

ПОЧТИ ЗАБЫТЫЕ МИКРОЭЛЕМЕНТЫ...

Т. ПАПАЗЯН, канд. биол. наук,

глава представительства компании Alltech в России, Армении, Беларуси, Казахстане, Грузии

В условиях крупного интегрированного производства животноводческой продукции вопрос о качестве и количестве микроэлементов все еще не предмет дискуссий в первую очередь в силу их низкой стоимости, и потому многие не задумываются об эффекте от их применения. Тем не менее в течение последних пяти лет многие исследования указывают на необходимость подвергать анализу кажущуюся их эффективность, особенно в кормлении птицы и свиней новых кроссов и пород.

То, что считалось хорошим и оправданным подходом 50 лет назад, является сомнительным и неоднозначным сейчас. И тому есть объяснение: помимо загрязненности самих неорганических солей микроэлементов тяжелыми металлами, загрязнения почвы,

современные исследования оголяют их негативную роль в отношении витаминов, антиоксидантов, активности ферментов. Может быть, с учетом потенциала современных животных их минусы перевешивают плюсы? Именно это стало причиной инициативы, зародившейся в нашей компании, опубликовать серию статей, которые ответят практически на все вопросы относительно микроэлементов — и неорганических, и органических. В последнее время часто встречаются поверхностные, а порою ошибочные и противоречивые толкования сути органических микроэлементов, их структуры, особенностей метаболизма, классификации и методов контроля, что является не чем иным, как следствием неточных и ограниченных знаний о данном предмете.

ПОЧТИ ЗАБЫТЫЕ МИКРОЭЛЕМЕНТЫ: ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ И ПОЧЕМУ НЕОРГАНИКЕ ПРЕДНАЧЕРТАНА ГИБЕЛЬ

Всеу свое время, и время всякой вещи под небом...

Книга Экклезиаста

Большая часть наших знаний о метаболизме и жизненной необходимости в микро- и макроэлементах имеет более чем 120-летнюю историю. В начале 20 века было установлено, что уровень золы в большинстве тканей организма птицы и животных стабильный и что быстро наступает отрицательный баланс натрия при голодании.

К началу 1950 г. 13 минеральных веществ считались незаменимыми: *макроэлементы* кальций (Ca), фосфор (P), калий (K), натрий (Na), хлор (Cl), сера (S), магний (Mg) и *микроэлементы* железо (Fe), йод (I), медь (Cu), марганец (Mn), цинк (Zn), кобальт (Co). В 1959 г. к ним добавились еще три микроэлемента: хром (Cr), молибден (Mo) и селен (Se), а немного позже — никель (Ni), фтор (F),

кремний (Si), ванадий (V), олово (Sn) и мышьяк (As). Стоит отметить, что множество опытов свидетельствует о положительном влиянии Ni, F, Si, V и Cr на продуктивность и здоровье птицы, однако до сих пор они не классифицированы как незаменимые.

Известно, что классификация минеральных веществ зависит от их концентрации в организме. В таблице 1 приведены концентрации минеральных веществ в организме птицы, важных с точки зрения питания, и в комбикорме.

Некоторые минеральные вещества являются токсичными: медь, селен, фтор, ванадий и мышьяк. Из них медь и фтор — кумулятивные токсиканты, птица не способна эффективно выделять их с пометом, вследствие чего они накапливаются в тканях и

Таблица 1. Концентрация минеральных веществ в организме птицы и в стандартном комбикорме

Вещество	Концентрация	
	в организме (в 1 кг обезжиренной массы)	в 1 кг комбикорма
Na, г	1,2	1,8
K, г	2,0	7,0
Cl, г	0,7	2,2
Ca, г	4,0	10,0
P, г	3,4	5,0
Mg, г	0,2	—
Mn, г	0,1	0,07
Fe, мг	40,0	80,0
Cu, мг	1,5	10,0
Zn, мг	30,0	60,0
I, мг	0,3	0,4
Se, мг	0,2	0,3

обуславливают токсичность. Восемь из 13 элементов являются катионами: Ca^{++} , Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Mn^{++} , Zn^{++} , Fe^{++} , Cu^{++} . Остальные — это либо анионы, либо элементы, найденные в анионных группах: Cl^- , I^- , фосфат PO_4^{2-} , молибдат MoO_4^{2-} и селенит SeO_3^{2-} .

Несмотря на то что в литературе достаточно описана роль микроэлементов в питании животных, все еще остаются неизученными некоторые вопросы.

Непросто однозначно установить последствия недостаточности микроэлементов, ибо симптомы их дефицита или дисбаланса не всегда могут трактоваться как доказательства. При этом даже небольшой дефицит микроэлементов может привести к значительному снижению продуктивности. Многие микроэлементы играют специфическую и вместе с тем многофункциональную роль.

Например, Se известен как ключевой элемент в воспроизводстве, процессах роста, предотвращении некоторых нарушений функций организма и заболеваний. Однако появляется все больше и больше доказательств его роли в антиоксидантной защите целостности клеточной цитоплазмы и мембран в качестве незаменимой составной части нескольких селенозависимых ферментов. Подобно тому, как один микроэлемент имеет множество функций, несколько микроэлементов могут быть вовлечены в одну конкретную физиологическую функцию. Например, Se, Zn и Cu участвуют в поддержании и развитии иммунитета. Поэтому вместо изучения влияния одного микроэлемента более правильным представляется рассмотрение их в комплексе.

Если важность микроэлементов в питании животных и птицы не оспаривается, то почему в практическом кормлении им не уделяется должного внимания?

В области практического кормления микроэлементы остаются почти

забытыми веществами: ими редко интересуются, еще реже пересматривают их уровни в рационе, — и все это только потому, что физиологическая роль микроэлементов недооценена. Неорганические микроэлементы стоят дешево, что приводит, с одной стороны, к простому решению — увеличению уровня ввода в премиксы, с другой — к отсутствию интереса к пониманию реального потенциала их влияния на продуктивность и на ряд других показателей.

Хотя изучение эффективности применения минеральных веществ в кормлении животных берет начало в ранние 1900-е годы, тем не менее большинство исследовательских работ было проведено позже — в 70–80 годы. С практической точки зрения многие симптомы дефицита микроэлементов в организме были исключены благодаря их применению в рационах животных и птицы. Тогда и укоренилась точка зрения, что «с микроэлементами все решено». В период бурного развития птицеводства и свиноводства прикладная наука уделяла больше внимания обменной энергии, протеину, аминокислотам, витаминам. Когда речь заходила о микроэлементах, исследователи считали, что включение в рацион необходимых микроэлементов — дешевая приемлемая страховка. Низкая их стоимость обуславливала применение некоторых микроэлементов в качестве стимуляторов роста — классические примеры с Cu и Zn в питании птицы и свиней.

В настоящее время, когда микроэлементы являются неотъемлемой частью премикса, клинические признаки их дефицита практически остались в прошлом.

В последние несколько лет микроэлементы вновь оказались под пристальным вниманием законодателей, ученых, потребителей, но, к сожалению, не производителей мяса и яиц. Как это и было всегда, они считают, что все о микроэлементах уже давно известно и вряд ли будет достигнут значимый прогресс, который позволит превосходить то, чего можно

добиться с помощью устоявшихся уровней и форм микроэлементов. Между тем именно производители мяса и яиц, как никто другой, должны приветствовать последние открытия в этой области, поскольку их практическая реализация определяет повышение продуктивности, качества мяса и яиц да и прибыли в целом, что является первым конкурентным преимуществом любого предприятия.

Из-за стремительного роста населения в мире, улучшения его благосостояния потребность в белке животного происхождения постоянно увеличивается. Если в 2019 г. мировое производство всех видов мяса составляло около 340 млн т, то к 2030 г. оно достигнет 398,3 млн т (причем почти 39% этого объема будет приходиться на мясо птицы). К 2050 г. ожидается рост до 465 млн т мяса (OECD-FAO Agricultural Outlook 2019–2028). Фактически речь идет о колоссальном увеличении производства и потребления мяса, и вопрос о целесообразных уровнях и формах микроэлементов становится наиболее актуальным. Актуальность вызвана факторами, рассматриваемыми ниже, причем все они в разной степени проложили путь к необходимости понимания особенностей форм микроэлементов, их стабильности, эффективности абсорбции и влияния на продуктивные показатели и качество мяса, яиц. Идея о снижении ввода неорганических микроэлементов и даже об их полной замене стала актуальной как никогда. Она допускает как минимум двукратное уменьшение их уровня в премиксе или вообще отказ от неорганической формы в пользу органической. Причем состав такого премикса может быть скорректирован в условиях комбикормового завода в зависимости от характера проблем и конкретных задач: качество костяка, мяса, кожи; синдром «деревянной грудки»; наличие белых полосок в грудных мышцах; качество скорлупы; ранняя эмбриональная смертность; низкие показатели вывода и сохранности цыплят в течение первой недели выращивания.

ФАКТОРЫ, СНИЖАЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

Было гладко на бумаге, да забыли про овраги, а по ним ходить.

Л.Н. Толстой

Токсичность соединений микроэлементов

Соединения микроэлементов содержат остатки токсических металлов, особенно кадмия и свинца. Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA) оценило риск этой токсичности для здоровья животных и птицы и пришло к заключению, что он незначительный, если уровень токсических металлов не превышает установленные в ЕС предельные допустимые concentra-

ции. Единственным исключением признан кадмий, и не столько из-за кумулятивного эффекта, сколько из-за разрушающего действия на почки, обуславливающего почечную недостаточность, нарушение метаболизма микроэлементов и дегенеративное воздействие на ворсинки кишечника. Точно установить минимальный токсический уровень очень сложно: на накопление Cd влияет механизм взаимодействия между Cu, Zn, Fe и Ca. Однако считается, что кадмий в

количестве 1 мг в 1 кг корма негативно воздействует на показатели продуктивности. При использовании высоких уровней микроэлементов, особенно цинка, наблюдается относительно высокое накопление кадмия в тканях. Это происходит по причине сходных химических свойств этих металлов и кадмия, что индуцирует конкуренцию за места связывания для металлотионеинов — низкомолекулярных белков с высоким содержанием цистеина.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ

...необходимо поднять нашу обнищавшую, нашу слабую, нашу истощенную землю, так как земля — это залог нашей силы в будущем, земля — это Россия.

П.А. Столыпин

Из года в год в мире растет озабоченность вопросами загрязнения среды как следствия интенсивного выращивания животных. Для защиты и потребителя, и животных, и окружающей среды европейское сообщество, Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (FAO) установили предельные допустимые концентрации микроэлементов в кормах, которые в несколько раз превышают минимальные потребности животных и птицы в них. Это и стало причиной того, что производители в целом ориентированы на установленные максимальные уровни, а не на реальные потребности животных в микроэлементах. Именно это привело к увлечению избыточно высокими их уровнями в кормах, превышающими истинные потребности животных и птицы, а не к внедрению практик по снижению загрязнения почвы.

И хотя данное утверждение правдиво для всех микроэлементов, два из них — Cu и Zn — применялись в максимальных уровнях ввиду их ростостимулирующих свойств.

В последние годы в Европе была изменена практика использования меди и цинка в рационе свиней: максимальный уровень Cu с 250 мг/кг корма был доведен до 170 и 25 мг/кг на фазе роста и откорма соответственно. В отношении Zn такая же картина: с 2014 г. EFSA снизило его уровень со 150 до 120 мг/кг в кормах для всех видов животных (кроме поросят, свиноматок и не лососевых пород рыб). Это более чем оправданный подход: результаты множества исследований подтверждают целесо-

образность применения уменьшенных уровней микроэлементов без какого-либо ухудшения продуктивности. Именно это, а затем и органические формы способствуют значительному снижению загрязнения почвы.

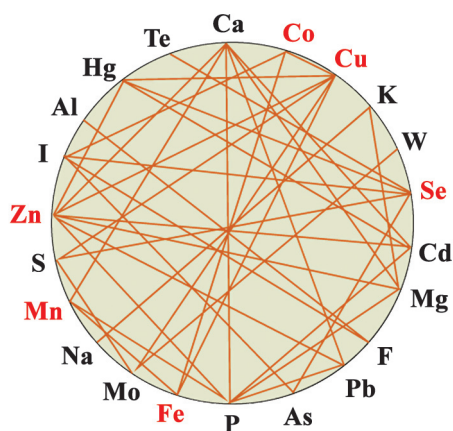
В недавно проведенном исследовании был сделан вывод о том, что использование органических протеинатов — Биоплексов — с уменьшенными в 4–10 раз уровнями микроэлементов (табл. 2) в сравнении с бразильскими, а также американскими рекомендациями обеспечивает такую же продуктивность, что и применение неорганических микроэлементов. При этом наблюдалось еще и улучшение минерального состава костей, в том числе по содержанию золы, а также некоторых показателей качества мяса — pH и влагоудерживающей способности (R. Vieira, P. Ferket и соавт., British Poultry Science, 2020).

Таблица 2. Сравнительная таблица уровней микроэлементов (мг/кг) в форме Биоплекса и в неорганической форме, обеспечивающих одинаковую продуктивность бройлеров

Микроэлемент	Биоплекс (органическая форма)	Рекомендации для неорганических форм	
		бразильские	NRC (1994)
Cu	1,5	12	8
Fe	7,5	60	80
Mn	12,5	100	60
Zn	10,0	80	40

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, СНИЖАЮЩИЕ ДОСТУПНОСТЬ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ, — ВНУТРЕННИЕ «ВРАГИ»

Взаимодействие между минеральными веществами за места абсорбции, особенности их транспорта и метаболизма создают дополнительные сложности в их изучении (некоторые потенциально важные взаимодействия показаны на рисунке).



Взаимодействия
между некоторыми минеральными веществами

Также много неясного в понимании механизмов взаимодействия микроэлементов с витаминами и другими питательными веществами. Даже сульфид меди, оксид марганца или цинка, которые являются нерастворимыми химическими компонентами, превращаются в хлорид марганца или хлорид цинка под воздействием соляной кислоты в железистом желудке. Это позволяет данным микроэлементам оказаться доступными с точки зрения абсорбции даже в том случае, когда они поступают в организм в форме труднорастворимых соединений. Однако это не гарантирует полноценного всасывания микроэлементов, так как на их метаболизм оказывает влияние множество факторов. Например, в классическом опыте для предотвращения перозиса достаточной была инъекция Mn в 25–50 раз меньше тех уровней, которые вводились в корма. Оказалось, что при относительно высоких концентрациях Ca и P, растворенных кислотами в желудке и попавших в щелочную среду двенадцатиперстной кишки, образуется хлопьевидный преципитат фосфата кальция. Именно он адсорбирует марганец и выводит его из организма, несмотря на то что его содержание не превышало рекомендуемые нормы. Недавние исследования подтверждают наличие такого явления и у цинка.

Алюмосиликаты, являющиеся неотъемлемой частью многих адсорбентов, нерастворимые соли алюминия, магния, железа и других элементов обладают сильными адсорбционными свойствами в отношении катионов. Адсорбция

происходит на отрицательно заряженных коллоидных поверхностях, а также путем связывания катионов физическими силами, похожими на адсорбцию некоторых элементов активированным углем. Практически все микро- и макроэлементы всасываются в нижнем отделе двенадцатиперстной кишки вплоть до верхнего отдела тощей кишки. Некоторое количество натрия всасывается в подвздошной и даже в прямой кишке.

Негативное влияние на активность ферментов

Объяснение принципа взаимодействия ферментов и минеральных веществ — задача непростая. Ионы некоторых металлов оказывают ингибирующее действие на ряд ферментов, в том числе на фитазы. Снизить их активность могут медь, цинк, железо и марганец (Traп и соавт., 2011; Persson и соавт., 1998). Мы провели опыт, в котором установили активность ферментных препаратов фитазы различных производителей в присутствии неорганических (сульфаты) и органических форм железа, цинка, меди и марганца в разной концентрации (от 0,1 до 25 мг/кг). Органические соединения были представлены протеинатами, глицинатами, комплексами с полисахаридами, хелатами с аминокислотами. В качестве протеинатов применяли хелаты серии Биоплекс производства компании Alltech.

Концентрацию микроэлементов определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Фитазную активность оценивали по методике Engelen и др. (1994). Для полноты эксперимента применяли три продукта: бактериальную фитазу на основе *Escherichia coli*, грибковые фитазы на основе *Aspergillus niger* и на основе *Peniophora lycii*. Результаты опыта показали, что между ингибированием активности фитазы, типом и источниками микроэлементов (неорганическая / органическая форма), а также их концентрацией существует взаимозависимость ($P < 0,001$). Были установлены следующие закономерности:

- по мере повышения уровня микроэлементов активность фитазы снижается;
- ингибирующее действие микроэлементов обусловлено их формой. Наименьшей ингибирующей способностью обладают микроэлементы в форме протеинатов. Такая закономерность достоверная и более четко проявляется для протеинатов железа и цинка;
- железо является сильным ингибитором активности фитазы во всех изучаемых препаратах;
- цинк в большей степени подавляет активность фитазы в препаратах, полученных культивированием микроорганизмов *P. lycii* и *E. coli*;

- медь оказывает существенное влияние на активность фитазы, произведенной на основе *E. coli* и *A. niger*;
- наименьшим ингибирующим эффектом обладает марганец, он лишь незначительно снижает активность фитазы в препарате на основе *A. niger*.

Влияние на активность витаминов и антиоксидантов

Окисление витаминов, например витамина Е, может снизить антиоксидантную защиту всего организма. Причиной могут быть окисление жиров и зачастую агрессивность неорганических форм микроэлементов. Оказалось, что форма микроэлемента определяет степень его разрушающего влияния на стабильность витаминов.

В недавнем исследовании изучалось влияние микроэлементов на окисление витамина Е при полной замене неорганической формы протеинатами — Биоплексами, а также при их соотношении 50:50. Использование протеинатов не привело к существенному снижению активности витамина Е спустя три недели после начала эксперимента. При использовании смеси неорганических микроэлементов с протеинатами (50:50) наблюдалось некоторое снижение активности витамина Е, но оно было меньше, чем при 100%-ном применении неорганических форм (табл. 3).

Таблица 3. Потеря активности витамина Е в присутствии микроэлементов, %

Форма	На 8-й день применения	На 32-й день применения
Неорганическая	11	16
Смесь неорганической формы с протеинатами (50:50)	5	8
Протеинаты — Биоплексы	1	2

Витамин Е — один из ключевых антиоксидантов в организме птицы и животных и наиболее летучих по стоимости. В январе этого года она составляла около 7–7,5 евро/кг, а в апреле доходила до 12–12,5 евро/кг, при этом прогнозы не очень радужные. Потеря 16% активности спустя месяц после производства премикса эквивалентна 2 евро в расчете на 1 кг витамина Е. Причиной этих потерь является не что иное, как присутствие неорганических микроэлементов.

Исследователи из Германии установили, что после шести месяцев хранения премикса активность астаксантина осталась на уровне 100% в присутствии протеинатов микроэлементов, в то время как в неорганическом премиксе этот показатель составлял 80% (Concarr и соавт., 2016). Биоплексы Fe, Mn и Cu, а также Сел-Плекс (органическая форма селена) способствуют снижению окисления таких важных компонентов корма, как витамины,

в частности А и Е, и каротиноиды. Есть такие же данные и в отношении витаминов С и А.

Транспортировка витаминов до потребителей в условиях нашей страны зачастую занимает неделю, а иногда и больше, и это обстоятельство должно стать одним из факторов, иницирующих здоровое обсуждение форм применяемых микроэлементов.

К негативным свойствам неорганических микроэлементов можно отнести наличие тяжелых металлов, нередко ванадия и других токсических металлов в соединениях неорганических микроэлементов; загрязнение почвы; антагонизм и нарушение всех процессов метаболизма микроэлементов; снижение активности экзо- и эндогенных ферментов, витаминов и антиоксидантов.

Выводы

В заключение необходимо отметить, что максимальные уровни микроэлементов, установленные в разных рекомендациях и разными законодательными органами, нуждаются в уточнении в сторону их уменьшения.

Применение неорганических микроэлементов в кормлении животных и птицы относительно безопасно при установленных уровнях, однако оно может быть причиной значительного загрязнения почвы.

Вопрос наличия тяжелых металлов в соединениях микроэлементов и их антагонизма все же является актуальным с точки зрения негативного воздействия на продуктивность, хотя случаи повышенного падежа редко связывают с данным обстоятельством в силу недостаточного исследования его причин. Высокий уровень тяжелых металлов в минеральной части премикса в сравнении с другими компонентами рациона, а также их взаимодействие с некоторыми микроэлементами (например, с Cd, Cu и Zn) могут обуславливать токсический эффект у птицы и животных.

Концентрация микроэлементов в растениях, в том числе в зерновых культурах, зависит преимущественно от их генотипа, типа почвы, климата, фазы спелости. В поверхностных слоях почвы уровень микроэлементов выше, чем в нижних. Несмотря на это, доступными являются лишь небольшие их уровни, что, вероятно, связано с повышенной кислотностью почвы. Бобовые более богаты макро- и микроэлементами (I, Cu, Zn, Co и Ni), чем зерновые и травянистые культуры. Органическое вещество почвы — ключевой фактор в переходе микроэлементов из нее в растение: например, около 99% Cu и 85–99% Mn заключены в органическом комплексе.

Органические формы микроэлементов значительно различаются по химической структуре, что и обуславливает различия в их стабильности, эффективности их использования и всасывания, следовательно, во влиянии на основные показатели продуктивности птицы, качество тушки, мяса, яиц на фоне полного исключения неорганических микроэлементов из премикса. ■