

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДОСТУПНОСТЬ ОСНОВНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ МОНОГАСТРИЧНЫХ ЖИВОТНЫХ

С. Г. Кузнецов, профессор, заслуженный деятель науки РФ

Микроэлементы занимают важное место в питании животных. Они необходимы для роста и размножения, влияют на функции кроветворения, эндокринных желез, регулируют обмен веществ, принимают участие в биосинтезе белка, проницаемости клеточных мембран, защитных реакциях организма, оказывают влияние на жизнедеятельность микрофлоры пищеварительного тракта и т.д.

Основным источником микроэлементов для животных являются корма. Однако минеральный состав их подвержен значительным колебаниям и зависит от типа почв, климатических условий, вида растений, фазы вегетации, агрохимических мероприятий, технологии уборки, хранения и подготовки кормов к скармливанию и других факторов. В связи с этим нередко наблюдается недостаток одних элементов и избыток других, что приводит к возникновению заболеваний, снижению продуктивности, плодовитости, ухудшению качества продукции и эффективности использования корма. Для профилактики недостаточности микроэлементов используют различные соединения, однако биологическая доступность их (эффективность усвоения и использования в организме) неодинакова. Кроме того, технологические свойства солей микроэлементов существенно влияют на качество премиксов и комбикормов. Мы в течение многих лет занимались изучением этих проблем. Основные результаты наших экспериментов, а также данные литературы обобщены ниже.

**Железо.** Точные механизмы извлечения железа из кормов и его абсорбции не известны. У животных комплексные соединения железа под влиянием соляной кислоты и пепсина желудочного сока расщепляются и трехвалентное железо, восстанавливаясь, переходит в двухвалентное. Образующиеся соли хорошо ионизируются и абсорбируются. Всасывание этого элемента происходит в основном в двенадцатиперстной кишке и зависит от насыщения железом ферритина слизистой кишечника и трансферрина крови. Абсорбции железа способствуют редуцирующие вещества корма или антиоксиданты: аскорбиновая кислота, токоферол, цистеин, глутатион. Всасывание ингибируют органические кислоты, которые образуют нерастворимые соли железа (оксалат, цитрат, фитат), а также избыток в рационе фосфатов, госсипола, таннина, цинка, марганца, меди, кадмия. На усвоение железа сильно влияет величина рН содержимого желудка.

У взрослых особей недостаточность железа встречается редко в связи с высоким его содержанием в растительных кормах, удовлетворительной усвояемостью и реутилизацией элемента в организме, хотя железодефицитное состояние регистрируют у высокопродуктивных животных. Анемия чаще проявляется у молодняка.

Установлено, что у моногастричных животных железо довольно хорошо усваивается из сульфатов, хлорида, тартрата, fumarата, глюконата, цитрата, хелатных комплексов, плохо всасывается из карбонатов, пирофосфатов, ортофосфатов,

восстановленного железа и практически недоступно для всех видов животных из оксидов. Введение в комбикорма хелатных соединений железа с молочной кислотой, глицином или метионином способствует лучшему усвоению и использованию элемента у животных по сравнению с сульфатом, тогда как добавки ЭДТА-железа ухудшают эти показатели. Эффективность использования железа на образование гемоглобина у цыплят из его комплекса с ЭДТА была примерно одинакова, а из восстановленного железа в 3 раза ниже по сравнению сернокислой солью.

Биологическая доступность (БД) металлического железа во многом зависит от способа его восстановления и размера частиц. Например, выявлено, что введение в рацион цыплят-бройлеров высокодисперсных порошков железа, меди и цинка (размер частиц 50-100 мкм) в дозе, вдвое меньшей по сравнению с сульфатами, полностью обеспечивает потребность птицы в микроэлементах и оказывает ростстимулирующее действие. Еще более эффективны в кормлении животных ультрадисперсные порошки металлов. При уменьшении размера частиц восстановленного железа с 250-315 до 160-200 мкм БД элемента возрастала на 24%. Доказано, что при анемии животные способны всасывать железо даже из трудноусвояемых источников. Некоторые исследователи считают возможным использование железных карбонатных руд (сидеритов), концентратов гидроксидных руд и оксидов в кормлении животных. БД железа для цыплят из различных о-фосфатов была небольшой, однако обработка их температурой и давлением значительно повышала усвоение железа, особенно из пирофосфатов. Отмечено удовлетворительное использование железа из обесфторенных фосфатов. Растворимость источников железа имеет большее значение для его всасывания, чем валентность. По степени растворимости соединений железа в 0,1 М HCl можно судить об их БД для животных.

**Медь.** Основное место всасывания меди у животных - тонкий отдел кишечника и желудок. Всасывание меди осуществляется не только в результате простой диффузии, но и путем активного ее транспорта через кишечную стенку и резко возрастает при дефиците элемента. В комплексе с аминокислотами, ди- и полипептидами медь всасывается лучше, чем в виде сульфата, причем с увеличением молекулярной массы комплексов абсорбция элемента снижается. Всасывание соединений меди с D-аминокислотами ниже, чем с L-аминокислотами. Медиатором всасывания меди (а также цинка и кадмия) является низкомолекулярный белок стенки кишечника металлотионеин, который способствует абсорбции меди пассивным путем, связывая ее с SH-группами и временно депонируя для дальнейшего транспорта. Он также может блокировать всасывание, защищая организм от токсичных уровней металла.

На интенсивность всасывания меди влияют многие кормовые факторы. Из органических факторов наибольшее значение имеет белок. Повышение его уровня в рационе снижает отложение меди в печени. Пищевые белки защищают организм от медной интоксикации. Растительные белки, в состав которых входит фитиновая кислота, сильнее ингибируют всасывание меди, чем белки животного происхождения. Крахмал и комплекс углеводов повышают абсорбцию меди, а отдельные сахара и особенно фруктоза — снижают. Лимонная кислота, глюконат, ЭДТА, оксалат, фосфаты способствуют усвоению меди, а фитат, клетчатка, аскорбиновая кислота ингибируют его. Некоторые тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть, серебро, цинк, мышьяк) конкурируют с медью при всасывании, обуславливая симптомы ее недостаточности. Высокое содержание железа в рационе (150-400 мг/кг) тормозит всасывание меди и предохраняет организм от избыточного накопления ее у птиц. Добавки молибдена (50 мг/кг), сульфатов, сульфидов, гипосульфитов могут снижать содержание меди в организме животных.

Величина всасывания меди также зависит от химической формы ее соединений в рационе. Аспартат меди более выражение стимулировал рост молодняка птиц, чем метионинат и сульфат, причем органические соединения имеют и экологическое преимущество перед сернокислой солью (снижение дозировки). Комплексы меди с полисахаридами или ЭДТА не отличались от сульфата по влиянию на рост животных. Хелатные соединения меди с глицином, метионином или гистидином более эффективны в кормлении свиней и птицы, чем сернокислая соль.

Установлено, что эффективность использования меди из органических комплексов (казеинат, тартрат, метионинат, ацетат) у молодняка свиней на 17-69% выше, чем из сульфата, а величина истинного усвоения составляет 37-65%. Оксиды, малеинат, цитрат, хлориды также являются неплохими источниками меди, тогда как БД элемента из основного карбоната была низкой.

**Цинк.** У животных всасывание цинка происходит в основном в верхнем отделе тонкого кишечника. Высокий уровень протеина, добавки ЭДТА, лактозы, лизина, цистеина, глицина, гистидина, аскорбиновой и лимонной кислот повышают всасывание цинка, а низкий уровень протеина и энергии, высокое содержание в корме клетчатки, фитата, кальция, фосфора, меди, железа, свинца ингибируют абсорбцию цинка. Кальций, магний и цинк при кислой среде тонкой кишки образуют прочный нерастворимый комплекс с фитиновой кислотой, из которого катионы не всасываются.

Хелатные комплексы цинка с глицином, метионином или лизином обладают более высокой БД для молодняка свиней и птицы по сравнению с сульфатом. Ацетат,

оксид, карбонат, хлорид, сульфат и металлический цинк являются доступными источниками элемента для организмы животных, тогда как из некоторых руд цинк не усваивается.

Высокой БД обладают хелатные соединения цинка с метионином и триптофаном, а также комплексы этого элемента с каприловой и уксусной кислотами. В то же время хелаты цинка с ЭДТА и фитиновой кислотой используются в организме животных менее эффективно, чем сульфат 7-водный, что зависит главным образом от константы стабильности комплекса. Истинное усвоение цинка из фитата почти в 3 раза ниже, чем из сульфата. Неорганические соли (хлорид, нитрат, сульфат, карбонат) всасываются в организме хуже, чем органические. Удаление кристаллизованной воды из молекулы сернокислого цинка приводит к снижению БД элемента. Оксид и металлический цинк могут использоваться в кормлении животных, однако следует учитывать содержание в них свинца и кадмия.

**Марганец.** Он всасывается главным образом в двенадцатиперстной кишке. В растительных кормах марганец связан хелатирующими агентами и усваивается довольно слабо. Считают, что марганец всасывается в двухвалентной форме и конкурирует с железом и кобальтом за места абсорбции. Механизм всасывания марганца еще не изучен. Избыток в рационе кальция, фосфора, железа, фитата снижает использование марганца, а добавки гистидина, ЭДТА, лимонной и аскорбиновой кислот повышают его абсорбцию. Экскреция марганца с желчью и соком поджелудочной железы является более важным фактором в поддержании гомеостаза, чем интенсивность его всасывания.

БД марганца для животных из сульфатов, хлоридов, оксидов, карбоната, перманганата калия была довольно высокой, тогда как из руд и концентратов - низкой и зависела от вида минерала и степени его чистоты. Хелатные соединения марганца с метионином и молочной кислотой обладают довольно высокой БД. Оксалаты и фосфаты марганца неплохо усваиваются у молодняка животных, тогда как БД элемента из хлорида, карбоната и перманганата калия существенно ниже сернокислой соли.

**Кобальт.** Элемент поступает в организм с кормами и добавками, частично в виде витамина В<sub>12</sub>. Усвояемость кобальта у животных невелика (3-7%), поскольку потребность в нем небольшая. Усвоение возрастает при недостатке витамина В<sub>12</sub> и отсутствии животных кормов в рационе. Кобальт всасывается в тонком отделе кишечника. БД кобальта из сульфатов, хлоридов, карбонатов хорошая, а из оксидов – довольно низкая.

**Йод.** Данный микроэлемент поступает в организм с водой, воздухом, кормами и минеральными добавками. Йодистые соединения гормонального характера всасываются без расщепления. Остальные формы органического йода восстанавливаются до йодидов и в таком виде всасываются. Абсорбция происходит в желудке, но главным образом в тонком кишечнике. Для растворимых неорганических соединений йода характерно быстрое и полное всасывание при поступлении их в организм через рот или путем ингаляции. Йодиды всасываются более интенсивно, чем йод, связанный с аминокислотами. Хорошо усваивается йод у животных из йодидов калия и натрия, йодатов кальция и калия, дийодитиррола, пентакальцийортопериодата и других соединений.

Таблица 1. Биологическая доступность йода из различных соединений для молодняка свиней (в % к йодиду калия стабилизированному)

Показатели	КJ стаб.	Йодат калия	Стакод	Йодви-дон	Мука фукусовая
Концентрация йода в щитовидной железе (ЩЖ)	100	85,4	86,5	71,3	58,2
Общее содержание йода в ЩЖ	100	96,5	90,2	71,3	60,1
Концентрация йода в плазме крови	100	105,3	87,6	94,5	66,7
Концентрация йода в почках	100	89,8	96,1	111,8	115,8
Концентрация йода в печени	100	81,7	82,4	113,0	92,4
Содержание T <sub>3</sub> в крови	100	78,2	76,4	100,9	117,3
Содержание T <sub>4</sub> в крови	100	104,5	109,1	111,4	113,6
Активность цитохромоксидазы в ЩЖ	100	106,1	109,1	95,5	98,5
Активность йодидпероксидазы в ЩЖ	100	97,9	105,3	97,9	129,5
В среднем	100	94	94	96	95

Таблица 2. Влияние уровня йода и гойтрогенных веществ в рационе поросят на содержание тиреоидных гормонов в крови и йода в щитовидной железе

Добавки, на 1 кг корма	T <sub>3</sub> , нМ/л	T <sub>4</sub> , нМ/л	T <sub>4</sub> /T <sub>3</sub>	Содержание йода в щитовидной железе, мг
Основной рацион (ОР; 0,14 мг йода/кг корма)	1,1	58	83	2,3
ОР + 0,2 мг йода	2,1	104	50	6,3
ОР + 200 мг йода	1,2	62	52	40
ОР + 1000 мг перхлоратов	1,8	73	41	0,1
ОР + 100 мг тиоцианатов	16,3	98	6,0	0,1
ОР + 200 мг натратов	18,2	96	5,3	3,1
ОР + 75 мг ионов фтора	15,7	63	4,0	2,8

Зоны йодной недостаточности встречаются довольно часто. Положение осложняется еще тем, что наряду с первичной недостаточностью может быть и вторичная, обусловленная наличием в растениях и рационах гойтрогенных веществ (более 400), препятствующих использованию йода в щитовидной железе (табл. 1). Также следует учитывать, что в процессе хранения кормов потери йода могут достигать 50%. Вместе с тем избыток йода в рационе приводит к нарушению функциональной активности щитовидной железы.

Установлено, что йодид калия является весьма нестойкой добавкой. Его стабилизация цеолитами довольно эффективна. Йодаты калия и кальция обладают хорошей стабильностью. Эти соединения меньше разрушают витамины А и Е по сравнению с йодидами. Для молодняка животных БД йода из йодидов и йодатов одинакова. Наиболее эффективным препаратом является йодвидон. При использовании его в качестве добавки уровень йода в рационе можно уменьшить в 2 раза. Йод из стакода и цеойода хорошо доступен для организма, а из черноморской водоросли фукуса он усваивается значительно хуже (табл. 2).

**Селен.** Потенциальные места всасывания селена, поступающего из окружающей среды - желудочно-кишечный тракт, дыхательные пути и кожа. Потребляемой с кормами или добавками селен быстро всасывается. Всасывание селената подавляют близкие к нему по физико-химическим свойствам неорганические (сульфат, тиосульфат, молибдат, хромат) и органические анионы (оксалат, оксалоацетат). Абсорбцию селена из селенита, но не из селената стимулируют цистеин и глутатион, а ингибируют метионин и его аналоги. Селеносодержащие аминокислоты и их соответствующие серные аналоги (цистин, метионин) имеют общие места и механизмы всасывания. Селенат всасывается быстрее селенита, но в целом БД селената для птиц ниже, чем селенита.

БД селена из кормов, добавок и химических соединений указана в табл. 3. В опытах на животных БД селена из органических соединений (селенометионин, дрожжевые продукты, высокоселеновая пшеница, селенизированный топинамбур, сел-плекс, селенопиран, ДАФС-25 и др.) в основном выше, чем из селенита натрия, но не всегда. При кислотном гидролизе рыбной муки или ее лиофильной сушке БД селена повышалась в несколько раз. Низкую БД элемента из кормов животного происхождения (кроме молока) исследователи связывают с образованием комплексных соединений его с пуриновыми основаниями, ртутью и другими веществами.

Таблица 3. Биодоступность селена для животных из различных источников  
(Jongbloed A.W. et al., 2002)

Источник селена	БД относительно селенита натрия ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ - 100%)
<b>Цыплята-бройлеры</b>	
Селенит кальция	104
Селенат натрия	92
DL-селенометионин	78
DL-селеноцистин	80
Селенид натрия	42
Селенопурин	20
Селен элементарный	8
Мука люцерновая	210
Дрожжи пивные	89
Мука семян хлопчатника	86
Кукуруза	86
Дробина пивная	80
Пшеница	71
Мука соевая	60
Молоко	более 100
Мука из сельди	25
Мука из тунца	22
Мука из отходов птицеводства	18
Рыбный экстракт	9
<b>Свиньи</b>	
Селенит кальция	102
DL-селенометионин	102
Дрожжи, обогащенные селеном	108

Доказано, что соли микроэлементов, особенно серноокислые и солянокислые, при смешивании с витаминами ускоряет их разрушение, поэтому их стараются вводить в премиксы либо в виде окисей металлов, либо в виде карбонатов и гидроокисей. Наиболее пригодны с точки зрения биодоступности, экономики, физико-химических и технологических свойств оксиды микроэлементов, кроме оксидов железа и кобальта, которые плохо усваиваются. Если нет в наличии этих соединений микроэлементов (оксидов, карбонатов), то целесообразно отдельно готовить витаминный и минеральный премиксы и вносить их последовательно в комбикорма в процессе смешивания ингредиентов.

Весьма перспективны хелатные соединения микроэлементов. Однако основной проблемой при выборе и оценке биологического действия органических соединений микроэлементов, предлагаемых на рынке, является отсутствие надёжного общепризнанного метода оценки их типа и качества. Пока отсутствуют промышленные методы определения прочности хелатов и комплексных соединений металлов. Контроль качества этих продуктов в лучшем случае сводится к определению содержания микроэлемента в коммерческом продукте. Посредством методов,

доступных в ветеринарных лабораториях, невозможно выявить, в какой форме присутствует элемент в продукте: в органической или минеральной. В результате пути для недобросовестных поставщиков открыты.

К сожалению, БД минеральных веществ для животных из кормов и добавок не является величиной постоянной и зависит от многих факторов: **состояния животного** (вида, возраста, пола, физиологического состояния, болезней, индивидуальных особенностей, обеспеченности организма изучаемым минеральным элементом), **характеристики корма** (вида корма, его физической формы, структуры рациона, способа подготовки кормов к скармливанию, переваримости питательных веществ корма), **химического состава рациона** (уровня и соотношения минеральных элементов в рационе, уровня витаминов, протеина, жира, клетчатки и др., наличия фитата и других хелатообразователей), **источника минерального элемента** (величины частиц, степени чистоты добавки, валентности элемента, количества в молекуле кристаллизационной воды, формы как катионов, так и анионов, характеристики сырья для производства добавки и технологии ее производства, характера органического комплекса, константы стабильности хелата, растворимости минерального вещества в химусе и др.). В связи с этим в практике животноводства пока довольно сложно установить коэффициенты БД минеральных элементов, особенно из кормов и рационов.

### Справка об авторе

Кузнецов Сергей Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, генеральный директор ЗАО “Витасоль”. Адрес: 249013, г. Боровск Калужской обл., пос. Института, д.5, кв. 8, телефоны: (48438) 66509, (495) 9963515 (раб.).