Effects of diet composition on performance, digestion and ecological aspects. Diss., 2009, 161 p.
5. Cline T.R., Richert B.T. 2001. Feeding growing-finishing pigs. In: *Swine nutrition* (Lewis A.J., Southern L.L., Eds.), p. 717-724.
6. Charbonneau E., Pellerin D., Oetzel G.R. Impact of lowering dietary cation-anion difference in nonlactating dairy cows : a meta-analysis. *J. Dairy Sci.* 2006, 89: 537-548.
7. DeRouchey J.M., Hancock J.D., Hines R.H. Cummings K.R., Lee D.J., Maloney C.A., Dean D.W., Park J.S., Cao H. . Effects of dietary electrolyte balance on the chemistry of blood and urine in lactating sows and sow litter performance. *J. Anim. Sci.* 2003, 81: 3067-3074
8. DeRouchey J.M., Hancock J.D., Hines R.H., Maloney C.A., Lee D.J., Dean D.W., Cao H., Park J.S. Effects of dietary electrolyte balance sow and litter performance, blood chemistry, and urine chemistry in lactating sows. In: *Proc. Conf.: Swine Day*. Kansas-State Univ., 2000, November 16, P. 12-17.
9. Dersjant-Li Y., Verstegen M.W.A., Schulze H., Zandstra T., Boer H., Schrama J.W., Verreth J.A.J. Performance, digesta characteristics, nutrient flux, plasma composition, and organ weight in pigs as affected by dietary cation-anion difference and nonstarch polysaccharide. *J. Anim. Sci.* 2001a, 79: 1840-1848.
10. Dersjant-Li Y., Schulze H., Schrama J.W., Verreth J.A., Verstegen M.W.A. Feed intake, growth, digestibility of dry matter and nitrogen in young pigs as affected by dietary cation-anion difference and supplementation of xylanase. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 2001b, 85: 101-109.
11. Gauthier R. The mode of action of acidifiers and the interest they generate in the growing-finishing phase. In: *Current developments in pig production*. French Association of Swine Practitioners, Maisons-Alfort, France, 2002, P. 16.
12. Haydon K.D., West J.W., Newton G.L., Dove C.R. Effect of varying dietary electrolyte balance on performance and blood components of growing-finishing swine fed in high ambient temperatures. *J. Anim. Sci.* 1989, 67(Suppl. 1): 254 (Abstr.).
13. Höhler D. Lindermayer H. Wolfram S. Reducing the risk of urinary tract infections in breeding sows. *Feed Magazine*. 2000, 7-8 : 294 -296.
14. Jasatis D.K. Wolt J.E., Evans J.L. Influence of feed ion on buffering capacity of ruminant feedstuffs in vitro. *J. Dairy Sci.* 1987, 70: 1391-1403.
15. Kienzle E. Ernährung und Urolithiasis bei Haussäugetieren. *Übers. Tierernährung*. 1991, 19: 157-200.
16. Lawlor P.G. *Studies on the use of fumaric acid in diets for weanling pigs*. Diss. M. Agr. Sci, Dublin: National University of Ireland, University College, 1992, 261 p.
17. Lawlor P.G., Lynch P.B., Caffrey P.J., O'Reilly J.J., O'Connell M.K. Measurements of the acid-binding capacity of ingredients used in pig diets. *Irish Vet. Journal*. 2005, 58: 447-452.
18. Lawlor P.G., Lynch P.B., Caffrey P.J. Effect of fumaric acid, calcium formate and mineral levels in diets on the intake and growth performance of newly weaned pigs. *Irish J. Agric. Food Res.* 2006, 45: 61-71.
19. Lenis N.P., Jongbloed A.W., vanDiepen J.Th.M., van der Weij R., Bolder N.M., Dijksterhuis B., Niewold T.A., Stockhofe N., Stoopman M.L. Dose-response relationship of dietary benzoic acid on performance and health and meat quality in growing pigs. In: *Inst. Anim. Sci. and Health (Netherlands)*. Report ID-DLO 98.076, 1998, 53 p.
20. Mahan D.C., Newton E. A., Cera K. R. Effect of supplemental sodium chloride, sodium phosphate, or hydrochloric acid in starter pig diets containing dried whey. *J. Anim. Sci.* 1996, 74: 1217-1222.
21. Maribo Hh., Jensen B.B., Hedemann M.S. Different doses of organic acids to piglets. In: *Danish Bacon and Meat Council*. 2000, No. 469, 36 p.
22. Mroz Z., Jongbloed K.H., Partanen K.H., Vreman K., Kemme P.A., Kogut J. The affects of calcium benzoate in diets with or without organic acids on dietary buffering capacity, apparent digestibility, retention of nutrients, and manure characteristics in swine. *J. Anim. Sci.* 2000, 78: 2622-2632.
23. Padoan D. *Urinary Tract Infection (UTI) in sows - a review*. 2008. <<http://en.engormix.com/MA-pig-industry/health/articles/urina>>

24. Partanen K.H., Mroz Z. Organic acids for performance enhancement in pig diets. *Nutrition Research Reviews*. 1999, 12: 117-145.
25. Patience J.F., Chaplin R.K., The relationship among dietary undetermined anion, acid-base balance, and nutrient metabolism in swine. *J. Anim. Sci.* 1997, 75: 2445-2452.
26. Patience J.F., Austic R.E., Boyd R.D. Effect of dietary electrolyte balance on growth and acid-base status in swine. *J. Anim. Sci.* 1987, 64 : 457-466.
27. Qniniou N. Le point sur l'équilibre acido-basique chez le porc et le bilan électrolytique des animaux. *Techn. Pig.* 2002, 25(3): 19-24.
28. Risley C.R., Kornegay E.T., Lindemann M.D., Wood C.M., Eigel W.N. Effect of feeding organic acids on selected intestinal content measurements at varying times postweaning in pigs. *J. Anim. Sci.* 1992, 70: 196-206.
29. Seldin D.W., Giebisch G. *The regulation of acid-base balance*. New York: Raven Press, 1989, P. 285-317
30. Walsh M.C., Peddireddi L., Radcliffe J.S. Acidification of nursery diets: Acidification of nursery diets and the role of diet buffering capacity. *Porknet newsletter*. 2004. September 14 - Daily Update, P. 25-36.
31. Yen J.T., Pond W.G., Prior R.L. Calcium chloride as a regulator of feed intake and weight gain in pigs. *J. Anim. Sci.* 1981, 52: 778-782.

### **Control of acid-binding capacity and electrolyte balance in the feeds for pigs**

<sup>1</sup>Kryukov V.S., <sup>2</sup>Glebova I.V., <sup>3</sup>Zinoviev S.V., <sup>4</sup>Novikova O.B.

<sup>1</sup>LLC Vetfarmstandard, Moscow; <sup>2</sup>Kurskaya Agricultural Academy, Kursk, <sup>3</sup>Institute of Processing Industry - Affiliate of Poultry Institute; <sup>4</sup>Veterinary Institute of Poultry - Affiliate of Poultry Institute, Solnechnogorsk-Rzhavki, Moscow oblast, Russian Federation

**ABSTRACT.** Although organic acids (OA) have long been used as feed additives, the results of their use are unstable. Recommendations for the use of imported OA preparations often do not have sufficient scientific justification if they do not take into account the actual values of acid-binding capacity (ABC) and cation-anion balance (CAB) in diets. The purpose of this work is to systematize the data of experimental studies on the effect of ABC of feeds and the magnitude of electrolyte balance on the productive effects of piglets and sows. Main sections – ABC and CAB in feeds for swine, interconnection of ABC and CAB, influence of feeds with different CABs on the physiological state and productivity of piglets, effects of negative CAB in sows. The analysis of data from studies in which the pigs in the feed were added formic, fumaric or butyric acid or calcium benzoate, which replaced carbonic acid. The piglets were subjected to operations of overlying ileocecal anastomosis and fistulas for the selection of intestinal chyme. Formic and fumaric acids appeared to be ineffective when feeding pigs grown in the range of 30 to 100 kg of LW in rations, despite the fact that they significantly reduced the pH of the intestinal contents in the consumption of feeds with low CAB. The action of the elements included in the formula for calculating CAB is manifested in the body after absorption as a result of exposure to the electrolyte balance and the acid-base reserve of the body. Variations of CAB on the background of different diets have different effects on metabolism and on productivity. Estimates of ABC and electrolyte balance of feed for pigs are given. In critical periods of growth of piglets, i.e. from the time of withdrawal and in the next 3 weeks it is advisable to feed with CAB from -70 to 0 meq/kg, then the balance of feed ions is raised to 120-250 meq/kg. Feed with a negative balance (from 0 to - 70 meq/kg) should be fed to sows, starting 7-10 days before the farrowing and in the next 7 days after it. The standards in the literature on the electrolyte balance of feed for pigs are normative and require clarification in a particular situation. A reliable criterion for making a decision about the optimal amount of CAB is urine pH.

*Keywords: feeds for pigs, organic acids, acid binding capacity, electrolyte balance of feeds*

**Проблемы биологии продуктивных животных - Problems of Productive Animal Biology, 2018, 4: 87-97**

*Поступило в редакцию: 17.08.2018*

*Получено после доработки: 30.08.2018*

**Крюков Валерий Сергеевич**, д.б.н., консультант, +7(926)-532-40-70; kryukov.v.s@mail.ru;  
**Глебова Илона Вячеславовна**, д.с.-х.н., зав. каф. +7(910)277-10-70; snow1968@inbox.ru;  
**Зиновьев Сергей Владимирович**, к.с.-х. н., с.н.с., +7(920)733-46-13; neollit\_13@mail.ru;  
**Новикова Оксана Владимировна**, к.в.н., зав. отд., 8(952)399-42-65; ksuvet@mail.ru