

Тема: «Водно-минеральный обмен. Регуляция и нарушения водно-минерального обмена»

Основные вопросы темы:

1. Биологическая роль воды. Распределение и состояния воды в организме животных.
2. Регуляция водного обмена.
3. Молекулярный состав животного организма. Понятие о биогеохимических провинциях и эндемических заболеваниях.
4. Биологическая роль макроэлементов K, Na, Cl, Mg, Ca, P, S.
5. Биологическая роль микроэлементов Fe, Mn, Cu, Zn, I, Co, Se, Mo.

Литература для самостоятельного изучения материала:

1. Биологическая химия : учебник / А. А. Чиркин, Е. О. Данченко. – Минск : Высшая школа, 2017. – 431 с. : ил.
2. Биохимия : учебное руководство / А. А. Чиркин, Е. О. Данченко. – М.: Медицинская литература, 2010. – 624 с. : ил.
3. Жеребцов, Н. А. Биохимия : учебник / Н. А. Жеребцов, Т. Н. Попова, В. Г. Артюхов. - Воронеж : Изд-во ВГУ, 2002. – 696 с.
4. Николаев, А.Я. Биологическая химия: учебник / А.Я.Николаев. – М.: Медицинское информационное агентство. – 2004. – 566 с.
5. Позывайло, О. П. Биохимия водно-минерального обмена / О. П. Позывайло, Д. В. Елисейкин, Д. Т. Соболев. – Витебск : ВГАВМ, 2007. – 27 с.

Теоретический материал

БИОХИМИЯ ВОДНО-МИНЕРАЛЬНОГО ОБМЕНА

1. Физико-химические свойства воды. Распределение и состояние воды в организме животных
 - 1.1. Регуляция водного обмена.
2. Понятие о биологических провинциях и эндемических заболеваниях.
3. Молекулярный состав животного организма.
4. Биологическая роль макроэлементов K, Na, Mg, Ca, P, S, Fe, Cl.
5. Биологическая роль микроэлементов Mn, Cu, Zn, I, Co, Se, Mo.

1. ЗНАЧЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДЫ В ОРГАНИЗМЕ ЖИВОТНОГО

Физико-химическая характеристика воды. Химически чистая вода - это прозрачная жидкость без запаха и вкуса. Молекула воды содержит 11,19% водорода и 88,81% кислорода. Молекулярная масса воды составляет 18,016, температура замерзания - 0°C, температура кипения +100°C, плотность воды при 4°C - 1 г/см³.

Вода - отличный растворитель многих органических и минеральных веществ, что связано со структурой ее молекулы. Для воды характерна водородная связь, определяющая в значительной степени ее свойства и значение. Водородные связи возникают между частичным отрицательным зарядом атома кислорода одной молекулы воды и частичным положительным зарядом атома водорода соседней. Концентрацию ионов водорода в биологических системах выражают через водородный показатель – рН. Различают пресную,

солонатовую и соленую воду. Вода содержит неорганические ионы, примеси органических веществ.

Содержание и распределение воды в организме животных. У взрослых млекопитающих и птиц вода составляет около 65 %, или $\frac{2}{3}$ живой массы тела, у новорожденных ее содержание достигает 70 - 80%, а у эмбрионов - 87 - 97 %. Отдельные органы и ткани содержат разное количество воды - больше всего ее в наиболее активно функционирующих органах. Животное может жить при полном отсутствии запасов жира и до 50 % белков, но потеря только 10-% воды вызывает тяжелые патологические изменения, а потеря 15-20 % ее влечет за собой смерть. Потребность в воде и распределение ее в тканях изменяется в зависимости от состава корма, физиологического состояния животного, продуктивной деятельности, напряженности физической работы, условий внешней среды и т. д. У молодых растущих животных потребность в воде в несколько раз больше.

Вода в тканях и органах животного распределена неодинаково. Различные органы и ткани отличаются между собой содержанием воды. Так, например, кости содержат 22% воды, хрящи - 55, легкие - 79,1, кора головного мозга - 83,3%. Биологические жидкости характеризуются высоким содержанием воды - до 99,5% (слюна, пот). Около 72% всей воды организма сосредоточено в клетках, 28% - в межклеточных жидкостях, 8-10% в плазме крови, лимфе, ликворе, синовии, плевральной жидкости. Следует учитывать, что на 1 кг массы животного требуется в среднем 35-40 г воды в сутки. У молодых организмов эта потребность в 2-4 раза выше.

Потребность животных в воде удовлетворяется в основном за счет поступления ее извне непосредственно и при поедании сочных кормов. Небольшое количество воды образуется в тканях. Из кишечника, где всасывается основная масса воды, она поступает в печень. Часть ее задерживается в печени как резерв, а остальная уносится током крови к другим органам и тканям. Из последних она снова возвращается в кровь.

Организм коровы, например, за сутки принимает 40-50 л воды, кроме этого, в желудочно-кишечный тракт в составе пищеварительных соков выделяется еще 120-130 л воды. Из всего этого объема только около 10 % жидкости выделяется с калом, а остальная вновь всасывается в кровь. Поступающая извне вода должна полностью компенсировать постоянные ее потери с мочой, потом, секретами (молоко), с выдыхаемым воздухом.

Биологическое значение воды. Вода в организме выполняет ряд жизненно важных функций. Прежде всего, она является универсальным растворителем минеральных и органических веществ, входящих в корма, и продуктов обмена веществ. Вода - пластиче-ский материал, из которого построены органы, ткани и клетки.

Множественные функции воды определяются ее физико-химическими свойствами. Молекулы воды, как диполи, ассоциированы между собой при помощи водородных связей. На разрыв этих связей затрачивается значительное количество энергии, что придает воде высокую теплоемкость (у воды она в 4 раза выше, чем у воздуха, являющегося «внешней средой» обитания большинства высших животных). Благодаря этому вода играет важную роль в процессах терморегуляции организмов. Около 25% избытка тепловой энергии выделяется из организма в результате испарения воды с поверхности кожи. Приблизительно столько же тепла выделяется из организма с парами выдыхаемого воздуха.

Молекулы воды участвуют в создании вторичной и третичной структуры молекул белков. Все питательные вещества корма усваиваются в пищевом канале с участием воды (реакции гидролиза). Для воды характерна очень низкая вязкость, что придает водным растворам хорошую текучесть и быстрое перемещение жидкостей в организме. Вода и ее растворы смачивают трущиеся поверхности, способствуя улучшению их скольжения.

Состояния и виды воды в организме. Содержащуюся в организме воду условно разделяют на *свободную и иммобилизованную*. Свободная вода содержится в плазме крови, лимфе, спинномозговой жидкости, пищеварительных соках, моче. В межклеточных пространствах ее сравнительно мало и она удерживается там капиллярными силами. Сво-

бодная вода обеспечивает приток к тканям питательных веществ и удаление из них конечных продуктов обмена.

Иммобилизованная вода бывает двух видов: гидратационная и иммобильная. В отличие от свободной она лишена способности к свободному перемещению, причем меньшая ее часть прочно связана с полярными группами белков и других биополимеров (гидратационная вода). Она составляет около 4% всей воды тканей, 10-80% такой воды связывают белки. Белки тканей настолько активно гидратируются, что на каждые 100 г могут связывать от 18 до 50 г воды. Гидратационная вода по целому ряду признаков отличается от свободной. Она не замерзает при охлаждении до 0°C и несколько ниже, имеет повышенную плотность (1,48-2,45), в ней не растворяются растворимые в обычной воде вещества. Эти отличия обусловлены упорядоченным расположением молекул (диполей) воды вокруг полярных групп гидрофильных коллоидов.

Другая часть иммобилизованной воды (иммобильная), хотя и не связана полярными группами, лишена способности к свободному перемещению, так как она заключена в надмолекулярных клеточных структурах (мембраны, органеллы, фибриллярные агрегаты). Ее молекулы размещаются между мембранами клетки, волокнистыми молекулами и структурами. Такая вода сохраняет способность растворять соли и другие растворимые вещества, обеспечивает высокую скорость химических реакций в тканях, придает тканям упругость, способствует сохранению ими постоянной формы. Сольватация (гидратация) белков тканей и иммобилизация воды фибриллярными и мембранными структурами препятствует вытеканию последней при рассечении тканей.

С возрастом количество гидратационной воды в организме постепенно уменьшается в связи с падением у коллоидов способности к гидратации. Это приводит к тому, что коллоиды цитоплазмы постепенно подвергаются синерезису, вследствие чего ткани теряют упругость, сморщиваются. Между различными видами воды существует динамическое равновесие. Количество свободной воды возрастает в патологии (при нефритах, перикардитах, абсцессах, флегмонах). Возникают отеки. При кратковременной работе (10-15 мин) в организме накапливается межклеточная (свободная) вода, при длительной (свыше 30-60 мин) - внутриклеточная (иммобильная) вода.

Виды воды. Ткани и клетки используют два вида воды: экзо- и эндогенную. *Экзогенная вода* поступает в организм извне - с кормом и питьем. В общей массе она составляет $\frac{6}{7}$ всей воды, необходимой для жизни организма. $\frac{1}{7}$ общей массы воды образуется в тканях животного как конечный продукт окисления нуклеиновых кислот, белков, липидов, углеводов. Это *эндогенная вода*. Установлено, что при полном окислении 100 г жиров организм получает 107,1 г воды, углеводов - 55,6 и белков — 41,3 г воды. Количественное соотношение экзо- и эндогенной воды в организме зависит от вида и возраста животного, уровня его продуктивности и условий внешней среды (окружающей температуры, влажности, зоны обитания), рациона, сезона года и др. Эндогенный путь получения организмом воды имеет большое значение для обитателей безводных пустынь и степей, для животных, которым свойственна зимняя спячка.

2. РЕГУЛЯЦИЯ ВОДНО-СОЛЕВОГО ОБМЕНА В ОРГАНИЗМЕ

Регуляция водного обмена осуществляется нейрогуморальным путем, в частности, различными отделами центральной нервной системы: корой больших полушарий, промежуточным и продолговатым мозгом, симпатическими и парасимпатическими ганглиями. Также участвуют многие железы внутренней секреции. Действие гормонов в данном случае сводится к тому, что они изменяют проницаемость клеточных мембран для воды, обеспечивая ее выделение или реадсорбцию. Потребность организма в воде регулируется чувством жажды. Уже при первых признаках сгущения крови в результате рефлекторного возбуждения определенных участков коры головного мозга возникает жажда. Потреб-

ляемая при этом вода всасывается через стенку кишечника, причем ее избыток не вызывает разжижения крови. Из крови она быстро переходит в межклеточные пространства рыхлой соединительной ткани, печени, кожи и др. Указанные ткани служат депо воды в организме. На поступление и выделение воды из тканей определенное влияние оказывают отдельные катионы. Ионы Na^+ способствуют связыванию коллоидными частицами белков, ионы K^+ и Ca^{2+} стимулируют выделение воды из организма.

Так, вазопрессин нейрогипофиза (антидиуретический гормон) способствует реабсорбции из первичной мочи воды, уменьшая выделение последней из организма. Гормоны коры надпочечников – альдостерон, дезоксикортикостерон – способствуют задержке натрия в организме, а так как катионы натрия повышают гидратацию тканей, то в них задерживается и вода. Другие гормоны стимулируют выделение воды почками: тироксин – гормон щитовидной железы, паратгормон – гормон паращитовидной железы, андрогены и эстрогены – гормоны половых желез. Гормоны щитовидной железы стимулируют выделение воды через потовые железы. Количество воды в тканях, в первую очередь свободной, повышается при заболевании почек, нарушении функции сердечно-сосудистой системы, при белковом голодании, при нарушении функции печени (цирроз). Увеличение содержания воды в межклеточных пространствах приводит к отекам. Недостаточное образование вазопрессина приводит к увеличению диуреза, к заболеванию несахарным диабетом. Обезвоживание организма также наблюдается при недостаточном образовании в коре надпочечников альдостерона.

Вода и растворенные в ней вещества, в том числе минеральные соли, создают внутреннюю среду организма, свойства которой сохраняются постоянными или изменяются закономерным образом при изменении функционального состояния органов и клеток. Основными параметрами жидкой среды организма являются осмотическое давление, pH и объем.

Осмотическое давление внеклеточной жидкости в значительной мере зависит от соли (NaCl), которая в этой жидкости содержится в наибольшей концентрации. Поэтому основной механизм регуляции осмотического давления связан с изменением скорости выделения либо воды, либо NaCl , вследствие чего изменяется концентрация NaCl в жидкостях тканей, а значит, изменяется и осмотическое давление. Регуляция объема происходит путем одновременного изменения скорости выделения и воды, и NaCl . Кроме того, механизм жажды регулирует потребление воды. Регуляция pH обеспечивается избирательным выделением кислот или щелочей с мочой; pH мочи в зависимости от этого может изменяться в пределах от 4,6 до 8,0. С нарушением водно-солевого гомеостаза связаны такие патологические состояния, как дегидратация тканей или отеки, повышение или снижение кровяного давления, шок, ацидоз, алкалоз.

Регуляция осмотического давления и объема внеклеточной жидкости. Выделение воды и NaCl почками регулируется антидиуретическим гормоном и альдостероном.

Антидиуретический гормон (вазопрессин). Вазопрессин синтезируется в нейронах гипоталамуса. Осморцепторы гипоталамуса при повышении осмотического давления тканевой жидкости стимулируют освобождение вазопрессина из секреторных гранул. Вазопрессин увеличивает скорость реабсорбции воды из первичной мочи и тем самым уменьшает диурез. Моча при этом становится более концентрированной. Таким путем антидиуретический гормон сохраняет необходимый объем жидкости в организме не влияя на количество выделяемого NaCl . Осмотическое давление внеклеточной жидкости при этом уменьшается, т. е. ликвидируется стимул, который вызвал выделение вазопрессина. При некоторых болезнях, повреждающих гипоталамус или гипофиз (опухоль, травмы, инфекции), синтез и секреция вазопрессина уменьшается и развивается *несахарный диабет*.

Кроме снижения диуреза вазопрессин вызывает также сужение артериол и капилляров (отсюда и название), а, следовательно, и повышение кровяного давления.

Альдостерон. Этот стероидный гормон вырабатывается в коре надпочечников. Секреция увеличивается при снижении концентрации NaCl в крови. В почках альдостерон увеличивает скорость реабсорбции Na⁺ (а вместе с ним и Cl⁻) в канальцах нефронов, что вызывает задержку NaCl в организме. Тем самым устраняется стимул, который вызвал секрецию альдостерона. Избыточная секреция альдостерона приводит, соответственно, к избыточной задержке NaCl и повышению осмотического давления внеклеточной жидкости. А это служит сигналом освобождения вазопрессина, который ускоряет реабсорбцию воды в почках. В результате в организме накапливается и NaCl, и вода; объем внеклеточной жидкости увеличивается при сохранении нормального осмотического давления.

Система ренин-ангиотензин. Эта система служит главным механизмом регуляции секреции альдостерона; от нее зависит также и секреция вазопрессина. Ренин представляет собой протеолитический фермент, синтезирующийся в юктагломерулярных клетках, окружающих приносящую артериолу почечного клубочка.

Ренин-ангиотензиновая система играет важную роль при восстановлении объема крови, который может уменьшиться в результате кровотечения, обильной рвоты, поноса (диарея), потения. Сужение сосудов под действием ангиотензина II играет роль экстренной меры для поддержания кровяного давления. Затем поступающие с питьем и пищей вода и NaCl задерживаются в организме в большей мере, чем в норме, что обеспечивает восстановление объема и давления крови. После этого ренин перестает выделяться, уже имеющиеся в крови вещества-регуляторы разрушаются и система приходит в исходное состояние.

Значительное уменьшение объема циркулирующей жидкости может стать причиной опасного нарушения кровоснабжения тканей, прежде чем регуляторные системы восстановят давление и объем крови. При этом нарушаются функции всех органов, и, прежде всего, головного мозга; возникает состояние, которое называют шоком. В развитии шока (а также отеков) существенная роль принадлежит изменению нормального распределения жидкости и альбумина между кровеносным руслом и межклеточным пространством. Вазопрессин и альдостерон участвуют в регуляции водно-солевого баланса, действуя на уровне канальцев нефрона - изменяют скорость реабсорбции компонентов первичной мочи.

Водно-солевой обмен и секреция пищеварительных соков. Объем суточной секреции всех пищеварительных желез достаточно велик. В нормальных условиях вода этих жидкостей вновь всасывается в кишечнике; обильная рвота и диарея могут быть причиной значительного снижения объема внеклеточной жидкости и дегидратации тканей. Значительная потеря жидкости с пищеварительными соками влечет за собой повышение концентрации альбумина в плазме крови и межклеточной жидкости, поскольку альбумин с секретами не выводится; по этой причине повышается осмотическое давление межклеточной жидкости, вода из клеток начинает переходить в межклеточную жидкость и функции клеток нарушаются. Высокое осмотическое давление внеклеточной жидкости приводит также к снижению или даже прекращению образования мочи, и если вода и соли не поступают извне, у животного развивается коматозное состояние.

3. МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА И ИХ ОБМЕН В ОРГАНИЗМЕ ЖИВОТНЫХ

Общая характеристика минеральных веществ. Все или почти все элементы, встречающиеся в земной коре, находятся в растительных или животных организмах. Недостаточное или избыточное содержание минеральных веществ в почве или воде неизбежно влияет на содержание их в растениях, растительных кормах, а через них и в тканях животных (*почва и вода – растения – корма и продукты питания растительного происхождения – организм животных и человека*).

Впервые теоретические основы учения о связи химического состава живых организмов и земной коры создал академик В.И. Вернадский. В 1940 году он впервые поста-

вил вопрос о роли минеральных веществ, как факторов внешней среды и положил начало развитию новой науки – **биогеохимии** (область науки, изучающая миграции атомов и геохимические процессы в биосфере). Трудami его ученика академика А.П. Виноградова было доказано, что химический состав живого вещества зависит от химического состава естественной среды, а позже создано учение о биогеохимических провинциях.

Биогеохимические провинции – это области на земной поверхности, где отдельных элементов в почвах и природных водах либо недостаточно, либо избыточно. В таких зонах у животных и растений развиваются тяжелые заболевания, называемые **биогеохимическими эндемиями**. Учение о биогеохимических провинциях позволило объяснить причину многих эндемических заболеваний как-то: рахит – возникает при недостатке кальция в рационе, сухотка - при недостатке кобальта в почвах и на пастбищах, недостаток марганца является основной причиной таких заболеваний домашней птицы, как перозис и хондродистрофия, лизуха развивается при недостатке меди, недостаток йода в почве и воде является главной причиной эндемического зоба, чрезмерное поглощение с травой молибдена вызывает сильный изнуряющий понос, который наблюдается у коров, анемия развивается при недостатке железа в почве и воде.

Элементарный состав организма животных. Общая масса всех живых организмов, населяющих Землю, составляет примерно 10^{13} - 10^{15} т. Сравнение химического состава живых организмов и неживой природы (атмосферы и земной коры) свидетельствует о том, что живые организмы приспособили для своей деятельности не все самые распространенные элементы земной коры (литосферы). Например, один из наиболее распространенных элементов литосферы – кремний – лишь в небольших количествах содержится в некоторых видах растений, а в организме животных присутствуют лишь его следы. Известно, что в состав органов и тканей животных и человека входят свыше 70 элементов из периодической системы Д.И. Менделеева. По количественному содержанию в организме их можно разделить на макроэлементы (их концентрация выше 0,001 %), микроэлементы (концентрация которых составляет 10^{-6} - 10^{-3} %) и ультрамикроэлементы (концентрация меньше 10^{-6} %). К группе макроэлементов относятся: кислород, водород, углерод, азот, сера, фосфор, кальций, натрий, калий, магний, хлор и железо. К микроэлементам – йод, фтор, марганец, цинк, медь, молибден, кобальт, селен, бор, бром и др. и к ультрамикроэлементам относятся: литий, алюминий, кремний, олово, мышьяк, титан, ванадий, хром, серебро, вольфрам и другие. Почти 99 % от перечисленных элементов приходится на долю кислорода, водорода, углерода и азота, в то время как содержание трех последних в земной коре ничтожно. Они являются составными компонентами воды, белков, липидов и минеральных веществ животного организма.

Содержание основных элементов в организме животных представлено в таблице 1.

Таблица 1. Содержание элементов в организме животных

<i>Элемент</i>	<i>%</i>	<i>Элемент</i>	<i>%</i>
Кислород	62,43	Сера	0,08
Водород	9,86	Хлор	0,08
Углерод	21,15	Цинк	0,003
Азот	3,10	Йод	0,014
Кальций	1,90	Фтор	0,005
Фосфор	0,95	Бром	0,001
Натрий	0,80	Кремний	0,001
Калий	0,23	Медь	0,0002
Железо	0,05		

Неорганические, или минеральные вещества находятся в клетках в виде ионов. Неорганические ионы в живом организме выполняют различные **биологические функции**:

1) биоэлектрическую, связанную с возникновением разности потенциалов на клеточных мембранах. Это свойство ионов используется для регуляции функций, особенно возбудимых клеток (нервных, мышечных) и для проведения нервных импульсов;

2) осмотическую, используемую для регуляции осмотического и гидросмотического давления;

3) структурную, обусловленную комплексообразующими свойствами металлов. Ионы металлов входят в состав макромолекул (белков, нуклеиновых кислот, гема, хлорофилла и т.д.);

4) регуляторную, проявляющуюся в том, что ионы металлов, соединяясь с ферментами, оказывают влияние на их активность и регулируют скорость химических превращений в клетке. Это прямое регуляторное действие катионов. Косвенная регуляторная функция состоит в том, что ионы металлов необходимы для проявления действия другого регулятора, например гормона;

5) транспортную, основанную на участии некоторых металлов (в составе металлопротеидов) в переносе электронов или простых молекул. Например, катионы железа и меди входят в состав цитохромов, являющихся переносчиками электронов, а железо в составе гемоглобина связывает кислород и участвует в его переносе;

6) энергетическую, связанную с использованием неорганических фосфатных анионов в образовании АТФ из АДФ;

7) механическую, или опорную. Например, катион кальция и анион фосфора входят в состав гидроксиапатита и фосфата кальция костей и определяют их механическую прочность;

8) синтетическую, связанную с использованием неорганических анионов для синтеза сложных молекул. Например, I^- участвует в синтезе иодтиронинов в клетках щитовидной железы;

Известно, что макро- и микроэлементы являются с одной стороны, синергистами, а с другой – антагонистами. В связи с этим следует знать об антагонизме, существующем между кальцием и цинком, натрием и литием и т.д. Явление антагонизма между химическими элементами в живом организме обусловлено их физико-химическими и электрокинетическими свойствами.

4. БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ ЖИВОТНЫХ

Натрий. Обмен натрия тесно связан с обменом калия. Его содержание в организме составляет 0,08% общей массы. Некоторое количество гидрокарбоната натрия секретируют слюнные и поджелудочная железы. Он и создает необходимую реакцию среды для процессов пищеварения в ротовой полости и кишечнике. Натрий поступает в организм в основном в виде хлорида натрия. Основная масса натрия сосредотачивается в плазме крови, лимфе, ликворе и других биологических жидкостях в виде хлоридов, гидрокарбонатов, фосфатов и т. д. Богаты натрием кожа, легкие, мозг.

Большая часть натрия всасывается в тонкой кишке, а также в желудке и толстой кишке. Натрий проникает через стенку кишок против градиента концентрации с участием специальных переносчиков. 90-95% поглощенного натрия выделяется с мочой, 5-10% - с калом и потом. Обмен натрия в организме регулируется альдостероном.

Натрий - основной катион внеклеточной жидкости (135-155 ммоль/л плазмы крови) - практически не поступает в клетки, и следовательно, определяет осмотическое давление плазмы и интерстициальной жидкости. При потере натрия появляется «осмотически свободная» вода, часть которой может перемещаться в клетки вследствие разницы осмотического давления (осмотический градиент), что приводит к набуханию клеток. Часть воды выводится почками. В конечном счете, то и другое уменьшает объем внеклеточного водного сегмента, в том числе и объем крови. Избыток натрия вызывает задержку дополни-

тельного количества воды, увеличивающего внеклеточное пространство, к формированию отеков.

Косвенно ионы натрия участвуют в регуляции кислотно-щелочного состояния через бикарбонат и фосфатную буферную систему. Ионы натрия в известной мере определяют степень нервно-мышечной возбудимости.

Ферментативные процессы в митохондриях и ядре могут происходить только при наличии натрия. Ионы натрия активизируют амилазу, фруктокиназу, холинэстеразу и тормозят действие фосфоорилазы.

Одной из самых распространенных систем активного переноса является ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) - АТФ-аза, т. е. фермент, активность которого зависит от присутствия в среде ионов Na^+ и K^+ . Эта система локализована в клеточной мембране и обеспечивает выведение из клетки ионов натрия и замену их на ионы калия или такие метаболиты, как аминокислоты, углеводы и др.

Названная выше система действует в две стадии: внутри клетки под влиянием ионов Na^+ осуществляется фосфорилирование фермента-переносчика за счет использования внутриклеточной АТФ и последующее присоединение к нему Na^+ . Во второй стадии фосфорилированный фермент гидролизуется с освобождением ионов Na^+ на внешней стороне мембраны. Вместо натрия в клетку поступают ионы K^+ , а в других случаях - аминокислоты и глюкоза. Описанная система активного транспорта веществ получила название «натриевого насоса». Таким образом, ионы Na^+ - играют существенную роль при транспорте различных метаболитов из окружающей среды в клетки.

Избыток натрия в организме, в равной мере, как и его недостаток, вызывает серьезные нарушения обмена веществ, в основе которых лежит угнетение ряд ферментов. Одним из признаков повышенного содержания натрия в организме является хрупкость сосудов, а также гидратация тканей, их отечность.

Гипонатриемия возникает при недостатке натрия в рационе, усиленной работе, диабете. К этому приводят обильные вливания глюкозы, большая задержка воды при некоторых заболеваниях почек (нефрит, тубулярный нефроз) или чрезмерно усиленная секреция вазопрессина при острых и хронических заболеваниях мозга.

Первичное следствие гипонатриемии - снижение осмотического давления внеклеточной жидкости, которое выравнивается вторично за счет перехода воды из внеклеточного во внутриклеточное пространство.

Гипернатриемия возникает при уменьшении реадсорбции натрия в почечных канальцах и нарушении инкреции альдостерона или антидиуретического гормона гипофиза. Развиваются отеки в тканях. Эти явления наблюдаются при нефритах, циррозах печени, мио- и перикардитах.

Калий. Его содержание в организме животных достигает 0,22-0,23% общей массы. Калий участвует в поддержании осмотического давления внутри клетки, передаче нервного импульса, регуляции сокращений сердечной и других мышц, входит в состав буферных систем крови и тканей, поддерживает гидратацию ионов и коллоидных частиц, активизирует деятельность многих ферментов (АТФ-азы, пироват- и фруктокиназы и др.), является составной частью натрий-калиевого насоса клетки. Калием богаты ботва кормовой свеклы, трава луговая, клевер, картофель, соевый шрот, отруби пшеничные.

Больше всего калия сосредоточено в тканях печени, почек, кожи, мышц и нервной системы. Калий в основном сосредоточен в клетках (540-620 мг%), мало его в межклеточной жидкости (15,5-21 мг%). Находится в виде солей - хлоридов, фосфатов, карбонатов и сульфатов, в ионизированном состоянии и в связи с белками или другими органическими соединениями.

Калий относится к числу внутриклеточных элементов, где одним из его назначений является обеспечение внутриклеточного осмотического давления. В целом ионы K^+ повышают скорость аэробного и угнетают анаэробное окисление углеводов. Ионы калия вместе с ионами натрия участвуют в процессе передачи нервного возбуждения с нерва на

иннервируемый орган, а также между нейронами. При этом они обеспечивают образование медиаторов (ацетилхолина) на нервных окончаниях, а также в формировании соответствующей реакции иннервируемой ткани на воздействие медиатора. Он необходим для активирования ферментов, катализирующих заключительные этапы синтеза белков. Растения и бактерии могут использовать аммиак для синтеза белков только при наличии определенного количества калия и фосфора.

В природе калия достаточно много и практически недостаточность его у животных не наблюдается.

Преобладающая часть калия выводится почками (небольшая - с потом и калом). Повышение концентрации калия выше 6,5 ммоль/л плазмы - угрожающее, выше 7,5 до 10,5 - токсично, а выше 10,5 ммоль/л - смертельно.

Обмен калия в организме регулируется минералокортикостероидами коры надпочечников. Гиперкалиемию наблюдают при усиленном распаде тканей, травмах, инфекциях, нарушениях регуляции со стороны надпочечников. При этом угнетаются реакции гликолиза, клеточное дыхание, окислительное фосфорилирование, возбудимость, наступает интоксикация.

Кальций. На долю кальция приходится почти треть всех минеральных веществ организма (1,9% общей массы тела). 97% кальция сосредоточено в скелете, где он образует кристаллы гидроксилатапата. Эти кристаллы располагаются на поверхности нитей коллагена и между ними, создавая большую поверхность раздела для обмена. На кристаллах гидроксилатапата могут адсорбироваться карбонаты, цитраты и другие минералы. Кальций в небольших количествах содержится в плазме крови (10—15 мг %) и клетках, причем часть его находится в ионизированной форме, а другая образует комплексы с белками и мембранными структурами клеток. Кальцием богаты люцерна, ботва сахарной свеклы, пастбищная трава и рыбная мука.

Всасывание кальция происходит преимущественно в тонкой кишке. Интенсивность всасывания зависит от содержания кальция в кормах, потребности животных и наличия витамина D. Витамин D является составной частью белкового переносчика — кальций связывающего протеина, выполняющего при всасывании три функции: стимулятора диффузии, носителя и концентратора. Всасывание происходит в два этапа — поглощение кальция клетками кишечного эпителия и транспортирование его к серозной оболочке. 40% кальция организма связано с альбуминами крови, которые участвуют в транспортировании кальция к тканям и клеткам.

Кальций участвует в регуляции порозности эндотелия сосудов, в создании структуры костной ткани, в процессах свертывания крови. Он снижает возбудимость нервной системы, стимулирует деятельность сердечной мышцы, понижает проницаемость клеточных мембран, уменьшает способность коллоидов связывать воду, участвует в регуляции деятельности многих ферментов. Так, кальций является ингибитором енолазы и дипептидазы, активатором лецитиназы и актомиозин-АТФ-азы. При недостатке в рационе кальция возникает гипокальцемию. Она сопровождается гиперфосфатемией, повышением проницаемости клеточных мембран, остеопорозом, ломкостью и искривлением костей, остеомаляцией, рахитом, судорогами.

Обмен кальция в организме регулируется паратгормоном и кальцитонином. Избыток кальция из организма выделяется с калом (в основном путем секреции слизистых оболочек кишок) и мочой.

Фосфор. Фосфор — один из распространенных элементов органического мира. В организме животных встречаются как минеральные (различные фосфорнокислые соли), так и органические соединения фосфора. Одно из таких веществ — гидроксилатапатит — основное минеральное соединение костной ткани. В среднем в костях млекопитающих 30 % золы, в составе которой 36 % кальция, 17 % фосфора и 0,8 % магния. Фосфор костей составляет 70—85 % от общего количества этого элемента в организме.

Содержание фосфора в организме животного в среднем составляет 1% общей массы. В тканях животных обычны соединения пятивалентного фосфора в виде фосфатов. В организме животного фосфор является составной частью костей и зубов, компонентом нуклеиновых кислот, фосфопротеидов и фосфатидов (белки мозга, казеиноген, фосфорилаза, вителлин, фосвитин и др.), входит в состав буферных систем и коферментов (НАД, НАДФ, ФАД, ФМН, NS-КоА, пиридоксальфосфат и др.), макроэргических фосфатов (АТФ, ЦТФ, ГТФ, УТФ, креатинфосфат) посредника при гормональной регуляции (циклическая — 3'5'-АМФ) и активатора углеводов, аминокислот и продуктов омыления жиров в процессе их окисления (глюкозо-6-фосфат, глицерофосфат, 3-фосфоглицериновая кислота и др.).

Всасывается фосфор в проксимальном участке тонкой кишки. У молодых животных практически всасывается весь фосфор молока или минеральной подкормки. Для всасывания фосфора необходимо присутствие ионов Ca^{2+} и, по-видимому, K^+ в химусе. Выделяется с мочой, калом и потом (у жвачных в основном с калом).

Обмен фосфора в организме регулируется паратгормоном, частично — половыми гормонами. При недостатке фосфора в кормах, нарушении соотношения $\text{Ca} : \text{P}$ или заболеваниях парашитовидной железы возникает рахит, остеомаляция, остеопороз и фиброзный остит.

Магний. Подобно кальцию магний широко распространен в природе и попадает в организм с кормом и водой. Много магния содержится в рисовых отрубях, ботве кормовой свеклы, морковной ботве, подсолнечниковом шроте.

В организме большая часть магния концентрируется в костях, где его содержание достигает 0,1 %. Самая высокая концентрация магния в дентине зубов — около 0,8 %. Остальные ткани содержат примерно одинаковое количество магния {0,005—0,015%}. Магний составляет около 0,05% общей массы животного. В отличие от кальция он является преимущественно внутриклеточным компонентом. Соотношение внутриклеточного магния к внеклеточному составляет 10: 1.

Всасывание магния происходит в желудке и двенадцатиперстной кишке. По-видимому, для кальция и магния существует одна и та же система всасывания. Лучше всего всасывается магний молока (у телят — до 90% общей массы). Несколько хуже всасывается магний в виде солей $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и MgCO_3 , добавляемых в корма в качестве подкормки. В крови находится в виде ионов, солей и соединений с альбуминами и глобулинами. Депонируется в печени, затем поступает в мышечную и костную ткани. Магний — антагонист кальция. Выделяется с мочой, калом и потом в виде солей.

В основном магний сосредоточен в скелете и мягких тканях. Магний входит в состав костей и зубов, участвует в функционировании нервно-мышечного аппарата и иммунобиологических процессах, является составной частью и активатором многих ферментов (АТФ-азы мышц, АХЭ, фосфатаз), «регулятором» окислительного фосфорилирования и др. Магний обеспечивает сохранность уникальной структуры митохондрий и осуществление в них сопряжения окисления с фосфорилированием.

При недостатке магния в кормах и воде у животных возникает травяная тетания или гипомагнизия, которая проявляется в мышечном подергивании, замедлении роста, нарушении нервно-мышечной деятельности. У лактирующих коров явление гипомагниземии может развиваться в весенне-летний период при переводе их на кормление зеленой массой.

Хлор. Хлор составляет около 0,08% общей массы животного. Хлор содержится в виде анионов солей (натрия, калия, кальция, магния и др.) во всех жидкостях животных. Анионы хлора вместе с катионами натрия и калия поддерживают осмотическое давление плазмы и других жидкостей. Перемещаясь свободно через мембраны клеток, анионы хлора обеспечивают динамическое равновесие H^+ -ионов в клетках и окружающей их среде. Хлориды используются слизистой желудка для секреции соляной кислоты. Является активатором амилазы и полипептидазы. Всасывается хлор главным образом в тонкой кишке.

Концентрируется во внеклеточных жидкостях (до 85%), внутри клеток хлор в основном сосредоточен в эритроцитах. Больше всего хлора содержится в сыворотке крови. В организме в среднем удерживается 31% потребленного хлора. Избыток хлора выделяется с мочой, калом и потом.

Обмен хлора в организме регулируется минералокортикоидами коры надпочечников.

Сера. Содержание серы в организме животного колеблется от 0,08 до 0,5% общей массы. Много серы содержится в рапсовом шроте, ботве кормовой свеклы, дрожжах, рыбной муке. В организме животных сера преимущественно представлена восстановленной формой (сульфидная сера) в составе аминокислот и абсолютного большинства белков. Особенно много серы в белках покровных тканей и их дериватов - эпителий, шерсть, волосы, копыта, рога, перья. Кроме того сера - составная часть глутатиона, коэнзима А, витаминов, мукополисахаридов, некоторых желчных кислот, сульфатидов, парных соединений и др.

Поступает с кормами в виде органических (белков, аминокислот, витаминов) и неорганических (сульфатов) соединений. Из неорганических соединений сульфат-ионы сразу же всасываются кишками. Часть серы усваивается бактериями пищевого канала (особенно в преджелудках жвачных) и переводится в органическую. Органические серо-содержащие соединения (белки, пептиды) организм усваивает после предварительного расщепления в пищевом канале. Часть поступившей с кормами серы накапливается в организме в виде биологически активных веществ.

Сера участвует в биосинтезе кератинов шерсти, принимает участие в образовании многих белков, гормонов, хондроитинсерной и таурохолевой кислот. Некоторая часть серы подвергается окислению, превращаясь в серную кислоту, которая используется клетками печени для нейтрализации токсических продуктов (индол, скатол) в виде парных соединений - фенолсерной кислоты, животного индикана. Из организма сера выводится с мочой, калом, потом (у овец — с жиропотом) в виде сульфатов или эфиров с фенолами. Сера у жвачных животных может использоваться многократно. Так, значительная ее часть выделяется в желудочно-кишечный тракт вместе с пищеварительными соками и поглощается бактериями, которые включают ее во вновь синтезируемые в преджелудках аминокислоты. Затем после переваривания бактерий ранее синтезированные ими аминокислоты освобождаются, всасываются в кровь и идут на построение тканевых белков и других целей.

При недостатке серы наблюдается потеря аппетита, выпадение шерсти, слюно- и слезотечение и др.

Железо. Широко распространенный в природе элемент, имеющий большое биологическое значение. В организме животных железо содержится в сравнительно небольшом количестве – примерно 0,005 % от живой массы. Из этого количества 20-25% железа является резервным, 5-10% входит в состав миоглобина, около 1% содержится в дыхательных ферментах, катализирующих процессы дыхания в клетках и тканях. Данный химический элемент входит в состав более 70 различных ферментов. Почти половина ферментов и кофакторов цикла Кребса либо содержат железо, либо нуждаются в его присутствии.

Железосодержащие биомолекулы выполняют четыре основные функции: 1) транспорт электронов (цитохромы, железосеропротеиды); 2) транспорт и депонирование кислорода (гемоглобин, миоглобин, эритрокупреин и т.д.); 3) участие в формировании активных центров окислительно-восстановительных ферментов (оксидазы, гидроксилазы, супероксиддисмутазы и др.); 4) транспорт и депонирование железа (сидерофилины, к которым относятся трансферрин, лактоферрин, ферритин, гемосидерин, сидерохромы). Таким образом, железо активно участвует в составе многочисленных соединений, в различных метаболических процессах, а в некоторых из них играет ключевую роль.

Первым и неперенным условием поддержания баланса железа в организме на определенном физиологическом уровне является адекватное поступление этого элемента

в организм с кормом. Усвояемость железа зависит от возраста животного, степени обеспеченности организма железом, от состояния пищеварительной системы, вида потребляемого корма, состава рациона и присутствия других минеральных веществ. На всасывание железа также оказывает влияние гипоксия, снижение запасов железа в организме, активация эритропоэза и болезни желудочно-кишечного тракта.

Из желудочно-кишечного тракта всасывается только ионизированное железо, причем лучше всего в виде двухвалентного иона. Всасывание происходит главным образом в тонком кишечнике (особенно в двенадцатиперстной кишке) за счет активного транспорта и, возможно, путем диффузии. Содержащийся в слизистой оболочке кишечника белок апоферритин связывает часть всасываемого железа, образуя с ним комплекс – ферритин. После прохождения кишечного барьера железо в сыворотке крови вступает в связь с β_1 -глобулином (трансферрином).

В виде комплекса с трансферрином железо поступает к различным тканям, где вновь освобождается. В костном мозге оно включается в построение гемоглобина. В тканевых депо железо находится в связанном состоянии (в виде ферритина и гемосидерина).

При разрушении эритроцитов часть гемоглобина распадается с образованием билирубина и гемосидерина, которые также служат резервной формой железа. Выводится железо пищеварительным трактом, почками и потовыми железами.

Наиболее часто встречается дефицит железа. Проблема дефицита железа наиболее актуальна для молодняка, особенно для новорожденных животных и животных подсосного периода. Одной из причин развития железодефицитных состояний у молодняка является то, что запасы железа у новорожденных животных незначительные, поэтому в результате усиленного роста животных потребности в железе превышают его поступление с молозивом и молоком матери. Другой причиной развития анемии у молодняка являются желудочно-кишечные заболевания, при которых происходит нарушение процессов всасывания соединений железа. Также в этиологии алиментарной анемии некоторую роль играет недостаточная обеспеченность организма животных белком, фолиевой кислотой, медью, кобальтом, цинком, марганцем и витамином В₁₂. Причем последний принимает непосредственное участие в эритропоэзе.

При дефиците железа у молодняка отмечается снижение уровня гемоглобина и активности железосодержащих ферментов, количества эритроцитов, РНК в лимфоцитах, а также гамма-глобулиновой фракции белка в сыворотке крови. Поэтому при недостатке железа нарушается дыхательная функция крови, что ведет к кислородному голоданию тканей, снижению энергии роста и устойчивости животных к другим заболеваниям.

5. БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ОТДЕЛЬНЫХ МИКРО - И УЛЬТРАМИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ ЖИВОТНЫХ

Медь необходима животным для нормального протекания многих физиологических процессов: кроветворения, пигментации и кератинизации шерсти, остеогенеза, формирования миэлина, воспроизводительной функции и т.д. Ионы меди влияют на течение жирового, углеводного, белкового и минерального обмена.

Важнейшая функция меди в организме состоит в том, что она является катализатором при образовании гемоглобина крови, хотя сама и не входит в его состав. В физиологическом отношении железо и медь тесно связаны между собой, так как медь в синтезе гемоглобина по значению напоминает железо в синтезе хлорофилла, хотя последнее не входит в его структуру. Оптимальная величина коэффициента Cu: Fe = 1:25. Данный элемент повышает всасывание железа в кишечнике и использование его запасов в тканях, способствует поступлению железа в костный мозг, где они совместно принимают участие в созревании эритроцитов.

Медь оказывает влияние на углеводный обмен, ускоряет окисление глюкозы, задерживает распад гликогена и способствует его накоплению в печени. Она необходима

также для синтеза йодированных соединений щитовидной железы. Оказывая влияние на обмен и использование углеводов, медь в организме животных находится в тесном взаимодействии с инсулином и адреналином.

Известно, что медь так же, как кобальт, цинк, молибден, йод и железо принимает активное участие в промежуточном обмене веществ. Свое биологическое действие медь проявляет посредством связи с белками, образуя комплексы, обладающие высокой биологической активностью, при этом часть меди связывается с L – глобулинами и образует церулоплазмин, в котором содержится около 90 % этого элемента и он является основным её депо. Церулоплазмин проявляет себя в организме и как фермент, и как антиоксидант. Способность церулоплазмينا катализировать окисление катехоламинов привела к утверждению, что этот белок может регулировать уровень в крови гормонов мозговой доли надпочечников. Кроме церулоплазмينا в крови имеется гемокупреин, в печени – гепатокупреин, в мозге – цереброкупреин.

Многие медьсодержащие белки обладают ферментативной функцией и играют важную роль в окислительно-восстановительных процессах, катализируя отдельные этапы тканевого дыхания. Например, цитохромоксидаза (белок, содержащий 0,09 % меди) катализирует завершающий этап тканевого дыхания – окисление восстановленного цитохрома С кислородом воздуха. Медь в количестве около 0,25 % содержится также ферменте тирозиназе. Этот фермент, наряду с другими ферментами, участвует в образовании пигментов кожи и шерсти путем окисления L- тирозина и превращения его в черный пигмент меланин.

Выявлено участие меди в регулировании активности металлоэнзимов, способствующих ассимиляции кальция, фосфора, что говорит об её влиянии на обмен макроэлементов.

При недостаточном поступлении меди в организм животных или же «вытеснение» её из биогенных активных соединений антагонистами (Zn, Mo, S, Cd) у них развивается заболевание – гипокупроз.

Несмотря на то, что медь относится к микроэлементам, в больших количествах она может выступать и как тяжелый металл. В высоких концентрациях медь подавляет активность многих ферментов, вызывает гемолиз эритроцитов, гемоглобинурию. Она может блокировать сульфгидрильные, карбоксильные группы белков, обуславливая при этом перерождение паренхимы органов. При хроническом токсикозе – цирроз печени. Повышенный уровень меди в рационе свиней тормозит процессы реутилизации железа из ферритина в ретикулоэндотелиальных клетках селезенки.

Цинк. Биологическая роль цинка, в первую очередь, связана с функцией ферментов. Известно, что он является незаменимым металлокомпонентом более 80 ферментов, среди которых важнейшими являются алкогольдегидрогеназа, лактатдегидрогеназа, глутаматдегидрогеназа, карбоангидраза, ДНК- и РНК- полимеразы, карбоксипептидаза, глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназа, альдолаза. Входя в структуру дегидрогеназ, цинк принимает участие в окислительно-восстановительных процессах клеток и тканей организма. В составе ДНК- и РНК-полимераз, микроэлемент имеет значение в реализации генетической информации при биосинтезе белка. Входя в структуру карбоангидразы, цинк способствует быстрому удалению двуокиси углерода из организма ($H_2CO_3 \leftrightarrow CO_2 + H_2O$). Карбоангидраза обнаружена в эритроцитах, в головном мозге, поджелудочной железе, слизистой оболочке желудка, сетчатке глаза и других тканях организма.

Цинк играет определенную роль в активности фермента енолазы, способствующего превращению 2-фосфоглицериновой кислоты в фосфоенолпируват. Также цинк является составной частью фермента карбоксипептидазы, обладающей способностью отщеплять аминокислоты от полипептидов со стороны карбоксильной группы.

Цинк входит в состав некоторых гормонов (инсулин, кортикотропный гормон). Оказывает гипогликемическое действие, что объясняется не столько стабилизирующим влиянием цинка на инсулин, сколько инактивирующим его воздействием на фермент ин-

сулиназу, положительно влияет на оссификацию, а также на образование соляной кислоты в сычуге и молочную продуктивность. Цинк воздействует на половую функцию, повышая генезис половых клеток, оказывает стабилизирующее действие на мембраны клеток в результате образования стабильных цинкпротеидных комплексов. У многих плотоядных животных отражающий слой за сетчаткой глаза, *tapetum*, содержит кристаллы Zn^{2+} цистеинового комплекса. Наряду с витамином В₆ цинк играет важную роль для обеспечения оптимального функционирования вилочковой железы, которая нужна для иммунной системы организма.

Таким образом, с наличием данного элемента в организме, связаны процессы клеточного дыхания, обмен белков, нуклеиновых кислот, липидов, углеводов, плодовитость, иммунитет, а также энергетический обмен.

В организм цинк поступает главным образом с кормами. У большинства животных всасывается в тонком кишечнике, у жвачных, кроме этого, в сычуге, у птиц - в мышечном желудке. Всасывание цинка зависит от качественного и количественного состава белков корма, содержания в нем кальция, фитата, а также от природы химического соединения цинка. Наличие фитиновой кислоты и высокий уровень белка в рационе препятствуют всасыванию цинка даже в случае токсических доз этого элемента, что объясняется образованием комплексных соединений в кишечнике, в которых цинк физиологически недоступен. С цинком конкурирует медь и очень токсичный кадмий. Последний накапливается в корковом веществе почек.

Несмотря на то, что цинк относится к незаменимым питательным веществам в больших количествах он может выступать и как тяжелый металл. Длительное скармливание избыточного количества цинка (750 мг/на 1 кг сухого вещества) приводит к снижению концентрации меди в плазме крови и печени, вызывает аборт и депрессию животных. Токсичность цинка возрастает при избытке в рационе витамина D

Кобальт необходим для стимуляции роста микрофлоры рубца и синтеза витамина В₁₂, который является коферментом энзимов, катализирующих реакции трансметилирования и биосинтеза гемсодержащих белков (гемоглобин, цитохромы, каталаза). Кобальт заметно активизирует аргиназу и в меньшей степени дипептидазу, пируваткарбоксилазу, рибофлавинкиназу, щелочную фосфатазу и др. Однако он понижает активность пепсина и уреазы. Данный элемент участвует в обмене жирных кислот, в углеводном обмене и реализации функции фолиевой кислоты. Принимая участие в процессах гликолиза, ионы кобальта повышают антитоксическую функцию печени. Кобальт активизирует защитную функцию эпителиальных тканей кожи, кишечника и бронхов в отношении действия микроорганизмов и их токсинов.

При дефиците кобальта у животных развивается анемия, резко снижается продуктивность и сохранность животных. В преджелудках жвачных животных угнетается размножение бактерий, меняется их видовой состав. Характерно, что клинические признаки токсикоза сходны с таковыми при дефиците кобальта.

Марганец играет роль активатора окислительного фосфорилирования. Он входит в состав ферментов – фосфоглюкомутазы, енолазы и др., активизирует активность фосфофруктокиназы, аргиназы, дипептидазы, костную и щелочную фосфатазу. Стимулирует процессы роста молодняка, кровообразование и половую функцию самцов и самок. Считается, что он может оказывать профилактическое действие в отношении развития недостаточности венечных артерий сердца, диабета, патологии щитовидной железы, нарушении углеводного и липидного обменов.

Недостаток марганца возникает при дефиците его в рационе или при избытке в окружающей среде его антагонистов – молибдена и йода. При дефиците марганца ослабляется активность ферментов, обеспечивающих окислительные процессы в организме, расстраиваются функции половой системы и кроветворения, нарушается белковый, углеводный и минеральный обмен. Особенно чувствительны к дефициту марганца птицы, у которых при этом возникает перозис (деформация костей ног и крыльев) и литье яиц. У

большинства видов сельскохозяйственных животных избыток марганца в рационе приводит к снижению потребления корма, переваримости клетчатки, а также к уменьшению образования гемоглобина и размера эритроцитов крови. Избыток марганца в рационе тормозит процессы метаболизма железа в организме.

Молибден. В организм животных молибден поступает при поедании содержащих его растительных кормов. Данный элемент входит в состав ряда ферментов, участвующих в детоксикации чужеродных для организма веществ. Способствует задерживанию в организме фтора и таким образом препятствует развитию кариеса, а также метаболизма железа в печени. Молибден входит в состав простетической группы ксантинооксидазы – фермента, с помощью которого осуществляется пуриновый обмен в организме животных и человека. Содержится данный элемент также в ферменте альдегидоксидазе, который отвечает за превращение спиртов на стадии окисления альдегидов. Предполагается также, что в малых дозах молибден стимулирует образование гемоглобина, а в больших наоборот, тормозит этот процесс. Наибольшее количество молибдена содержат те органы, которые принимают наиболее активное участие в обмене веществ, - печень, почки и мезентеральные лимфоузлы, меньше его содержание в мышцах. Наиболее богаты молибденом органы и ткани птицы. Это вероятно связано с тем фактом, что у птиц конечным продуктом пуринового обмена является мочевая кислота, в образовании которой самое непосредственное участие принимает ксантинооксидаза. Молибден как антагонист меди может вытеснять ее из печени, а как антагонист фосфора вытесняет его из костной ткани.

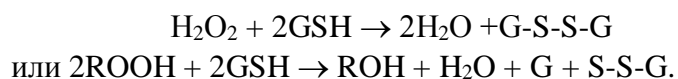
Толерантность организма к высокому уровню потребления молибдена зависит от вида и возраста животных, содержания в рационе меди, неорганической серы (или веществ, способствующих окислению серы), цинка и свинца. Наиболее чувствителен к избытку молибдена в окружающей среде и рационе молодняк, чем взрослые животные. Молочные коровы реагируют сильнее, чем мясной скот.

Избыточное поступление в организм молибдена вызывает нарушение пуринового обмена и приводит к возникновению подагры, при которой, как известно, происходит отложение солей мочевой кислоты в различных органах и тканях (очень чувствительна птица). При этом деформируются суставы, что затрудняет передвижение. С избытком этого металла связано и еще одно заболевание – рассеянный склероз, при котором в спинном и головном мозге образуются очаги поражения нервных проводников. Также в высоких дозах молибден угнетает активность щелочной фосфатазы сыворотки крови.

Дефицит же его является одним из факторов возникновения опухолей пищевода.

Селен является мощным антиоксидантом. Он контролирует окислительно-восстановительные процессы на клеточном уровне (обмен глюкозы, цикл Кребса, калиево-натриево-кальциевый обмен и др.), связан с функцией более 100 ферментов, участвующих в детоксикации продуктов метаболизма, регулирует окисление жирных кислот, участвует в синтезе важнейших гормонов. Так под влиянием селена активность адреналина понижается, инсулина – повышается. Это приводит к появлению гипогликемического эффекта: в крови уменьшается количество сахара, а в мышцах увеличивается содержание гликогена. Селен способен вытеснять серу и образовывать селен-гемоглобин, вызывая при этом гипохромную анемию.

Данный микроэлемент регулирует усвоение и расход витаминов E, A, C и K в организме животных, замедляет процесс старения, обладает цитопротективными свойствами, участвует в регуляции эластичности тканей, способствует задержке распространения в организме вирусов и развитию вторичных инфекций у больных. Он входит в состав глутатионпероксидазы. Глутатионпероксидаза защищает внутриклеточные структуры от повреждающего действия свободных кислородных радикалов, которые образуются как при обмене веществ, так и под влиянием внешних факторов, в том числе и ионизирующего излучения:



Глутатионпероксидаза, катализирующая реакцию окисления глутатиона (GSH) перекисью водорода.

В настоящее время селен рассматривают как один из перспективных антиканцерогенных факторов. Также имеется информация об участии селена в иммунных реакциях в составе селенопротеинов, обмене тиреоидных гормонов, что позволяет использовать препараты этого микроэлемента в качестве иммуностимуляторов. Механизм иммуномодулирующего воздействия связан с защитными антиоксидантными свойствами по отношению к полиненасыщенным жирным кислотам мембран иммунокомпетентных клеток.

Особенность обмена селена состоит в том, что он всасывается на протяжении всего пищеварительного канала. Около 79 % селена поглощается эритроцитами, а остальное его количество депонируется клетками почек, печени и других тканей. Значительное количество селена находится в шерсти и копытном роге.

Изменения, происходящие в организме животных на фоне дефицита селена, с патологоанатомической и клинической точек зрения напоминают гипо- и авитаминоз Е. Нарушение обмена веществ, проявляется уменьшением в сыворотки крови общего кальция, увеличением неорганического фосфора, дистрофией печени, сердца, почек, селезенки и других паренхиматозных органов. У телят и поросят развивается специфическое заболевание – беломышечная болезнь.

Йод, активно влияя на обмен веществ и усиливая процессы диссимиляции, необходим для эндогенного синтеза гормонов щитовидной железы, а также для обеспечения нормального морфофункционального состояния щитовидной железы. При поступлении йодидов в клетки эпителия фолликула щитовидной железы йодид-ионы под влиянием фермента йодид-пероксидазы окисляются с образованием элементарного йода, который включается в молекулу тирозина. При этом одна часть радикалов тирозина в тиреоглобулине йодируется с образованием тиронинов, основными из которых являются тироксин (Т₄) и трийодтиронин (Т₃). Тиронины образуют комплекс с белком тиреоглобулином, который депонируется в коллоиде фолликула щитовидной железы. Известно также влияние йода на липидный, белковый и углеводный обмен и воспроизводительную функцию животных.

Йод всасывается в тонком кишечнике, причем йод и йодиты предварительно превращаются в йодиды, а затем поступают в кровь. Выводится в основном элементом почками (до 80%), а также кишечником, кожей, легкими и молоком.

Недостаток йода в организме животных возникает вследствие низкого содержания его в почве (менее 0,0001 %) и питьевой воде (менее 10 мкг/л) или избытка его антагонистов – кальция, марганца и серы в рационе животных. При йодной недостаточности нарушается синтез тироксина. Это ведет к компенсаторному усилению функции и увеличению объема щитовидной железы, её патологическим изменениям (фолликулы трансформируются, развивается кистозное перерождение органа). Характерный признак йодной недостаточности – увеличение щитовидной железы («зоб»).

Фтор. В организме животных данный микроэлемент составляет 0,009% от общей массы. Участвует в образовании опорных тканей, особенно костной, и зубов. Оказывает действие на активность многих ферментов и на обмен веществ в целом. В организм животных поступает больше с водой, чем с кормами. Быстро поглощается вначале щитовидной железой, затем почками и надпочечниками. В дальнейшем концентрируется в эмали зубов, дентине, диафизах и эпифизах костей, селезенке, волосах и шерсти. С возрастом содержание фтора в организме возрастает. Основная масса фтора депонируется в костях.

Дефицит фтора в воде приводит к нарушению обмена веществ в организме и возникновению кариеса. Важную роль играет и дефицит в рационах переваримого протеина, фосфора, цинка, молибдена, кобальта и избыток кальция.

Избыток фтора приводит к заболеванию флюороз, при котором развиваются патологические процессы в костях, особенно в зубах. Появляется крапчатость (пятнистость) эмали, зубы разрушаются и выпадают. Развиваются симптомы остеомалации, остеопоро-

за, остеолиза, так как фтор взаимодействует с ионами кальция, магния и фосфора, что приводит к нарушению минерального обмена (выраженная гипокальцемия). Он угнетает активность ферментов, является биологическим конкурентом йода. При длительном поступлении фтора в больших дозах уменьшается воспроизводительная функция животных и проявляется гонадотоксический, эмбриотоксический эффект. Доказано иммунодепрессивное действие фтора.

Хром активирует фосфоглюкомутазу, трипсин, гликогенсинтетазу и образует комплексы с РНК. В связи с этим считают, что хром стимулирует биосинтез гликогена и белка, а также нормализует липидный обмен. Биологическую активность для животных проявляет только трёхвалентный хром. Он способствует поддержанию уровня сахара в крови, профилактике атеросклероза и сердечнососудистых нарушений, снижает уровень содержания в крови холестерина.

Никель в небольших количествах необходим для организма животных. В сыворотке крови никель находится в составе низкомолекулярных комплексов, а также связан с сывороточным альбумином. Кроме того, известен специфический никельсодержащий белок класса макроглобулинов, названный никелоплазмином.

Никель относится к тяжелым металлам. При избытке его в почвах и в произрастающих на них растениях у животных возникает поражение кожи (никелевая экзема или дерматиты), развивается дистрофия роговицы, нарушается зрение (никелевая слепота), так как роговица утолщается и изъязвляется. Может быть и её прободение. Развиваются конъюнктивиты и кератиты. Имеются данные о возможности трансплацентарного перехода токсиканта в организм плода. Поэтому токсикоз возникает у молодняка чаще, чем у взрослых животных. Никель способен заменять кальций в костях, если он является постоянным источником контаминации в течение длительного времени и, как следствие развитие рахита.

Кадмий относится к тяжелым металлам. Основной причиной кадмиевого токсикоза является загрязнение внешней среды данным элементом. При содержании кадмия более 5 мг в 1 кг растительного корма этот элемент начинает накапливаться в органах и тканях животных, особенно почках, меньше в печени и костях.

При избыточном потреблении с кормами кадмия у животных нарушаются обменные процессы, особенно обмен цинка, меди, кальция и фосфора. В органах и тканях происходит перераспределение цинка. Всасывание его из кишечника в кровь ослабляется, что приводит к цинковой недостаточности. В печени уменьшается содержание меди. Нарушается фосфорно-кальциевый обмен в организме. Развиваются явления остеодистрофии. Также кадмий снижает кишечное всасывание глюкозы, натрия, воды и активность АТФ-азы в слизистой оболочке тощей кишки.

Ионы кадмия в организме животного блокируют в большей степени карбоксильные группы аминокислот и значительно меньше сульфгидрильные группировки, что приводит не только к нарушению ферментативных процессов, но и к нарушению синтеза белка. При длительном поступлении кадмия в организм может наблюдаться увеличение активности аконитазы, малатдегидрогеназы и сукцинатдегидрогеназы. В миокарде происходит накопление триглицеридов, свободных жирных кислот, фосфолипидов и холестерина. В аорте повышается содержание свободных жирных кислот. Кадмий отрицательно влияет на воспроизводительную функцию животных, оказывает эмбриотоксическое действие. Приплод рождается недоразвитым, восприимчивым к заболеваниям.

Свинец относится к тяжелым металлам. Основной причиной свинцового токсикоза является загрязнение внешней среды данным элементом. Он оказывает местное раздражающее действие и резорбтивное. После всасывания в кровь длительно циркулирует в эритроците, вызывая базофильную зернистость. В основном накапливается в костной ткани, меньше в печени, почках и очень мало в мышечной ткани. Длительное поступление свинца в организм оказывает угнетающее влияние на белковый обмен и иммунобиологическую реактивность животных. Это проявляется снижением содержания общего белка в

сыворотке крови, уменьшением альбуминов, γ -глобулинов, увеличением концентрации α -глобулинов, β -глобулинов и снижением содержания Т-лимфоцитов и В-лимфоцитов.

Ртуть относится к тяжелым металлам. При всасывании в кровь ионы ртути проникают через все барьеры (гематоэнцефалический, плацентарный) в полость суставов, где задерживается и вызывает дегенеративные изменения. Блокируя сульфгидрильные группы ферментов, ртуть нарушает обменные процессы в организме и, в конечном счете, обуславливает развитие дистрофии и некроза в органах и тканях. Вызывает блокаду тиоловых ферментов: гексокиназы, липазы, уреазы и др. что ведет к нарушению функций центральной вегетативной нервной систем. Ртуть – стойкий кумулятивный яд. Избирательно накапливается в головном мозге, печени, почках, выделяется с молоком, мочой и слюной.

Задания для самостоятельной работы, выполняемые в рабочей тетради:

1. Охарактеризовать важнейшие функции воды в организме животных.
2. Укажите основные источники поступления и пути выведения воды из организма животных.
3. Какие в организме существуют системы, отвечающие за сохранение и выведение воды? Какие гормоны и биоактивные вещества задействованы в этих процессах?
4. Дать определение «биогеохимическая провинция», «эндемическое заболевание». Привести примеры распространенных эндемических заболеваний.
5. Охарактеризовать биологическую роль макроэлементов К, Na, Cl. Указать причины и особенности проявления нарушения их обмена.
6. Охарактеризовать биологическую роль макроэлементов Mg, Ca, P. Указать причины нарушения их обмена. Какие заболевания наблюдаются при их недостаточном поступлении?
7. Охарактеризовать биологическую роль серы?
8. Охарактеризовать биологическую роль Fe и Cu. Указать заболевания, развивающиеся при нарушении их обмена, чем они проявляются?
9. Охарактеризовать биологическую роль Mn и Zn. Указать заболевания, развивающиеся при нарушении их обмена, чем они проявляются?
10. Охарактеризовать биологическую роль I, и Mo. Указать заболевания, развивающиеся при нарушении их обмена, чем они проявляются?
11. Охарактеризовать биологическую роль Co и Se. Указать заболевания, развивающиеся при нарушении их обмена, чем они проявляются?
12. Перечислить, какие минералы необходимы для профилактики и лечения анемии.
13. Указать, какие микроэлементы тесно взаимодействуют или входят в состав витаминов, гормонов и ферментов? Привести конкретные примеры.