

Глава 5

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ

Основной жизнедеятельности живого организма служит обмен веществ (метаболизм).

Жизнь и белок — понятия неразрывные. Это объясняется тем, что белок является материальной основой жизни, то есть основу всего живого составляют белки. Следовательно, без белков жизнь на Земле невозможна.

В организме происходят непрерывно и автоматически протекающие превращения химических веществ, и взаиморегуляции этих процессов. И. П. Павлов рассматривал обмен веществ как основу физиологических функций организма.

Обмен веществ животных складывается из двух тесно связанных друг с другом процессов — ассимиляции и диссимиляции.

Ассимиляция, или *анаболизм*, — процесс усвоения организмом питательных веществ, поступающих из внешней среды. Питательные вещества ассимилируются и становятся белками, жирами и углеводами, присущими данному организму, его строительными материалами и энергетическими ресурсами. Эти сложные биохимические преобразования и превращения совершаются при участии многочисленных ферментов.

Диссимиляция, или *катаболизм*, — процесс распада сложных органических веществ, сопровождающийся освобождением большого количества энергии. Процессы ассимиляции и диссимиляции, тесно переплетаясь друг с другом, способствуют постоянному обновлению состава организма, что, конечно, требует и энергетического обеспечения.

Обмен веществ и энергии лежит в основе очень важных свойств живого организма — изменчивости и наследственности. Таким образом, основное свойство живой материи — обмен веществ, представляющий достаточно подвижную и гибкую, но строго упорядоченную систему биохимических реакций.

Различные стороны обмена веществ и энергии имеют свои особенности и закономерности. Каждому виду сельскохозяйственных животных присущ свой тип обмена веществ, который зависит от многочисленных факторов: климата, кормления, условий содержания, возраста, породы, пола, наследственных особенностей и т. д.

Регуляцию обмена веществ и энергии осуществляет центральная нервная система, в первую очередь кора головного мозга и некоторые его подкорковые образования. Особое значение имеет гипоталамус. В нервных клетках этого отдела мозга сосредоточены пульты управления тончайшими процессами обмена веществ и энергии. Через вегетативную нервную систему и железы внутренней секреции гипоталамус регулирует и координирует многообразные проявления жизнедеятельности клеток, органов и тканей.

Обмен веществ у животных состоит из трех этапов. Его начальный этап представлен пищеварением. В пищеварительном тракте в результате механической, биологической и химической обработки происходит переваривание корма.

Второй этап начинается с момента всасывания питательных веществ в кровь и лимфу. Идет процесс синтеза и распада органических веществ. При этом образуется большое количество промежуточных и конечных продуктов обмена. Этот этап называют промежуточным обменом, его разделяют на белковый, углеводный, липидный, минеральный и водный. Заключительный этап состоит в выведении конечных продуктов обмена веществ из организма.

Методы изучения обмена веществ. Для изучения обмена веществ в организме или в отдельных органах существуют самые разнообразные методы. Наиболее старый из них — *метод балансовых опытов*, заключающийся в подсчете количества поступающего в организм вещества и количества образующихся конечных продуктов его превращения, выделяющихся из организма. Например, определив количество азота, поступающего в организм животного с белками, выделяющегося с мочой, калом и потом, можно установить баланс азота. При помощи этого метода получены многочисленные ценные данные о промежуточном обмене сельскохозяйственных животных. Однако изучение балансов не дает возможности вскрыть то многообразие, которое лежит в основе обмена веществ всех сложных химических явлений, выявить степень участия различных органов в превращении тех или

иных веществ. Данный метод дает только количественное представление об обмене веществ.

Для изучения обмена веществ в отдельных органах иногда применяют *метод изолированных органов*. Такие органы в течение некоторого времени способны сохранять свою жизненную активность и использовать для своей деятельности питательные вещества, пропускаемые через кровеносные сосуды.

При изучении процессов обмена веществ, в частности белков, и синтеза их в различных органах существенную помощь оказал *метод ангиостомии*, разработанный русским ученым Е. С. Лондоном. Наряду с ангиостомией в настоящее время широко применяют *метод катетеризации кровеносных сосудов*.

Перспективен *метод меченых атомов*, или изотопный метод, благодаря которому установлен ряд закономерностей промежуточного обмена. Те или иные аминокислоты «метят» путем замещения отдельных атомов тяжелым азотом (N^{15}), тяжелым углеродом (C^{14}) или тяжелым водородом (H^2), затем с помощью соответствующих методов прослеживают пути превращения меченых аминокислот.

ОБМЕН БЕЛКОВ

Организм животного — чрезвычайно сложная биохимическая лаборатория. Здесь постоянно с огромной скоростью происходят многочисленные химические реакции, разрушается и вновь создается множество простых и сложных химических соединений.

Среди веществ, которые входят в состав всех тканей и органов животного, особое значение имеют белки. Они играют исключительную роль в жизнедеятельности организма, служат главными носителями жизни. Не случайно второе их название — протеины — происходит от греческого слова «протос», что значит — первый или главный. Белки специфичны; это зависит от различий в форме молекул — конформации, которая обусловлена определенным порядком чередования аминокислот в полипептидной цепи молекулы белка.

Функция белка определяется тем, что он составляет основу живой протоплазмы. Кроме того, белки принимают участие в регуляции метаболизма, в сократительных процессах и в реакциях, обеспечивающих выс-

шим организмам защиту от болезнетворных агентов. Белки являются также компонентами и системы дыхания. Так, белок гемоглобин служит переносчиком кислорода и двуокиси углерода в организме.

Аминокислоты — это структурные единицы белка. Сейчас известно большое число различных аминокислот, но наиболее важны из них 20. Все аминокислоты, встречающиеся в белках, содержат аминокгруппу и карбоксильную группу: различаются они по радикалам. Благодаря наличию аминокгруппы аминокислота может выступать в роли основания и реагировать с кислотами, а кислотная группа позволяет ей реагировать с основаниями. Поэтому белки способны выполнять роль буферов.

Биологическая ценность различных белков неодинакова. Она зависит от аминокислотного состава. В настоящее время установлено, что из 20 аминокислот восемь являются незаменимыми, восемь — заменимыми, четыре — частично заменимыми.

К *заменимым аминокислотам* относят те кислоты, которые могут синтезироваться в организме в достаточном количестве из других аминокислот или органических соединений. К ним относят: аланин, аспарагин, глутамин, глицин, пролин, серин, аспарагиновую и глутаминовую кислоты.

Незаменимыми аминокислотами называют такие, которые не синтезируются в организме, но необходимы для его нормального роста и развития, для поддержания азотистого равновесия. При хроническом недостатке или отсутствии незаменимых аминокислот организм теряет в массе и в конце концов погибает. Поэтому они должны быть обязательно введены в организм вместе с кормом. К таким аминокислотам относят: валин, изолейцин, лейцин, метионин, треонин, лизин, триптофан, фенилаланин.

Частично заменимыми являются

аргинин, гистидин, цистеин и тирозин.

Значение незаменимых аминокислот состоит в том, что, кроме участия в образовании белка, они играют важную роль в обмене веществ, а также выполняют специальные функции в организме. Например, метионин принимает участие в процессе метилирования при образовании холина и креатина и вместе с тирозином участвует в синтезе адреналина и норадреналина. Фенилаланин и тирозин необходимы для образования адреналина, норадреналина и тироксина. При отсутствии валина возникает перерождение тканей головного мозга и наступает мышечная слабость. Триптофан служит источником синтеза антипеллагрического витамина. Аргинин принимает участие в образовании мочевины и является источником гуанидиновой группы при синтезе креатина. Гистидин имеет имидазольное кольцо, которое не может быть синтезировано организмом.

Потребность в поступлении незаменимых аминокислот с кормом значительно меньше у жвачных. Это объясняется тем, что бактериальная флора рубца синтезирует отдельные незаменимые и в достаточном количестве заменимые аминокислоты.

Животные белки (молоко, мясо, яйца) содержат все заменимые аминокислоты, их называют *полноценными белками*. В большинстве растительных белков (рожь, пшеница, овес, кукуруза, горох) некоторые незаменимые аминокислоты отсутствуют или находятся в очень малых количествах. Поэтому такие белки не обеспечивают всех потребностей животного организма, и они называются *неполноценными*. Следовательно, при составлении рациона для сельскохозяйственных животных и птиц необходимо учитывать, с одной стороны, потребность организма в аминокислотах, с другой — содержание незаменимых аминокислот в кормах. Это обеспечит нормальный

рост и развитие животного, повысит продуктивность и другие его хозяйственно полезные признаки.

Биологическая ценность белка определяется также степенью усвоения (ассимиляции) его организмом. Чем больше ассимилируется данного белка, тем меньше его нужно для покрытия потребностей организма в белках и тем, следовательно, больше его биологическая ценность. Биологическая ценность белка тем выше, чем ближе его аминокислотный состав к составу белков данного организма.

Азотистый баланс. Использование белка тканями происходит непрерывно. Для выяснения количественной стороны белкового обмена необходимо знать количество принятого с кормом белка и уровень его усвоения организмом. Ввиду того что белок в отличие от углеводов и жиров содержит в своей молекуле азот (14—19 %), о количестве поступивших в организм и использованных белков можно судить по величине азотистого баланса. Для расчета принимается, что 100 г белка в среднем содержат 16 % азота. Определяя содержание азота в кормах и выделенное его количество вместе с калом, мочой и потом, можно установить азотистый баланс. По его величине устанавливают приход и расход белка, для чего найденную величину азота умножают на 6,25 ($100:16=6,25$).

У взрослого здорового животного, находящегося в нормальных условиях кормления и содержания, отмечают *азотистое равновесие*, то есть количество азота, потребленного с белком, и количество азота, выделенного из организма, равны.

При окислении белков образуется аммиак, который поступает в кровь, печень и почки, где из него синтезируется мочевины. Частично мочевины крови выводится с мочой, а также экскретируется в преджелудки, выделяется слюнными железами и снова поступает в рубец. Такой круго-

оборот азота служит важнейшей приспособительной реакцией организма, повышающей азотистый баланс корма (рис. 35).

Положительным азотистым балансом называют состояние, когда часть азота корма задерживается в организме. Данный баланс может быть при усиленном синтезе белка в период роста и развития организма, во время беременности, восстановительного периода после голодания или болезни.

Отрицательный азотистый баланс характеризуется тем, что из организма выделяется больше азота, чем его поступает с кормом. Это происходит при кормлении неполноценными белками, белковом голодании, а также при различных заболеваниях, связанных с усиленным распадом белков тканей.

Использование белков тканями организма осуществляется непрерывно, независимо от их поступления с кормом. Животный организм в зависимости от количества белков в кормах может иметь различную высоту уровня азотистого равновесия. Белок в теле взрослого организма в обычных условиях не откладывается про запас, а разрушение его в процессе обмена веществ идет постоянно. Поэтому для каждого вида животного существует максимальная и минимальная граница азотистого равновесия. Причем данная граница колеблется в зависимости от породы, возраста, пола, физиологического состояния и внешних климатических условий. Следовательно, азотистый баланс характеризует состояние белкового обмена в организме. Хронический отрицательный азотистый баланс неизбежно приводит к смерти животного. Отсюда возникает вопрос о научно обоснованных нормах белкового кормления сельскохозяйственных животных. Даже при безбелковом кормлении из организма с мочой выделяются азотистые вещества, то есть идет разрушение белка в процессе метаболизма. Для

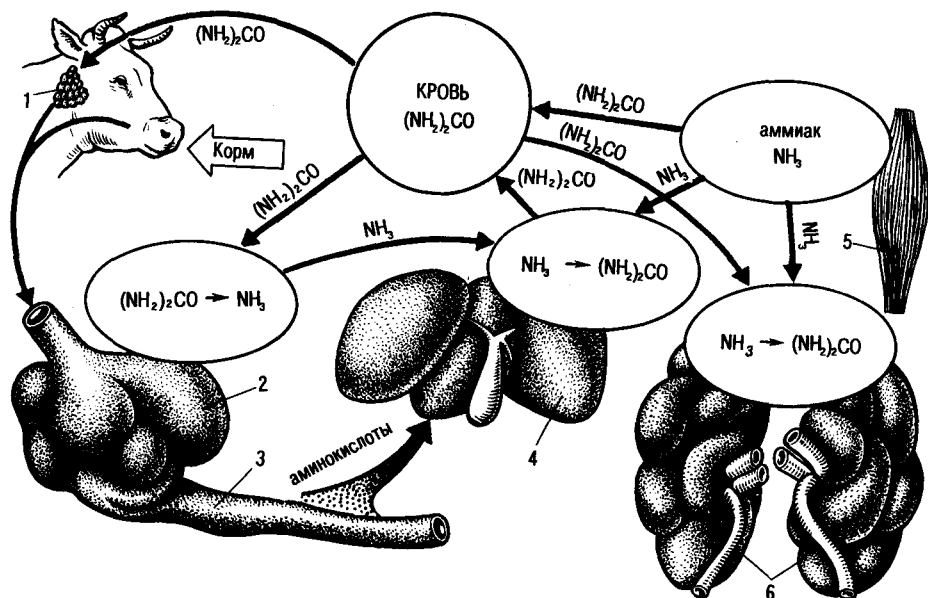
того чтобы постоянно поддерживать азотистое равновесие в организме, необходимо обязательное поступление определенного количества белка. Это минимальное количество белка, способствующее поддержанию азотистого равновесия в организме, получило название *белкового минимума*.

Для сельскохозяйственных животных белковый минимум (в граммах на 1 кг живой массы) примерно следующий: для овцы и свиньи — 1; для лошади в покое — 0,7—0,8, в работе — 1,2—1,42; для нелактующей коровы — 0,6—0,7, для лактирующей — 1. Эти нормы намного превышают количество белка, выводимого из организма в покое при безбелковом питании, названное *коэффициентом белкового изнашивания*. Указанный белковый минимум не только удерживает азотистое равновесие, но и полностью покрывает энергетические потребности организма.

Однако для определения суточного количества белка в кормах существенное значение имеют не только количественные, но и качественные показатели. Для поддержания нормального роста и развития организма требуется разное количество белка, в зависимости от его аминокислотного состава.

Потребность организма в белках корма зависит и от таких питательных веществ, как жиры и углеводы. Эндогенный белковый катаболизм уменьшается, если все энергетические затраты организма восполняются полностью за счет углеводов и жиров. Тем самым они заметно предупреждают распад белков организма.

Обмен аминокислот. После всасывания в кровь и частично в лимфу аминокислоты в организме животного претерпевают ряд превращений. Во-первых, происходит синтез белков, направленный на восполнение физиологических затрат белка в результате жизнедеятельности орга-



35 Механизм азотистого равновесия у жвачных:

- 1 — слюнные железы; 2 — преджелудки;
3 — кишечник; 4 — печень; 5 — мышцы;
6 — почки

низма. Белок органов и тканей имеет присущий для данного вида животного, даже индивидуума, аминокислотный состав. Поэтому для синтеза различных тканевых белков необходим вполне определенный набор незаменимых аминокислот. При отсутствии хотя бы одной незаменимой аминокислоты биосинтез белка не осуществляется. Часть свободных аминокислот затрачивается на синтез биологически важных веществ — гормонов, ферментов и других активных соединений. Другая часть, подвергаясь необратимому окислительному процессу, используется в качестве энергетического материала с образованием конечных продуктов — аммиака, углекислого газа и воды. При этом процесс обновления аминокислот в молекулах тканевых белков происходит с разной скоростью. Так, белки печени обновляются наполовину за 18—12 сут, белки плазмы крови — за 18—45 сут.

В обмене аминокислот наибольшее значение имеют реакции деза-

минирования, трансаминирования и декарбоксилирования.

Имеется несколько путей *дезаминирования*: восстановительный, окислительный и гидролитический. Продуктами дезаминирования аминокислот могут быть различные кетокислоты (пировиноградная, щавелевоуксусная, α -кетоглутаровая), оксикислоты (молочная кислота и др.) с выделением аммиака. У животных окислительный путь является преобладающим типом дезаминирования.

Почти все аминокислоты в процессе обмена веществ подвергаются *трансаминированию* (переаминированию). В процессе дезаминирования и трансаминирования аминокислот образуются кетокислоты, которые являются звеньями как промежуточного обмена аминокислот, так и обмена углеводов и жиров. Через эти соединения осуществляется связь белкового обмена с жировым и углеводным.

Декарбоксилирование аминокислот состоит в отщеплении карбоксильной группы в виде двуокиси углерода. Декарбоксилированию подвергаются и кетокислоты, появившиеся при дезаминировании.

В результате дезаминирования аминокислот и распада других азотистых соединений в тканях непрерывно образуются аммиак, двуокись углерода и вода. Аммиак токсичен для животных, поэтому его накопление привело бы к неизбежному отравлению организма. Однако у высших животных аммиак в органах и тканях не накапливается, а за счет существующих ферментативных механизмов он связывается (обезвреживается) и переходит в мочевины.

Мочевина — это главный конечный продукт азотистого обмена, выделяющийся с мочой у млекопитающих животных. У птиц и рептилий основной конечный продукт азотистого обмена представлен мочевой кислотой. Конечными продуктами азотистого обмена, кроме мочевины и мочевой кислоты, являются креатин и гиппуровая кислота.

Образование мочевины происходит в печени в результате орнитинового цикла, открытого Г. Кребсом (1933) и позже дополненного новыми данными. Начальный этап синтеза мочевины — соединение аммиака с угольной и аденозинтрифосфорной (АТФ) кислотами, что дает карбамилфосфат. Последний присоединяется к орнитину, образуя цитрулин, переходящий в аргинин. Под действием аргиназы аргинин распадается на мочевины и орнитин. Возможны и другие пути нейтрализации аммиака в организме. Глутаминовая и аспарагиновая кислоты связывают аммиак, превращаясь в глутамин и аспарагин.

Обмен сложных белков. Среди белков этой группы существенное биологическое значение имеют нуклеопротеиды, в качестве простетической группы имеющие нуклеиновые кислоты. Во всех живых существах содержится два вида нуклеиновых кислот: дезоксирибонуклеиновая (ДНК) и рибонуклеиновая (РНК). Они имеют большое физиологическое значение в жизни клеток — в их развитии, размножении и делении.

Нуклеиновые кислоты состоят всего лишь из четырех компонентов, называемых нуклеотидами. Каждый нуклеотид включает азотистое основание, сахар (пентозу) и фосфорную кислоту.

В состав ДНК из азотистых оснований входят аденин, гуанин, цитозин и тимин. Кроме того, имеются дезоксирибоза и фосфорная кислота.

РНК содержит аденин, гуанин, цитозин, урацил, а также рибозу и фосфорную кислоту. Специфичность нуклеиновой кислоты определяется последовательностью расположения в ее цепи этих четырех типов нуклеотидов.

Пути обмена сложных белков весьма разнообразны. Расщепление нуклеиновых кислот происходит в кишечнике под влиянием ферментов поджелудочной железы — рибонуклеаз и дезоксирибонуклеаз. Поли-нуклеотиды в кишечнике расщепляются на отдельные мононуклеотиды, а последние при отщеплении фосфорной кислоты превращаются в нуклеозиды, которые всасываются в кровь и поступают в органы и ткани. В тканях нуклеозиды под действием ферментов нуклеозидаз расщепляются на азотистые основания и сахар. При этом образуются пуриновые (аденин, гуанин), пиримидиновые (цитозин, урацил, тимин) основания и пептозы. Азотистые основания пуринового ряда затем подвергаются гидролитическому дезаминированию и дальнейшему окислению до мочевой кислоты. В свою очередь, мочевая кислота под действием фермента уриказы превращается в аллантоин и выделяется с мочой. Что касается сахаристого компонента нуклеиновых кислот, то он окисляется до CO_2 и H_2O .

В физиологии животного организма существенное значение имеют обменные процессы других сложных белков — хромопротеидов — гемоглобина и миоглобина.

Регуляция белкового обмена. Белковый обмен находится под регу-

лирующим влиянием центральной нервной системы. В гипоталамической области промежуточного мозга находятся специальные центры, регулирующие белковый обмен. На белковый обмен оказывает влияние и кора больших полушарий. В свою очередь, центральная нервная система регулирует роль осуществляет через железы внутренней секреции: щитовидные железы, надпочечники и гипофиз.

При гиперфункции щитовидной железы повышается обмен белков, мышцы теряют очень важное для них азотистое вещество — коеатин, который переходит в мочу. Может также наступать отрицательный азотистый баланс. Гипофункция щитовидной железы сопровождается явлениями обратного порядка, то есть замедляется обмен веществ, останавливается рост тела, что вызывает карликовость и кретинизм.

Под влиянием гормонов корковой части надпочечников (минералокортикоиды — дезоксикортикостерон, альдостерон) в печени и почках усиливается дезаминирование, в связи с этим больше выделяется азота с мочой. При этом увеличивается и общий обмен белков. Более активное влияние на обмен белков оказывает другая группа гормонов — глюкокортикоиды (кортизол, кортизон, кортикостерон). Эти гормоны ускоряют распад белков и аминокислот, в результате чего усиливается выделение азота из организма. Недостаток кортикоидных гормонов вызывает явления обратного порядка.

Гипофиз посредством своих гормонов регулирует деятельность желез внутренней секреции, а его передняя доля (аденогипофиз) регулирует также обмен белков и рост организма. Механизм влияния гормона роста на обмен белков заключается в том, что он стимулирует их синтез в первую очередь в мышцах, в меньшей степени в печени. Вследствие этого с мочой выделяется меньше азота, снижается и уровень аминокислот

в плазме крови. Следовательно, гормон роста как бы способствует экономному расходованию белков за счет повышения распада жиров.

Большую роль в белковом обмене играют печень и почки. От их физиологического состояния во многом зависит азотистый обмен.

В печени происходит не только синтез белков, но и их перестройка (трансаминирование, дезаминирование). В ней осуществляются процессы обезвреживания аммиака, он превращается в мочевины или используется на образование амидов кислот. Здесь же происходит реакция обезвреживания продуктов гниения белков (индол, скатол, фенолы).

В почках совершается дезаминирование аминокислот, освобождающийся при этом аммиак связывается кислотами, а соли выводятся с мочой. Через почки выделяются и остальные продукты азотистого обмена: мочевина, креатинин, мочевая кислота, аммиак и гиппуровая кислота. При заболевании почек может происходить задержка конечных продуктов белкового обмена, что вызывает отравление организма и может привести к гибели животного.

ОБМЕН УГЛЕВОДОВ

К важнейшим группам органических соединений, синтезируемых и используемых клетками организма, относятся углеводы. Различают простые и сложные углеводы. Сложные углеводы, или полисахариды, состоят из остатков большого количества молекул простых углеводов — моносахаридов.

Углеводы служат основным источником энергии в организме. Примерно 60—75 % потребности организма в энергии обеспечивается углеводами. Они выполняют многообразные функции. Некоторые углеводы, соединяясь с белками и липидами, образуют структурные компоненты клеток и их оболочек. Рибоза и дезоксирибоза играют очень важную

роль в качестве составных частей ДНК и РНК.

Основной источник углеводов для сельскохозяйственных животных — это клетчатка (полисахарид). В рубце у жвачных и в толстом кишечнике у животных с однокамерным желудком (лошадь, свинья) при расщеплении клетчатки образуется глюкоза. Одна ее часть всасывается в кровь, другая служит пищей для микробов и подвергается дальнейшему распаду с образованием летучих жирных кислот: уксусной, масляной, пропионовой и др.

Основная часть всосавшихся из пищеварительного тракта углеводов через воротную вену поступает в печень, где из них образуется гликоген; здесь он депонируется и служит основным резервным источником образования глюкозы. Часть глюкозы из печени поступает в большой круг кровообращения и транспортируется кровью в органы и ткани, где окисляется и используется для покрытия энергетических затрат организма. Неиспользованная часть глюкозы в жировых депо превращается в триглицериды.

Печени принадлежит главная роль в регуляции постоянства концентрации сахара в крови. При избыточном поступлении углеводов в организм в печени происходит синтез гликогена, а при недостаточном поступлении, наоборот, гликоген в ней распадается до глюкозы. Таким способом поддерживается нормальное количество сахара в крови.

Гликоген синтезируется из глюкозы не только в печени, но и в других органах и тканях. Значительное количество гликогена содержится в мышцах. Они являются также местом усиленного потребления углеводов, особенно во время работы, а во время отдыха синтезируют гликоген за счет глюкозы крови.

В организме животных использование гликогена и глюкозы клетками и тканями, вплоть до образования конечных продуктов обмена с

выделением энергии, происходит двумя путями. Распад углеводов, происходящий без участия кислорода, называется *анаэробным*, а с участием кислорода — *аэробным*.

При анаэробном расщеплении углеводов вначале как промежуточное вещество образуется пировиноградная кислота, которая затем восстанавливается в конечный продукт распада — молочную кислоту. Анаэробное расщепление углеводов до молочной кислоты — многоступенчатый процесс. Данный путь окисления углеводов энергетически менее выгоден, чем аэробное их окисление. Однако с физиологической точки зрения продукты расщепления углеводов, образующиеся при анаэробном процессе, имеют исключительно важное значение для жизнедеятельности организма. Эта стадия обеспечивает выполнение организмом ряда физиологических функций в условиях недостаточного снабжения тканей и органов кислородом. Кроме того, потенциальная энергия, заключенная в молочной кислоте, не теряется. Образующаяся молочная кислота либо далее окисляется в аэробных условиях до CO_2 и H_2O по циклу Кребса, либо снова превращается в гликоген. Анаэробный распад, обеспечивающий энергетические потребности мышечных волокон, недостаточен для головного мозга.

Важнейший процесс окисления углеводов в тканях животных — их аэробный распад, конечные продукты которого — двуокись углерода и вода. При этом полностью освобождается заключенная в углеводах энергия, которая в основном накапливается в высокоэнергетических связях АТФ.

Регуляция обмена углеводов. Углеводный обмен, постоянство содержания глюкозы в крови, гликогена в печени регулируются центральной нервной системой.

Еще в середине XIX в. (Клод Бернар, 1849) было доказано, что укол дна четвертого желудочка продолго-

ватого мозга у кроликов вызывает усиленный распад гликогена в печени, повышение сахара в крови и глюкозурию. Расположенные на дне четвертого желудочка нервные ядра при раздражении передают возбуждение по нервным волокнам к печени и вызывают усиленное превращение гликогена в глюкозу в печеночных клетках.

Центром, регулирующим углеводный обмен, служит скопление ганглиозных клеток в промежуточном мозге. Существуют многочисленные проводящие пути между группами ядер промежуточного мозга и эндокринными элементами гипофиза. Между ними имеется тесная взаимосвязь.

В регуляции углеводного обмена участвуют кора головного мозга, гипоталамус и вегетативная нервная система. Причем волокна симпатической нервной системы регулируют распад гликогена до глюкозы, а волокна парасимпатической — наоборот, его образование из глюкозы.

Большое влияние на углеводный обмен оказывают железы внутренней секреции — поджелудочная, щитовидная, надпочечники, гипофиз и другие, которые под контролем центральной нервной системы регулируют ассимиляцию и диссимиляцию углеводов.

При гиперфункции щитовидной железы происходит уменьшение содержания гликогена в печени, так как гормон тироксин усиливает потребление сахара тканями.

Очень важную роль в регуляции углеводного обмена играет поджелудочная железа, вырабатывающая гормон инсулин. Последний стимулирует синтез фермента гексокиназы, который катализирует образование глюкозо-6-фосфата. Далее глюкозо-6-фосфат используется на синтез гликогена в печени и мышцах и на окисление в тканях животного с выделением энергии. Кроме того, инсулин ускоряет транспорт глюкозы в клетки, повышает синтез жирных

кислот и замедляет их окисление, способствует исчезновению ацетоновых тел и т. д. Все это, вместе взятое, влияет на снижение уровня сахара в крови. Гипогликемия, вызванная инсулином, опасна в первую очередь для головного мозга. В этом случае поджелудочная железа вырабатывает другой гормон — глюкагон, который повышает уровень сахара в крови за счет ускорения фосфоролитического расщепления гликогена в печени.

Не менее важную функцию в регуляции обмена углеводов выполняет гормон мозгового слоя надпочечников — адреналин. Поступая в кровь, он повышает обмен веществ, усиливает мышечную работоспособность и расщепление гликогена в печени, в мышцах, вследствие чего увеличивается содержание сахара в крови. Адреналин активизирует в печени и мышцах фермент фосфорилазу, который ускоряет распад гликогена. Следовательно, инсулин — это сахаропонижающий гормон, а адреналин — сахароповышающий. На уровень углеводного обмена влияют и некоторые гормоны коркового слоя надпочечников — минералокортикоиды и глюкокортикоиды.

В регуляции углеводного обмена особое место занимает передняя доля гипофиза — аденогипофиз. Он является универсальным органом, действующим на обмен углеводов, жиров, белков, рост организма и на функции многих желез внутренней секреции. Например, гормон роста снижает использование глюкозы и повышает ее уровень в крови.

Таким образом, распад и синтез гликогена в печени, поддержание сахара в крови на определенном уровне и дальнейшее превращение углеводов в организме находятся под контролем довольно сложной регулирующей системы. Ведущая роль в регуляции углеводного обмена, как и вообще обмена других веществ, принадлежит центральной нервной системе.

ОБМЕН ЛИПИДОВ

Липиды (от греч. липос — жир) — это общее название для жиров и жироподобных веществ — липоидов.

Молекула жира состоит из одной молекулы глицерина и трех молекул жирной кислоты, поэтому их называют *триглицеридами* или *нейтральными жирами*.

Жироподобные вещества, или *липоиды*, — соединения, растворимые в органических растворителях; к ним относятся фосфатиды, стерины, стерины, воски и гликолипиды.

Жирные кислоты с одной или несколькими двойными связями называют *ненасыщенными*. В состав любого жира входят насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты. Их соотношение различно. Например, жиры, содержащие большое количество ненасыщенных жирных кислот, более тугоплавкие и твердые, и наоборот, при большем содержании ненасыщенных жирных кислот они, как правило, жидкие. Ненасыщенные жирные кислоты находятся главным образом в растительных жирах. Жиры, имеющие температуру плавления, близкую к температуре тела животных, хорошо эмульгируются и лучше перевариваются.

Большое биологическое значение имеют высоконасыщенные жирные кислоты — арахидоновая, линолевая и линоленовая. Линолевая кислота (витамин F) незаменима для животного организма, и она должна поступать с кормом. Линоленовая и арахидоновая кислоты могут образоваться из линолевой при наличии достаточного количества витаминов группы B.

Липиды (жиры, фосфолипиды, стерины) играют большую физиологическую роль в организме. Они входят в состав клеточных структур, особенно клеточных мембран. Подобно белкам липиды служат компонентами плазматической мембраны, окружающей каждую клетку, а также

ядерной оболочки и ряда органелл клетки (митохондрии, микросомы).

Много фосфолипидов содержится в мозге, нервной ткани, а также в надпочечниках. Однако основная масса липидов в виде нейтральных жиров откладывается в качестве запасного материала, образуя жировую ткань. Места жирового депо — подкожная клетчатка, сальник и жировая ткань, обволакивающая органы брюшной и грудной полостей.

Жиры играют важную роль в регуляции теплового баланса. Плохо проводя тепло, жировой слой ограничивает теплоотдачу. Эластичная жировая ткань в качестве своеобразной подкладки для ряда внутренних органов (почки) способствует фиксации их в полостях тела и служит для защиты от механических воздействий. Кроме того, жир, выделяемый сальными железами, представляет собой смазку, предохраняющую кожу от высыхания и растрескивания.

Жир — основной резерв энергии в организме. Он содержит небольшое количество потенциальной энергии по сравнению с другими веществами. При полном сгорании 1 г жира выделяется 38,9 кДж (9,3 ккал).

Различают белую и бурую жировую ткань. Бурая жировая ткань имеется в основном у эмбрионов и животных в ранний постнатальный период. В клетках бурой жировой ткани в отличие от белой обнаружено большое количество митохондрий. Цвет этой ткани зависит от железосодержащих пигментов — цитохромов, которые составляют важную часть окислительной ферментативной системы митохондрий. Митохондрии служат энергетическим центром клетки, поэтому бурый жир выполняет важную функцию в поддержании температурного гомеостаза у новорожденных.

При окислении в организме жиры выделяют не только энергию, но и дают значительное количество воды.

Поэтому жиры служат также источником образования воды в организме. Если при окислении 1 г белка образуется 0,41 мл воды, при окислении 1 г углеводов — 0,55 мл, то при окислении 1 г жира выделяется 1,07 мл воды. Образование воды — важная часть обмена жиров. Это особенно нужно для животных, обитающих в засушливых районах. Так, у верблюдов и овец курдючной породы запасенный жир (горб, курдюк) может окисляться интенсивно и организм успешно справляется с водной недостаточностью в течение продолжительного времени (8—13 дн.) за счет значительного образования эндогенной воды. Наконец, жиры являются растворителями ряда витаминов — групп А, D, Е, К.

Жиры в организме сельскохозяйственных животных составляют 10—20 % живой массы, а при откорме иногда достигают 30 % и более. Однако содержание жира в жировых депо организма значительно отличается у разных видов сельскохозяйственных животных в течение их индивидуальной жизни в зависимости от условий содержания, кормления и возраста. Поэтому жировые отложения нельзя считать долговременными запасами питательных веществ, используемыми только в случае голодания, — они непрерывно расходуются и восстанавливаются. Исследования с мечеными кислотами показали, что у мышей в течение одной недели обновляется половина резервных жиров.

Комплекс липидов с белками получил название *липопротеидов*. Циркулирующие в крови липопротеиды — это второй, мобильный резерв жира, так как под влиянием особого фермента — липопротеиновой липазы — из жира, входящего в состав липопротеидов, могут освобождаться жирные кислоты.

Фосфолипиды — важные компоненты растительных и животных клеток вообще и нервных клеток в особенности. Обмен фосфолипидов свя-

зан с обменом жиров. Фосфолипиды способствуют всасыванию жиров, участвуют в их транспортировке кровью, в синтезе жира молока и предотвращают ожирение печени. Они играют важную роль в органах размножения и при развитии зародыша.

Стероиды представляют собой сложные соединения. К стероидам, имеющим важное физиологическое значение, относятся гормоны коркового слоя надпочечников, мужские и женские половые гормоны, соли желчных кислот, холестерин и кальциферол (витамин D).

Холестерин — важный структурный компонент нервной и других тканей. Он содержится во всех клетках животного. Причем его общее количество в организме остается примерно на одном уровне даже после длительного голодания животных. Холестерин имеет двойное происхождение. Незначительная его часть поступает с кормом, но большая часть образуется в организме. Наилучшим исходным материалом для синтеза холестерина в организме, видимо, служат жиры, затем белки и, наконец, углеводы.

Холестерин способен связывать ядовитые вещества, поступающие в организм или образующиеся в нем, и даже обезвреживать их. Он участвует в образовании желчных кислот, кальциферола, гормонов коры надпочечников и половых гормонов.

Холестерин, являясь жизненно важным компонентом организма, при нарушении его обмена способствует возникновению очень серьезного заболевания — атеросклероза, а также желчекаменной болезни, некоторых поражений кожи, а по мнению отдельных ученых, даже злокачественных опухолей.

Поскольку основную часть рациона сельскохозяйственных животных составляют целлюлоза и белки, то источником жира в животных организмах, помимо липидов, служат углеводы и белки. Например, из 100 г

крахмала может образоваться 41 г жира, из такого же количества белка — 51 г жира. Для такого синтеза жиров из углеводов и белков необходимо наличие общих для жирового, белкового и углеводного обмена промежуточных соединений, какими служат пировиноградная, уксусная и другие кислоты. Однако жиры корма нельзя заменить целиком углеводами и белками, так как такие ненасыщенные жирные кислоты, как линолевая, линоленовая и арахидоновая, в организме не синтезируются. Эти кислоты являются специфическими жирными кислотами, поэтому они обязательно должны поступать с кормом. Жиры могут частично возмещать недостаток углеводов, но такая взаимозаменяемость возможна только в определенных пределах и зависит от калорийной ценности данных веществ (*правило изодинамии*). Однако, учитывая пластическое значение белков и жиров, нельзя руководствоваться этим правилом, которое определяет только энергетические нужды организма. Поэтому при составлении рациона необходимо учитывать, что животные должны получать достаточное количество белков, жиров, углеводов, а также минеральных веществ и витаминов. Следовательно, правило изодинамии в практике кормления сельскохозяйственных животных имеет ограниченное значение.

Переваривание, всасывание и промежуточный обмен липидов. В желудочно-кишечном тракте липиды подвергаются сложной химической обработке. Переваривание жиров осуществляется ферментами — липазами, содержащимися в желудочном, поджелудочном и кишечном соках. В желудке гидролизуются только эмульгированные жиры, то есть жир молока. Основное переваривание жиров происходит в тонком отделе кишечника при активном участии желчи.

Под влиянием парных соединений желчных кислот (таурохолевая, гли-

кохолевая и др.) жир превращается в тончайшую эмульсию и становится доступным действию фермента липазы, которая расщепляет его на глицерин и жирные кислоты. Последние, образуя комплексные соединения с желчными кислотами, проникают через ворсинки кишечника в его стенку. Жирные кислоты, поступающие в стенку кишечника, вновь образуют с глицерином жир — триглицерид, свойственный только для данного вида животного. Данный жир, как и непосредственно всосавшийся, соединяясь с небольшим количеством белка, образует так называемые *хиломикроны* — разновидность липопротеидов. Из стенки кишечника хиломикроны попадают в лимфатическое русло и кровь, а затем в легкие. Таким образом, первый орган, через который проходит жир в виде хиломикронов, — легкие. Эти жиры отличаются от углеводов и аминокислот, которые всасываются непосредственно в кровь и поступают в печень.

Легкие играют важную роль в обмене всосавшегося жира. В них присутствуют особые клетки — гистиоциты, которые обладают способностью захватывать жир. При избыточном всасывании жира он временно задерживается гистиоцитами. Следовательно, легкие являются как бы губкой, предохраняющей артериальную кровь от избыточного поступления жира. Это имеет большое физиологическое значение для организма, так как значительное увеличение концентрации жира в артериальной крови может привести к повышению ее свертываемости, закупорке мелких сосудов, а также к усилению его отложения в жировом депо. Однако в легких жир не только задерживается, но и расщепляется. Здесь происходит частичное окисление освободившихся жирных кислот, а образовавшееся при этом тепло согревает поступивший в легкие холодный воздух.

Поступающие из легких в кровь

хиломикроны частично проходят через стенку капилляров в жировую ткань, частично в печень, где, соединяясь с белками, образуют липопро-теиды. Часть хиломикронов, которые циркулируют в крови, расщепляются липопротеиновой липазой. Освобождающиеся при этом жирные кислоты утилизируются как источник энергии. Жирные кислоты, которые не были использованы в энергетическом обмене, поступают с кровью в печень, где соединяются с глицерином и вновь образуют триглицериды. Последние, комплексируясь с белками, становятся растворимыми и выделяются из печени опять в кровь для участия в обмене веществ.

Хиломикроны, попавшие в под-кожную жировую клетчатку, сал-ники и брыжейку, откладываются в виде запасного жира. Причем син-тезируемый жир всегда специфичен для каждого вида животного.

В жировое депо поступают и те жиры, которые клетки организма синтезируют из продуктов распада углеводов и некоторых аминокислот. Кровь по мере необходимости достав-ляет жиры из депо к местам их ис-пользования, главным образом в клетки печени.

Превращения жира в тканях жи-вотного начинаются с его расщепле-ния под действием фермента липазы на глицерин и жирные кислоты, ко-торые затем, окисляясь, различными путями превращаются в ацетилко-фермент А. Последний из печени с кровью доставляется к клеткам раз-личных тканей, органов и окисляется по циклу Кребса до двуокиси угле-рода и воды.

При окислении липидов в орга-низме наряду с конечными продук-тами (CO_2 и H_2O) образуются и дру-гие побочные соединения. Особое значение имеют продукты неполного окисления жирных кислот, объеди-няемые под наименованием *кетон-овых* или *ацетоновых тел*. Группу аце-тоновых тел составляют ацетоуксус-ная кислота, β -оксимасляная кислота

и ацетон. Печень — основное место образования ацетоновых тел. Боль-шое количество ацетоновых тел об-разуется при нарушении жирового обмена, а также в результате обмен-ных превращений некоторых амино-кислот. Увеличение концентрации ацетоновых тел в крови оказывает вредное влияние на организм, в особенности на центральную нервную систему. Ацетонемия часто регистри-руют у высокоудойных коров и суяг-ных овцематок, а также и у других животных при сахарном диабете (рис. 36).

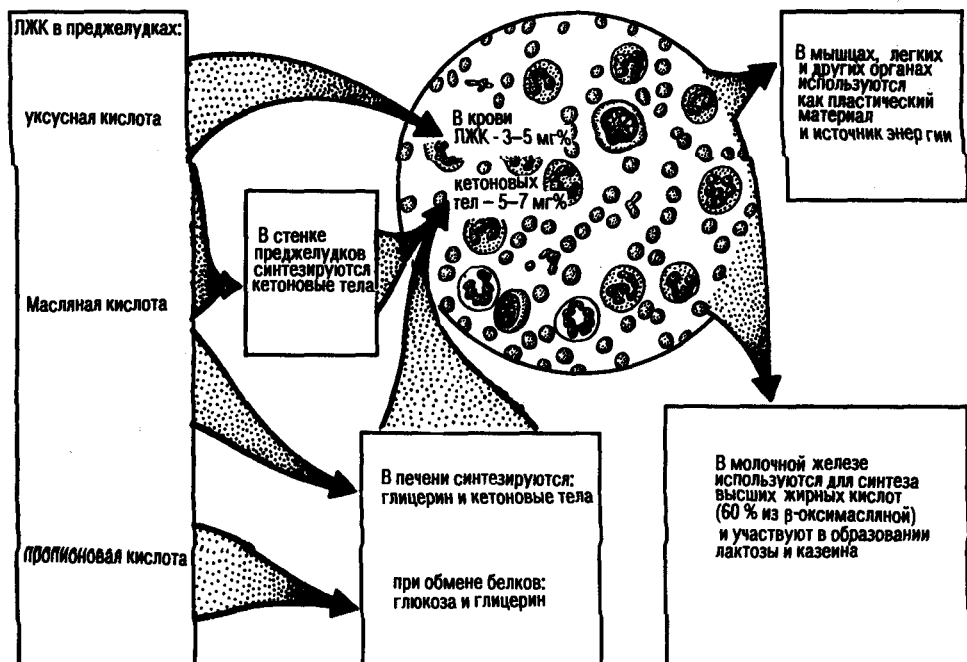
Регуляция липидного обмена.

Обмен липидов так же, как и других веществ, регулируется центральной нервной системой. Центр регуляции липидного обмена находится в про-межучасточном мозге. Регуляция осу-ществляется, с одной стороны, через симпатическую и парасимпатическую систему, с другой — через железы внутренней секреции.

Большое значение в обмене жи-ров имеют процесс отложения запас-ного жира в жировой ткани и его мобилизация. Симпатическая нерв-ная система способствует мобилиза-ции жира. При ее возбуждении, обус-ловленном мышечным напряжением, отрицательными эмоциями, возмож-на убыль жира в жировой ткани. Наоборот, слабая возбудимость сим-патической нервной системы способ-ствует понижению расщепления жира и приводит к ожирению.

К железам внутренней секреции, через которые нервная система вли-яет на жировой обмен, относят гипо-физ, щитовидную, поджелудочную, половые железы и др.

Переход углеводов в жиры осуще-ствляется непосредственно в жировой ткани. Этот сложный процесс регулируется гормоном поджелудоч-ной железы — *инсулином*. Превраще-нию углеводов в жиры способ-ствует гормон передней доли гипо-физа — *пролактин*. Тиамин (витамин B_1) также активизирует процесс об-разования жира из углеводов.



36 Синтез и использование кетоновых тел в организме жвачных (по А. А. Сысоеву)

Мобилизация жира и его энергетическое использование стимулируются гормоном щитовидной железы — *тироксином*. Он активизирует окислительные процессы, в результате чего усиленно расщепляется сахар, печень теряет гликоген и получает из жировых депо жир.

Соматотропный гормон гипофиза ускоряет как выход жирных кислот из жировой ткани, так и их сгорание. Выделяемая при этом энергия обеспечивает синтез белка, что ведет к усиленному росту организма. Следовательно, гормон роста способствует экономному расходу белков и интенсивному использованию вместо них жиров. Гипофункция гипофиза приводит к значительному отложению жира (гипофизарное ожирение), а гиперфункция — к истощению (гипофизарная кахексия).

Удаление половых желез приводит к избыточному отложению жира в организме. Поэтому в зоотехниче-

ской практике при массовом откорме животных широко применяют кастрацию. Изменение липидного обмена возможно и при расстройстве функции желудочно-кишечного тракта. Вместе с жирами в организм поступают и необходимые жирорастворимые витамины (групп А, D, Е, К). Поэтому при недостаточном содержании жиров в корме у животных возникают авитаминозы. При недостатке в кормах фосфатидов и аминокислоты метионина может наступить жировое перерождение печени.

На белковый, углеводный и жировой обмен наряду с центральной нервной системой влияют почти все железы внутренней секреции. Резко разграничивать регуляторную деятельность каждой железы на тот или иной обмен веществ очень трудно, поэтому их рассматривают всегда в комплексе. Обмен веществ имеет ряд общих реакций, связывающих между собой обмен белков, углеводов и жиров в единый биологический процесс.

В действительности в организме все обменные процессы тесно связа-

ны друг с другом. Взаимные связи постоянно возникают как на основе общности веществ, образующихся при окислении белков, жиров и углеводов, так и на основе энергетической зависимости. Энергия, образующаяся при расщеплении одних соединений, утилизируется в живой клетке для синтеза других.

Так, например, углеводный обмен нельзя рассматривать изолированно от обмена белков и жиров. В ходе обменных процессов в организме существует взаимосвязь и переплетение различных видов обмена. Белки и даже жиры могут быть источниками образования гликогена, а за счет углеводов может осуществляться образование жиров, что происходит при откорме животных. Кроме того, за счет углеводов путем трансминирования могут быть также синтезированы многие заменимые аминокислоты. Причем возможен и обратный процесс, то есть большинство аминокислот может служить источником для образования пировиноградной кислоты — главного посредника в обмене белков и углеводов.

Взаимосвязь промежуточного обмена углеводов и жиров ярко выражена при сахарном диабете. При этом уменьшение использования углеводов и нарушение их промежуточного обмена способствуют нарушению обмена жиров, что приводит к накоплению ацетоновых тел.

И наконец, роль белков в обмене липидов определяется тем, что они выполняют каталитические функции в реакциях их расщепления и синтеза.

ВОДНО-СОЛЕВОЙ ОБМЕН

Для нормальной жизнедеятельности организма, кроме органических веществ — белков, жиров и углеводов, большое значение имеют неорганические вещества — вода и минеральные соли. Хотя они не служат энергетическим материалом, но имеют большое физиологическое значение. Вода и соли принимают

активное участие во всех биохимических процессах, происходящих в организме животного.

Сохранение оптимального соотношения между содержанием воды и отдельных солей в организме — необходимое условие его нормальной жизнедеятельности. При нарушениях водно-солевого обмена возникают отеки, судороги, слабость, тяжелые формы анемий, а также несахарное мочеизнурение.

Водный обмен. Вода входит в состав каждой клетки живого организма. Она является растворителем всех веществ, поступающих в организм, и необходима для нормального течения всех процессов жизнедеятельности: дыхания, кровообращения, пищеварения и многих других. С обменом воды связано не только поступление питательных веществ в организм, их всасывание и распределение, но и выделение конечных продуктов обмена веществ. Кроме того, от поступления и выделения воды зависят распределение и отдача тепла в организме.

Химически чистой воды в организме нет, в ней растворены многие вещества: белки, сахара, витамины и больше всего минеральные соли. Поэтому обмен воды тесно связан с обменом солей. Вода в организм поступает вместе с питьевой водой и кормом. Некоторое количество ее образуется и в организме.

В теле взрослых животных содержится до 65 % воды, у молодых животных ее больше. Так, в организме новорожденного теленка содержание воды достигает 75 %, к полуторагодовалому возрасту ее количество снижается до 62, а у взрослого быка — до 52—55 %. Распределение воды между тканями также неодинаково, больше ее содержится в тканях головного мозга — 70—80 %, меньше в костях — 22 %.

Вода в организме распределяется примерно следующим образом: 71 % всего количества ее находится внутри клеток, 19 % сосредоточено в тканях

в виде внеклеточной воды и 10 % входит в состав плазмы, лимфы и других жидкостей, циркулирующих в организме. Основное депо воды в теле животного — мышцы (50 %), кожа, подкожная клетчатка, печень, почки и другие органы.

Потребность в воде у разных животных неодинакова, она зависит также и от характера кормления. При потреблении сухого корма организму нужно больше воды, чем при даче влажного корма. На каждый килограмм сухого вещества корма в условиях умеренных температур коровы потребляют 4—6 л воды, лошади и овцы — 2—3, свиньи — 7—8 л.

Вода, поступившая с кормом в организм, всасывается в желудочно-кишечном канале и через воротную вену попадает в печень, а затем в общий круг кровообращения. Из капилляров она переходит в ткани, а ткани выделяют воду обратно в кровеносную систему. Кроме этого кругооборота, вода из клеток тканей поступает частично в межклеточные пространства, в лимфатические сосуды и через лимфатический грудной проток вновь возвращается в кровеносную систему.

На обмен воды между тканями и кровью оказывают влияние: кровяное давление в капиллярах, общая концентрация хлористого натрия и коллоидных веществ, то есть осмотическое и онкотическое давление. Этот механизм и обеспечивает перемещение воды и питательных веществ плазмы из кровеносного русла в ткани и поступление в кровь продуктов тканевого обмена.

Значение воды для организма очень велико, после исключения ее из рациона животные погибают через несколько суток. Причем полное голодание при неограниченном поступлении воды животное переносит легче, чем безводное голодание. Так, при полном голодании без воды голуби погибают на шестой день, при приеме воды — на 12-й день, кролики

соответственно через два и пять дней, лошадь, лишенная воды, погибает через 17—18 дн. При обезвоживании организма происходит отравление продуктами обмена веществ, особенно азотистого.

Выделение воды из организма осуществляется несколькими путями: в основном через почки с мочой, через легкие в парообразном состоянии, через кишечник с экскрементами, через кожу с потом.

Абсолютное количество воды, выделяющейся из организма, и ее распределение по отдельным путям выведения изменяются под действием различных внешних условий и физиологического состояния животных. На состояние организма существенно влияет соотношение между количеством принимаемой и выделяемой воды.

Задержка воды в тканях зависит от содержания солей в крови. Поэтому с водно-солевым обменом тесно связано чувство жажды, которое одни ученые рассматривают как местное, а другие — как общее чувство.

Регуляция водного обмена. Количество потребляемой и выделяемой воды регулируется центральной нервной системой. Неизменность осмотической концентрации крови в организме поддерживается специальной системой, начальным звеном которой служат осмоцепторы. Способностью осмоцентов обладают и нервные клетки гипоталамической области мозга — нейроны. В регуляции водного обмена участвуют различные отделы центральной нервной системы, но окончательные сигналы по эфферентным нервным волокнам поступают к нейронам супраоптического ядра гипоталамуса. Обезвоживание организма активизирует деятельность этих нейронов. В них образуется гормон, который поступает в гипофиз, а затем выделяется в кровь и переносится к почкам. При этом увеличивается всасывание воды в почечных канальцах и уменьшает-

ся диурез, поэтому этот гормон называют *антидиуретическим* (АДГ).

На водный обмен оказывают влияние железы внутренней секреции: щитовидные, половые железы, надпочечники, поджелудочная железа. Особое значение имеет влияние гипофиза. Гормон передней его доли усиливает мочеотделение (диурез), а задней (АДГ) — уменьшает объем выделяющейся мочи. В свою очередь, функция желез внутренней секреции находится под контролем центральной нервной системы.

Минеральный обмен. Минеральные вещества входят в состав всех органов и тканей организма и играют важную роль в процессах обмена. Для нормального роста и развития организм должен получать с кормом достаточное количество минеральных веществ.

В организме животных имеются все известные химические элементы и их изотопы. Они находятся в тканях животных в различных состояниях: в костях в виде минеральных солей — кристаллов, в мягких тканях в виде истинных или коллоидных растворов в соединении с белками.

Минеральные вещества участвуют в основных физиологических процессах: в обеспечении нормального водного баланса и распределении воды в организме; в поддержании осмотического давления крови и клеточных жидкостей; в регуляции кислотно-щелочного равновесия; во многих химических реакциях как катализаторы; в создании оптимальной среды для действия ферментов и гормонов; оказывают влияние на функцию центральной нервной системы, сердца, кровеносных сосудов и т. д.

Минеральные вещества должны постоянно поступать в организм с кормом, так как они постоянно выделяются из организма через почки, желудочно-кишечный тракт и кожу. Поэтому не только отсутствие в рационе некоторых солей, но и их недостаток приводят к определенным расстройствам функций организма.

При недостатке минеральных веществ нарушается нормальное течение физиологических процессов, что ведет к задержке роста и развития молодняка, снижению продуктивности, возникновению различного рода заболеваний (рахит, остеомалация, остеопороз, сухотка и др.), нередко заканчивающихся гибелью животных.

Макроэлементы. Минеральные вещества, присутствующие в организме в больших количествах, называют макроэлементами. Наибольшее значение имеют соли натрия, калия, кальция, фосфора, магния, серы, хлора, железа.

Натрий и калий в организме животных находятся преимущественно в виде растворенных в воде и ионизированных хлористых, фосфорнокислых, углекислых и сернокислых солей. Незначительная часть этих элементов соединена с белками и продуктами обмена — метаболитами. Калий содержится преимущественно внутри клеток, натрий — в межклеточных жидкостях.

В физиологии животного организма особенное значение имеет хлорид натрия, который обуславливает постоянство осмотического давления крови и межтканевой жидкости. С постоянством концентрации хлорида натрия связан переход воды из тканей в окружающую их среду и обратно. Следовательно, хлорид натрия играет существенную роль в регуляции водного обмена. Ионы натрия находятся в составе буферных систем крови и оказывают влияние на активность ферментов: активизируют амилазу, фруктокиназу и угнетают действие некоторых аминотрансфераз и фосфорилаз. Ионы натрия необходимы для транспорта аминокислот через ядерную мембрану к месту синтеза нуклеопротеидов. Натрий резко повышает использование азота организмом.

Ионы калия участвуют в процессе передачи возбуждения и в образовании медиатора — ацетилхолина.

Незначительная радиоактивность калия влияет на работу сердца — поддерживает его автоматизм, понижает тонус мышц и замедляет ритмы сердечных сокращений. При обильном скармливании калия повышается обмен кальция и фосфора в организме. Однако даже небольшое изменение концентрации калия в плазме крови чревато тяжелыми последствиями. Часто его действие антагонистично действию натрия.

Поваренная соль — постоянная необходимая подкормка для всех сельскохозяйственных животных. Однако потребность в солях натрия и калия у различных животных неодинакова. К избытку натрия более чувствительны свиньи и домашняя птица.

При нормальном состоянии более чем 35 % выделяемого натрия и около 90 % калия выводится из организма с мочой, остальная часть — с потом и калом.

Кальций в основном используется как пластический материал: 97—99 % кальция, содержащегося в организме животных, входит в состав костной ткани. Кальций также обеспечивает возбудимость нервной и мышечной тканей, понижает проницаемость кровеносных сосудов, повышает защитные функции организма, активизируя пропердиновую систему и повышая фагоцитарную функцию лейкоцитов.

Ионы кальция повышают тонус парасимпатической нервной системы, что ведет к усилению тонуса сердца, гладких мышечных волокон, кровеносных сосудов, к изменению проводимости клеточных оболочек. Кроме того, ионы кальция участвуют в многочисленных ферментативных процессах (свертывание крови и др.), способствуют росту и развитию молодого организма, благоприятно влияют на молочность коров, жирность молока и другие продуктивные качества сельскохозяйственных животных.

В плазме крови концентрация

кальция поддерживается на одном уровне. Снижение концентрации этого элемента в крови вызывает судороги. При длительной его недостаточности у молодняка развивается рахит.

Потребность сельскохозяйственных животных в солях кальция приблизительно следующая (на 100 кг массы тела): для коров — около 5 г, для новорожденных телят — до 32, для овец — от 3 до 10, для лошадей — от 35 до 100 г в сутки.

Из организма кальций выводится почками, печенью, эпителием толстого кишечника. У коров и подсосных свиноматок кальций выделяется в основном с молоком.

Фосфор в организме в основном находится в костной ткани в виде фосфорно-кальциевых соединений. Соли фосфорной кислоты входят в состав всех клеток и межклеточных жидкостей, различных белков, липидов, углеводов, коферментов и других продуктов метаболизма. Процесс фосфорилирования имеет большое значение для всасывания и межклеточного обмена ряда веществ. Фосфорная кислота участвует в обмене белков, жиров, углеводов и витаминов. Кроме того, соли фосфорной кислоты выполняют роль буферных систем при поддержании кислотно-щелочного равновесия в тканях.

Суточная потребность сельскохозяйственных животных в фосфоре приблизительно следующая (на 100 кг массы тела): для коров — до 3 г, для телят в первые месяцы жизни — до 20—25, для овец — от 2 до 5, для лошадей — до 60 г в сутки.

При нарушении обмена фосфора и кальция могут возникнуть различные заболевания: рахит, остеопороз, остеомаляция.

Неорганический фосфор выводится из организма с мочой и калом. В период лактации животных много фосфора выделяется с молоком.

Магний преимущественно входит в состав костной ткани в виде фос-

форнокислого магния. Магний способствует соединению актина с миозином, образуя активный магний-белковый комплекс, участвующий в процессах сокращения мышц. Ионы магния, находясь в митохондриях, принимают активное участие в окислительном фосфорилировании. Магний входит в комплекс миозина и АТФ, выполняя функцию своеобразного мостика между этими веществами, и активизирует распад макроэргических связей АТФ, освобождая энергию для мышечного сокращения. Магний включается в пропердиновую систему, обеспечивающую естественную резистентность организма к различным возбудителям болезней. Кроме того, он активизирует процессы биосинтеза протенинов и выработки антител.

В норме 50—80 % всосавшегося магния выделяется кишечником, а остальная часть — почками.

Сера входит в состав белков (кератин, муцин, мукоиды и др.), аминокислот (метионин, цистин, цистеин), физиологически активных веществ (глутатион, инсулин, питуитрин, кофермент А и ряд белковых гормонов), таурина и его производных и других органических соединений. Сера имеется в составе витаминов — тиамин (В₁) и биотин. Особенно много ее в рогах, шерсти. В формировании шерстного покрова главная роль принадлежит протеину и сере. Овечья шерсть содержит 15—21 % азота и 2,4—5 % серы.

Основное количество серы поступает в организм вместе с белками корма. Она используется для обезвреживания ряда ядовитых веществ — фенолов, индоксидов и других продуктов обмена. Наряду с другими веществами корма сера участвует в синтезе бактериального белка в рубце жвачных.

Из организма сера выделяется в основном с мочой, в виде солей серной кислоты, частично с калом и жиропотом (у овец).

Хлор находится во всех жид-

костях организма в виде хлористых соединений с натрием и марганцем. Как важнейший анион совместно с вышеуказанными микроэлементами он принимает участие во всех физиологических и биохимических процессах. Хлор входит в состав желудочного сока в виде хлористоводородной (соляной) кислоты. Ионы хлора содействуют поддержанию осмотического давления в жидкостях организма и активированию некоторых ферментов, способствуют нормализации функции нервной системы и повышению продуктивности животного.

Железо поступает в организм вместе с кормами в виде неорганических соединений. Оно присутствует в составе гемоглобина, миоглобина, пероксидазы, оксидаз, каталазы и цитохромных ферментов, участвующих в биологическом окислении. Железо играет особую роль в процессах кровообразования.

После всасывания железо откладывается в печени, селезенке и слизистой оболочке кишечника в виде ферритина, представляющего собой соединения гидрата окиси железа с белком.

При недостатке железа нарушается образование эритроцитов, что приводит к возникновению анемии. Наиболее часто анемию регистрируют у молодняка в подсосный период, так как железа, поступающего с молоком, недостаточно для нужд организма. Поэтому данный макроэлемент необходимо давать молодняку в виде подкормки.

Для обеспечения потребности организма в железе назначают сернокислое железо в следующих дозах: для молодняка крупного рогатого скота — 50, для свиней — 8—10 мг.

Микроэлементы. Минеральные вещества, содержащиеся в тканях в незначительных количествах, называют микроэлементами. Они принимают участие в росте и развитии животных, повышении их продуктивности, плодовитости и устойчи-

ности против различных заболеваний. К таким микроэлементам относятся кобальт, медь, марганец, цинк, йод, фтор, стронций и некоторые другие (табл. 11).

Кобальт выполняет биологическую роль в обмене веществ. Он активизирует ферменты фосфатазу, карбоксилазу, аргиназу, каталазу, а также гликолитическую функцию крови, усиливает ассимиляцию азота и основной обмен. Кобальт ускоряет рост и развитие, повышает молочную и шерстную продуктивность сельскохозяйственных животных, увеличивает выработку эритроцитов и гемоглобина крови, улучшает качество спермы. Кобальт играет большую роль для организма жвачных — обеспечивает синтез цианкобаламина (витамина В₁₂) в рубце, усиливает активность микрофлоры, которая имеет важное значение в процессе пищеварения.

Недостаточное поступление кобальта с кормом приводит к нарушению обменных реакций в организме, и вследствие этого развиваются эндемические заболевания — сухотка, лизуха и др. У овец при акабальтозе ухудшается качество шерсти: она становится матовой и ломкой.

Для полноценного кормления сельскохозяйственных животных и получения высококачественной продукции необходимо, чтобы в 1 кг сухого вещества рациона содержалось не менее 1 мг кобальта.

Медь входит в состав белковых соединений и ферментов. Она содержится в крови и во всех тканях животных, откладывается в значитель-

ных количествах в печени и селезенке. Медь принимает участие в кровообразовании, синтезе гемоглобина, а также является катализатором, ускоряющим окисление аскорбиновой кислоты. Она способствует осуществлению таких физиологических процессов, как пигментация и кератизация шерсти и пера, остеогенез, формирование миелина, коллагена, эластина, воздействует на воспроизводительную функцию животных и т. д.

При недостатке меди в кормах у крупного рогатого скота нарушается процесс роста, функции нервной, мышечной и кровеносной систем, ухудшается аппетит, снижаются прирост, молочная продуктивность и воспроизводительная способность, развиваются анемия и энзоотическая атаксия. Потребность различных половозрастных групп свиней в меди составляет от 5 до 10 мг на 1 кг корма.

Основное место всасывания меди — тонкий кишечник. Из организма медь выделяется с желчью через кишечник (65—98 %) и частично почками.

Марганец содержится во всех органах и тканях животных. Особенно много его в костях, печени и почках. Он входит в состав некоторых ферментов и усиливает их активность. Марганец играет важную роль в обмене белков, углеводов и жиров.

Если животных лишить марганца, то задерживается формирование костей, замедляется рост, теряется способность к размножению, причем у самцов атрофируются тестикулы. У животных нарушается равновесие,

11. Средние показатели содержания основных макро- и микроэлементов в сыворотке крови сельскохозяйственных животных

Вид животных	Макроэлементы, ммоль/л					Микроэлементы, мкмоль/л				
	Na	K	Ca	P	Mg	Co	Cu	Mn	Zn	I
Лошадь	139,1	4,6	3,0	4,0	1,0	0,3	—	0,7	—	—
Корова	143,5	4,9	2,8	3,5	1,5	0,4	13,3	0,9	23,1	0,2
Овца	141,3	4,9	2,9	3,7	1,0	0,4	9,4	0,8	13,8	0,2
Свинья	145,6	5,1	3,0	3,2	1,3	0,6	34,4	0,9	—	0,15
Курица	163,0	5,6	5,0	10,6	0,9	0,4	9,4	—	—	—

12. Потребность различных животных в отдельных микроэлементах, мг/кг сухого вещества корма

Вид животных	Микроэлементы								
	Mn	Cu	Zn	I	Co	Se	Mo	Cr	F
Коровы	60	8—10	10—20	0,4—0,8	1	0,10	2,5	0,3—0,5	1—5
Телята	20	10—12	40	0,4—0,6	1	0,06	2,0	0,3—0,5	3—10
Овцы	20	6—10	3—5	0,3—0,6	1	0,08	2,5—5	0,3—0,5	2—5
Свиньи	40	10—20	40—50	0,2—0,4	1—1,5	0,08	2,0	0,3—0,5	1—5
Куры	45—60	5	40—60	0,2—0,5	—	0,08	2,5	0,3—0,5	8—15
Индейки	70	6	70	0,4—0,8	—	0,08	5,0	0,3—0,5	12—17

походка становится неуверенной. Избыточное потребление марганца тоже неблагоприятно влияет на организм. Оно ведет к задержке роста, изменениям в костях, напоминающим рахит (марганцевый рахит), нарушениям в развитии эмали зубов (гипоплазия эмали).

Цинк является активной группой одного из ферментов — карбоангидразы, играющей важную роль в процессе дыхания. Он усиливает действие гормонов гипофиза и гормона поджелудочной железы — инсулина. При отсутствии или недостатке цинка в кормах ухудшаются процессы пищеварения и всасывания в кишечнике, задерживается рост животных, снижается их воспроизводительная способность, нарушается формирование шерстного покрова. В свою очередь, избыток цинка в кормах может привести к тяжелым отравлениям.

Йод — незаменимый компонент гормона щитовидной железы — тироксина, роль которого в организме исключительно велика.

Недостаток йода в организме ведет к снижению продуктивности, рождению слабого, нежизнеспособного молодняка, развитию эндемического зоба. Признаки йодной недостаточности особенно резко проявляются в горных районах.

Фтор встречается во всех органах животных. Наиболее богаты этим элементом кости, зубы, а также сперма. При недостатке фтора в рационе у животных развивается кариес зубов. Избыток его ведет к нарушению обмена веществ. При этом развивает-

ся эндемический флюороз, для которого характерны крапчатость зубной эмали, снижение аппетита, замедление роста, деформация костей и суставов.

Стронций содержится во всех органах и тканях животных. Особенно его много в костях и зубах. Отложение стронция в тканях протекает параллельно отложению кальция. При отсутствии стронция в кормах у животных развивается кариес зубов, а при избытке — стронциевый рахит.

Потребности различных видов животных в отдельных микроэлементах приведены в таблице 12. Уровень обеспеченности сельскохозяйственных животных микроэлементами зависит от многих факторов.

Регуляция минерального обмена. Солевой обмен теснейшим образом связан с водным обменом. Минеральный состав органов и тканей животных весьма постоянен, что связано с деятельностью органов, депонирующих те или иные минералы. К таким органам относятся кожа, печень, селезенка, костная ткань и др. Регуляция минерального обмена осуществляется гипоталамусом, находящимся в промежуточном мозге. Здесь имеются специальные осморцепторные нервные клетки, чувствительные к изменению концентрации электролитов. Соответствующее возбуждение этих клеток вызывает рефлекторные реакции, в результате чего восстанавливается постоянство осмотического давления крови.

Кроме нервной системы, в регуля-

ции минерального обмена большое значение имеют железы внутренней секреции.

ВИТАМИНЫ

Витаминами называют низкомолекулярные органические соединения, в очень малых дозах обеспечивающие нормальное течение биохимических и физиологических процессов в организме. В настоящее время известно более 30 витаминов, установлена их химическая структура. Организовано промышленное производство многих витаминов для обеспечения потребностей сельскохозяйственных животных.

Специфические нарушения обмена веществ, вызываемые полным отсутствием в кормах того или иного витамина, называют *авитаминозами*, а недостаточным поступлением их в организм — *гиповитаминозами*.

По физико-химическим свойствам витамины делят на две группы: жирорастворимые и водорастворимые.

Жирорастворимые витамины. К их числу относят витамины групп А, D, Е и К.

Витамины группы А. Витамины А₁, А₂, А₃ — антиксерофthalmические. Наиболее распространенная и биологически активная форма витамина А — ретинол (витамин А₁). Он содержится только в продуктах животного происхождения: в молоке, масле, печени рыб и яйцах птиц. Предшественником ретинола служит каротин, который, поступая с кормом в организм животных, превращается в ретинол в стенке тонких кишок, в печени и крови.

Витамины группы А имеют большое физиологическое значение, принимают участие в важнейших химических процессах обмена веществ. При их недостатке у молодняка замедляется или прекращается рост, плохо заживают раны, что связано с торможением процессов регенерации тканей. При А-гиповитаминозе у всех животных наступают патологические

изменения эпителиальной ткани слизистых оболочек дыхательных и пищеварительных органов, половой системы; отмечают выделения из глаз и носа, ксерофтальмию, помутнение роговицы, куриную слепоту (гемералопию).

Витамины группы D. Витамины D₂, D₃, D₄, D₅, D₆ — кальциферолы, антирахитические витамины. Для крупного рогатого скота, овец, свиней и лошадей имеют значение эргокальциферол (D₂) и холекальциферол (D₃). Биосинтез холекальциферола происходит в коже животных под влиянием ультрафиолетовых лучей солнца или кварцевой лампы.

Кальциферолами наиболее богат жир, получаемый из печени морских рыб (треска, палтус). Они содержатся также в сливочном масле, молоке, яичном желтке, печени животных (дельфина, тюленя, белого медведя).

Кальциферолы принимают участие в регуляции минерального и энергетического обменов, оказывают влияние на использование азота, углеводов, кальция, фосфора и особенно трудноусвояемого фитинового фосфора зерновых кормов.

При недостатке кальциферолов у молодняка развивается рахит, а у взрослых животных — остеомалация. У маток и производителей нарушается воспроизводительная способность, снижается продуктивность.

Новорожденным телятам необходимо скормить молозиво первых двух удоев, которое содержит наибольшее количество витаминов групп А, D, Е. Хорошим источником холекальциферола для птицы и поросят служит рыбий жир.

Витамины группы Е. К этой группе относятся α-, β-, и γ-токоферолы — факторы размножения. Витамины этой группы обладают антиокислительными свойствами, способствуют усвоению и сохранению витаминов группы А и каротина в организме, участвуют в обмене жиров, белков и углеводов. Наибольшей би-

ологической активностью обладает α -токоферол.

Витамины группы Е присутствуют в продуктах как растительного, так и животного происхождения: в растительных маслах (особенно в масле облепихи и ростков пшеницы), зеленых овощах, зернах злаков, коровьем масле, мясе, молоке, яйцах.

При недостатке витаминов группы Е нарушается сперматогенез, тормозится развитие зародыша, в дальнейшем плод может погибнуть. Ранний признак недостаточности витаминов группы Е — снижение устойчивости эритроцитов к гемолизу. При хроническом Е-гиповитаминозе развивается мышечная дистрофия, мышцы становятся дряблыми, белыми, нарушается деятельность мышцы сердца. Телята и ягнята становятся малоподвижными, при ходьбе задыхаются. У свиней возникает дистрофия мышц, некроз печени.

При сбалансированных рационах потребность крупного рогатого скота и овец в витаминах группы Е невелика.

Витамины группы К. K_1 — филлохинон, K_2 — фарнахинон, K_3 — викасол — антигеморрагические факторы. Они играют важную роль в процессе свертывания крови. При их отсутствии кровь теряет способность быстро свертываться. В организме снижается уровень белка протромбина и других факторов, участвующих в процессе свертывания крови. Введение витаминов группы К стимулирует синтез данных белков в печени. Кроме того, при К-гиповитаминозе появляются подкожные и внутримышечные кровоизлияния, развивается анемия.

В организме взрослых животных фарнахинон синтезируется микроорганизмами, заселяющими желудочно-кишечный тракт. Поэтому взрослые животные, как правило, не страдают от его недостатка. Что касается новорожденных, то их потребность в витамине обеспечивается за счет молока матери.

При внутримышечном и внутривенном введении викасола (синтетического витамина) кровотечение быстро останавливается. Кроме того, викасол обладает противовоспалительным действием и повышает сопротивляемость организма по отношению к радиоактивному излучению.

Водорастворимые витамины. Большею частью они термолабильны, разрушаются от действия щелочей, устойчивы к кислой среде и, как правило, не могут длительно сохраняться в тканях организма. Представители этой группы — аскорбиновая кислота, цитрин, витамины группы В.

А с к о р б и н о в а я к и с л о т а. Витамин С — антицинготный витамин, содержится в растительных продуктах: в цитрусовых, плодах шиповника, ягодах черной смородины, капусте, шпинате, салате, картофеле и др.

Источниками этого витамина для животных служат зеленая трава, правильно заготовленный силос, сенаж, травяная мука, пророщенное зерно, хвойные ветви и хвойная мука, молозиво и молоко. В молоке кобыл и свиноматок аскорбиновой кислоты в 5—10 раз больше, чем в молоке коров. Она может образовываться и в организме сельскохозяйственных животных.

Физиологическое значение аскорбиновой кислоты для организма животных огромно. Она участвует в образовании опорных белков — коллагена и хондромукоида, способствует синтезу и отложению гликогена в печени, стимулирует секрецию желез желудка, участвует в окислении тирозина и в превращениях нуклеиновых кислот, необходима для синтеза ряда гормонов, ускоряет заживление ран. Кроме того, она повышает сопротивляемость организма к различным инфекциям и неблагоприятным воздействиям внешней среды, стимулирует образование антител, обеспечивает нормальную проницаемость капилляров, влияет на кроветворение, активирует фермент аконитазу

и участвует в цикле Кребса, помогает организму справляться с отравлениями.

Для сельскохозяйственных животных величина потребности в аскорбиновой кислоте еще не установлена. Долгое время считали, что все домашние животные вполне удовлетворяют потребность в витамине С за счет биосинтеза. Однако лошади, свиньи и птица нуждаются в дополнительном поступлении его с кормами.

Ц и т р и н. Витамин Р — витамин проницаемости — постоянный спутник аскорбиновой кислоты. Цитрин и аскорбиновая кислота являются синергистами — веществами, действующими в одном направлении. Они вместе участвуют в различных процессах обмена веществ.

Цитрин укрепляет стенки капилляров и регулирует их проницаемость, способствует нормализации давления крови в сосудах. При недостатке этого витамина появляются точечные кровоизлияния на коже, особенно в местах, подвергаемых давлению.

В и т а м и н ы г р у п п ы В. К этой большой группе водорастворимых витаминов, сравнительно хорошо изученных в биологическом отношении, относятся следующие витамины: тиамин (V_1), рибофлавин (V_2), пантотеновая кислота (V_3), холин (V_4), никотиновая кислота (V_5), пиридоксин (V_6), фолиевая кислота (V_9), биотин (Н), цианкобаламин (V_{12}), парааминобензойная кислота (ПАБК), инозит, пангамовая кислота (V_{15}) и др.

Тиамин (витамин V_1) — антиневритический фактор, или аневрин, содержит атом серы. Его много в зародышах и оболочках семян, бобах, горохе, отрубях, жмыхах, картофеле и зеленых листьях. У жвачных и лошадей он синтезируется в желудочно-кишечном тракте.

Тиамин играет важную роль в различных обменных процессах. В виде тиаминпирофосфата служит ко-

ферментом ферментов, катализирующих декарбоксилирование кетокислот в тканях. При нарушении процесса декарбоксилирования кетокислоты накапливаются в нервных клетках, вызывая их воспаление. Тиамин активно влияет на обмен ацетилхолина — проводника нервного импульса. Поэтому тиамин широко применяют для лечения различных заболеваний нервной системы.

Недостаток тиамина в кормах чаще проявляется у птицы, реже — у свиней, телят и ягнят. Симптомы недостаточности тиамина у большинства видов животных характеризуются потерей аппетита, истощением, мышечной слабостью и прогрессирующим нарушением функций нервной системы, приводящим к судорогам и параличам.

Минимальная суточная потребность в тиамене для взрослых лошадей составляет 3—5 мг, для свиней — 2—4 мг на 100 кг массы, для кур-несушек — 60—80 мг на 100 г кормовой смеси.

Рибофлавин (витамин V_2) относится к веществам флавиновой природы, последние входят в состав ферментов, имеющих желтую окраску. Рибофлавин широко встречается в растительных и животных организмах, а также у микроорганизмов. Источники витамина V_2 — зеленые корма, шпинат, капуста, дрожжи, печень, яйца, почки и молоко.

Недостаток рибофлавина в организме приводит к нарушению углеводного обмена, снижению образования гликогена в печени, задержке процесса окисления молочной и пировиноградной кислот. Витамин V_2 необходим для нормального обмена белка. При его недостатке белок и аминокислоты используются плохо, причем некоторые аминокислоты выделяются с мочой неизмененными.

Рибофлавин нужен для нормального зрения, функционирования половых желез и нервной системы, для развития плода, синтеза гемоглобина.

Заболевания, связанные с недостатком рибофлавина, встречаются у птицы, свиней, реже — у лошадей и телят. При его недостатке в рационе у цыплят замедляется рост, появляется понос, развивается паралич и наступает смерть, а у взрослой птицы снижается яйценоскость. У свиней дефицит рибофлавина характеризуется медленным ростом, помутнением роговицы и хрусталика, общей слабостью; наступает смерть. Крупный рогатый скот не нуждается в поступлении рибофлавина с кормом.

Пантотеновая кислота (витамин В₃) очень широко распространена в природе. По этому признаку ей и дали настоящее название (*pantothen* по-гречески — повсюду). Зеленые растения и в особенности зерна злаков являются хорошими источниками данного витамина. Больше всего его содержится в печени, затем в надпочечниках, сердце, яичном желтке и почках. Он синтезируется дрожжами, микрофлорой желудочно-кишечного тракта.

Пантотеновая кислота — составная часть кофермента А (КоА). Как известно, КоА принимает участие в активировании уксусной кислоты, окислительном распаде и ресинтезе жирных кислот, образовании триглицеридов, фосфолипидов, ацетилхолина, окислении пировиноградной кислоты, усвоении глюкозы, обмене белка. Следовательно, физиологическое значение пантотеновой кислоты очень велико и ее биологическая роль в обмене веществ многообразна.

Дефицит пантотеновой кислоты у цыплят проявляется замедлением роста, неравномерным развитием оперения, дерматитами, поражением нервной системы. У поросят при ее недостатке возникают желудочно-кишечные заболевания, дерматиты, нарушение координации движений, истечение темного экссудата из глаз и т.д.

Нормы пантотеновой кислоты: для всех групп птиц — 10 мг на 1 кг сухого корма, для поросят — 10 мг,

для молодняка на откорме — 9, для маток супоросных и подсосных — 12 мг на 1 корм. ед.

Холин (витамин В₄) входит в состав лецитинов. В большом количестве он содержится в зеленых листьях, дрожжах, хлебных злаках, жмыхах, шротах, печени, рыбной и мясной муке.

Холин обладает способностью предупреждать жировую инфильтрацию печени и ускорять всасывание жира. Он принимает участие в образовании одного из сильных медиаторов — ацетилхолина и является возбуждателем моторной функции кишечника.

Потребность животных в холине зависит от уровня метионина в рационе, а также от обеспеченности фолиевой кислотой и цианкобаламином. На поросят-отъемышей положительно влияет добавление холин-хлорида в дозе 1,5 г на 1 кг корма.

Никотиновая кислота (витамин РР, витамин В₅) и ее амид (никотинамид) встречаются в природных продуктах в свободном состоянии и в виде нуклеопротеидов входят в состав сложных ферментов. Основными источниками этого витамина служат дрожжи, печень, мясная и рыбная мука, подсолнечниковый шрот, в меньшем количестве он содержится в зернах хлебных злаков.

Никотиновая кислота занимает очень важное место в обмене веществ, входя в состав кофермента дегидрогеназ. Ферменты, содержащие этот кофермент, катализируют окислительно-восстановительные реакции, протекающие во всех органах и тканях животного организма. Никотиновая кислота способствует образованию пищеварительных соков желудка и поджелудочной железы, влияет на ускорение ритма сердечных сокращений, расширяет периферические сосуды, стимулирует образование эритроцитов и регулирует функцию печени.

Гиповитаминоз никотиновой кислоты чаще возникает у свиней и птиц,

а также у животных, в рационе которых содержится много кукурузного зерна и мало белка или триптофана. Отсутствие данного витамина приводит к тяжелому заболеванию — пеллагре. Характерными признаками этого заболевания служат дерматит (поражение кожных покровов), диарея (понос), изменение поведения животных вследствие нарушения функции коры больших полушарий головного мозга. Потребность свиней и птицы в никотиновой кислоте зависит от уровня триптофана в рационе.

Пиридоксин (витамин В₆, адермин) в достаточных количествах присутствует в дрожжах, печени, молоке, бобовых, зерне хлебных злаков, жмыхах, шротах и картофеле.

Пиридоксин принимает активное участие в белковом обмене — процессах трансаминирования и декарбоксилирования аминокислот, во всех этапах синтеза и обмена глутаминовой и аспарагиновой кислот.

При недостатке витамина у свиней и птиц задерживается рост, снижается использование корма, появляются дерматиты, судороги, параличи и анемия. У взрослых птиц снижаются яйценоскость и выводимость. У поросят развивается жировая инфильтрация печени, нарушается координация движений и ухудшается зрение. Аналогичные симптомы отмечают и у телят.

Потребность в пиридоксине для утят, цыплят, кур, индюшат, индеек и гусей составляет от 2,6 до 6,7 мг, для поросят — от 1,5 до 2,5 мг на 1 кг корма.

Фолиевая кислота (витамин В₉, фолацин) содержится в кормах. Особенно много ее в зеленых листьях растений, цветной капусте, дрожжах, печени, грибах, хлебных злаках и сое. Кроме того, она синтезируется в желудочно-кишечном тракте животных.

При участии фолиевой кислоты происходит образование эритроцитов и поддерживается нормальный состав крови. Она усиливает и углубляет действие цианкобаламина. Фолие-

вая кислота — липотропный фактор, предупреждает жировую инфильтрацию печени, участвует в синтезе нуклеиновых кислот, пуринов, в распаде гистидина, стимулирует функцию половых желез. Таким образом, она является антианемическим фактором и фактором роста.

При недостатке фолиевой кислоты у цыплят и индюшат развиваются анемия и лейкопения, наблюдается задержка в росте. У свиней также отмечают анемию, слабость и выпадение щетины.

Биотин (витамин Н, антисеборейный фактор) широко распространен в природе. Он синтезируется дрожжами и бактериями пищеварительного тракта и рубца животных, а также растениями. Им богаты печень, дрожжи, молоко, хлебные злаки и овощи.

Витамин Н обладает огромной биологической активностью. При участии биотина и АТФ происходят реакции карбоксилирования — присоединения СО₂ к органическим кислотам. Биотин обладает способностью соединяться с одним из компонентов яичного белка — авидином, образуя биологически неактивный комплекс, что может вызвать симптомы недостаточности этого витамина.

Отличительный признак гиповитаминоза биотина — развитие дерматита, сопровождающееся выпадением шерсти и обильным выделением сала кожными железами (себорея). Это дало основание назвать биотин витамином Н (от немецкого слова «haut» — кожа) и антисеборейным фактором.

Потребность в биотине удовлетворяется преимущественно за счет его бактериального синтеза не только в организме жвачных, но и свиней и птиц.

Цианкобаламин (витамин В₁₂) по своему составу, происхождению и физиологическому действию занимает особое место среди других витаминов группы В. Это единственный ви-

тамин, в состав которого входит металл — кобальт (4,5%).

Цианкобаламин синтезируется исключительно простейшими микроорганизмами, населяющими рубец жвачных, кишечник, почву, навоз и прудовую стоячую воду.

Главные источники витамина B_{12} — корма животного происхождения — рыбная и мясо-костная мука, молоко, обрат, сыворотка.

Цианкобаламин принимает активное участие в синтезе нуклеиновых кислот, метионина и холина, в восстановлении глутатиона в крови и тканях животных. Он стимулирует синтез белков. Как стимулятор роста витамин B_{12} имеет важное значение для животноводства. Цианкобаламин — незаменимый фактор кровообразования, стимулирует эритропоэз и синтез гемоглобина, поэтому его называют еще противоанемическим фактором. Этот витамин применяют как лечебное средство при расстройствах кровообразования, нарушениях функций печени и нервной системы.

Гиповитаминоз B_{12} возникает в основном у свиней, собак и птиц. При этом у животных изменяется белковый обмен, повышается содержание остаточного азота и мочевины в крови. Нарушается эритропоэз, тканевое окисление, снижается содержание гемоглобина и развиваются нервные расстройства.

Потребность жвачных в данном витамине вполне удовлетворяется за счет синтеза микрофлорой рубца, если в составе рациона имеется достаточно кобальта. Потребность для свиней составляет 20 мкг, для птиц — 12—20, для телят и ягнят — 20—40 мкг на 1 кг корма.

Парааминобензойная кислота (ПАБК) широко распространена в продуктах растительного и животного происхождения. В больших количествах она содержится в дрожжах и печени. При отсутствии данного витамина задерживается рост и наступает поседение волос. Главное значение ПАБК состоит в том, что

она входит в состав очень важного витамина — фолиевой кислоты.

Инозит (мезоинозит) сосредоточен главным образом в листьях, фруктах, зернах злаков, дрожжах, почках, мозге и щитовидной железе.

Инозит, являясь ростовым фактором для некоторых микроорганизмов кишечной флоры, стимулирует микробиологический синтез недостающих витаминов, например биотина. Липотропное действие инозита заключается в отщеплении метионина от белков.

При недостатке инозита у мышей развивается ряд нарушений, и прежде всего задерживается рост, выпадает шерсть, позднее появляются изменения функций нервной системы и зрения. Минимальная потребность в инозите установлена только для мышей и крыс, а для других животных пока еще не изучена.

Пангамовая кислота (витамин B_{15}) усиливает кислородный обмен в клетках тканей, обладает липотропным действием, то есть способна предупреждать жировое перерождение печеночных клеток. Витамин B_{15} снижает токсическое действие алкоголя и некоторых других химических веществ.

Некоторые ученые высказывают предположение, что пангамовая кислота усиливает окислительно-восстановительные процессы. Ее применяют для лечения болезней печени, сердечно-сосудистых заболеваний склеротического характера, эмфиземы легких, пневмосклероза и т. д.

Антивитамины. К ним относят соединения, которые химически похожи на тот или иной витамин, но по своему действию обладают противоположными, антагонистическими свойствами. Антивитамины известны не для всех витаминов. Отдельные антивитамины используют с лечебной целью. Например, лекарственные препараты, в состав которых входит антивитамин К, с успехом применяют при лечении тромбофлебитов, инфаркта миокарда и др.

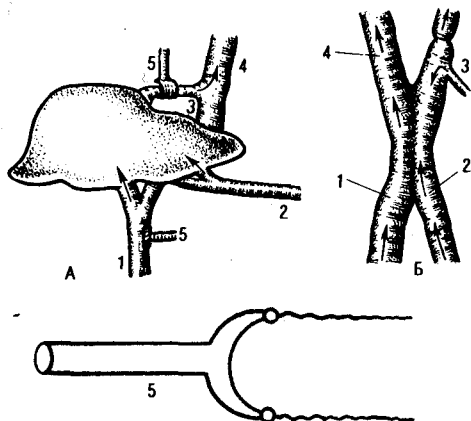
Антивитамином биотина служит яичный белок — овидин, который снижает действие этого витамина, антивитаминами В₁ — окситиамин и пиритиамин, В₃ — пантоилтаурин, пантоилпропаноламин, пантоилэтанол-амин, В₄ — хлористый триэтилхолин, В₆ — дезоксипиридоксин и метокси-пиридоксин, фолиевой кислоты — метилфолиевая кислота, птероаспарагиновая кислота и др.

Механизм действия антивитаминов заключается в конкурентных отношениях с витамином за специфический белок, с которым витамин образует фермент. При высокой концентрации антивитамина он соединяется со специфическим белком, вытесняя витамин. Образовавшийся комплекс с белком не обладает ферментативными свойствами. В этом и состоит основной механизм развития авитаминоза при совместном поступлении в организм витамина и его антивитамина. Поэтому действие антивитамина можно снять только введением в организм соответствующего количества витаминов.

РОЛЬ ПЕЧЕНИ В ОБМЕНЕ ВЕЩЕСТВ

Печень играет большую роль в процессах пищеварения и обмена веществ. Она имеет сложную систему кровообращения. Кровь поступает в нее по печеночной артерии и воротной вене. Причем 80% крови, идущей от органов брюшной полости, поступает по воротной вене и только 20% — по печеночной артерии. Кровь оттекает от печени по печеночной вене. Таким образом, все вещества, всасывающиеся в кровь, обязательно поступают в печень и подвергаются различным метаболическим превращениям.

Для изучения функции печени применяют ангиостомический метод, фистулу Экка — Павлова, при помощи которых исследуют биохимический состав притекающей и оттекающей крови (рис. 37). Кроме того, при-



37* Методы изучения функции печени:

А — схема ангиостомического исследования печени: 1 — воротная вена; 2 — печеночная артерия; 3 — печеночная вена; 4 — задняя полая вена; 5 — канюли (стрелками указан путь крови); Б — схема свища по Экку — Павлову: 1 — брюшной ствол от тазовой части; 2 — ствол воротной вены от кишечника; 3 — лигатура на сосуде к печени; 4 — ствол к правому сердцу (стрелками указан путь крови)

меняют метод катетеризации сосудов воротной системы, разработанный А. А. Алиевым.

В печени синтезируются различные органические вещества: белки, гликоген, жиры, фосфатиды и другие соединения. Печени принадлежит существенная роль в обмене белков. Из аминокислот, поступающих с кровью, в печени образуется белок. В ней формируются фибриноген, протромбин, выполняющие важные функции в свертывании крови. Здесь же происходят процессы перестройки аминокислот: дезаминирование, трансаминирование, декарбоксилирование.

Печень — центральное место обезвреживания ядовитых продуктов азотистого обмена, в первую очередь аммиака, который превращается в мочевины или идет на образование амидов кислот. В печени происходит распад нуклеиновых кислот, окисление пуриновых оснований и образование конечного продукта их обмена — мочевой кислоты. Кроме того, здесь нейтрализуются ядовитые

вещества (индол, скатол, крезол, фенол), поступающие из толстого отдела кишечника и образующиеся в результате гниения белков. Эти вещества, соединяясь с серной и глюкуроновой кислотами, превращаются в эфирно-серные кислоты.

Удаление печени из организма животных приводит к их гибели. Она наступает, по-видимому, из-за накопления в крови аммиака и других ядовитых промежуточных продуктов азотистого обмена.

Большую роль печень играет в обмене углеводов. Глюкоза, приносимая из кишечника по воротной вене, в печени превращается в гликоген. Благодаря высоким запасам гликогена печень служит основным углеводным депо организма. Гликогенная функция печени обеспечивается действием ряда ферментов и регулируется центральной нервной системой и гормонами — адреналином, инсулином, глюкагоном. В случае повышенной потребности организма в сахаре, например во время усиленной мышечной работы или при голодании, гликоген под действием фермента фосфорилазы превращается в глюкозу и поступает в кровь. Таким образом, печень регулирует постоянство глюкозы в крови и нормальное обеспечение ею органов и тканей.

В печени происходят важнейшие превращения жирных кислот, из которых синтезируются жиры, свойственные для данного вида животного. Под действием фермента липазы жиры расщепляются на жирные кислоты и глицерин. Дальнейшая судьба глицерина похожа на судьбу глюкозы. Его превращения начинаются с участием АТФ и кончаются распадом до молочной кислоты с последующим окислением до CO_2 и H_2O . Иногда при необходимости печень может синтезировать гликоген из молочной кислоты. Это еще раз подтверждает связь между обменом жиров и углеводов.

Распад жирных кислот в печени идет следующим образом. Под дей-

ствием различных ферментов в присутствии АТФ и КоА в печени образуются ацилкоферменты А, которые вместе с кровью доставляются тканям и органам, где происходит их расщепление с выделением энергии и образованием конечных продуктов — двуокиси углерода и воды.

Следовательно, печень выполняет функцию снабжения органов и тканей источниками энергии.

В печени осуществляется также синтез жиров и фосфатидов, которые, поступая в кровь, транспортируются по всему организму. Значительную роль она играет и в синтезе холестерина и его эфиров. При окислении холестерина в печени образуются желчные кислоты, которые выделяются с желчью и участвуют в процессах пищеварения.

Печень принимает участие в обмене жирорастворимых витаминов, является главным депо ретинола и его провитамина — каротина. Она способна синтезировать цианкобаламин.

Печень может задерживать в себе излишнюю воду и тем самым не допускать разжижения крови; она содержит запасы минеральных солей и витаминов, участвует в пигментном обмене.

Печень выполняет некоторую барьерную функцию. Если в нее с кровью заносится какой-либо яд или болезнетворные микробы, то они подвергаются обезвреживанию. Эту функцию выполняют звездчатые клетки, расположенные в стенках кровеносных капилляров, пронизывающих печеночные дольки. Захватывая ядовитые соединения, звездчатые клетки в союзе с печеночными клетками обезвреживают их. Причем по мере необходимости звездчатые клетки выходят из стенок капилляров и свободно передвигаясь, выполняют свою функцию. Кроме того, печень способна переводить свинец, ртуть, мышьяк и другие вещества в неядовитые соединения.

ОБМЕН ЭНЕРГИИ

Изучение энергетического обмена в организме животных стало возможным после открытия основных законов сохранения материи и энергии (М. В. Ломоносов, 1748). С обменом веществ тесно связан обмен энергии, так как они составляют единый биологический процесс. Животный организм из окружающей среды с кормом получает белки, углеводы, жиры, витамины, минеральные соли, воду, кислород, а выделяет в нее конечные продукты обмена веществ. В результате биохимических реакций, происходящих в организме, образуется большое количество химической энергии, которая используется для поддержания функций жизненно важных органов и может превращаться в другие виды энергии.

Обмен веществ и энергии в организме служит интегральным показателем всех физиологических процессов. Все разнообразные формы жизнедеятельности организма животных тесно связаны с использованием энергии. Закономерности, лежащие в основе этих процессов, в совокупности называют *биоэнергетикой*. Основные положения термодинамики приемлемы и к биоэнергетическим процессам.

Живой организм представляет собой систему, в которую непрерывно поступает энергия из окружающей среды и из которой выделяется такое же ее количество. Благодаря этому в организме, как в саморегулирующейся системе, устанавливается динамическое равновесие. Различные стороны проявления жизни требуют затрат энергии, которая должна поступать извне.

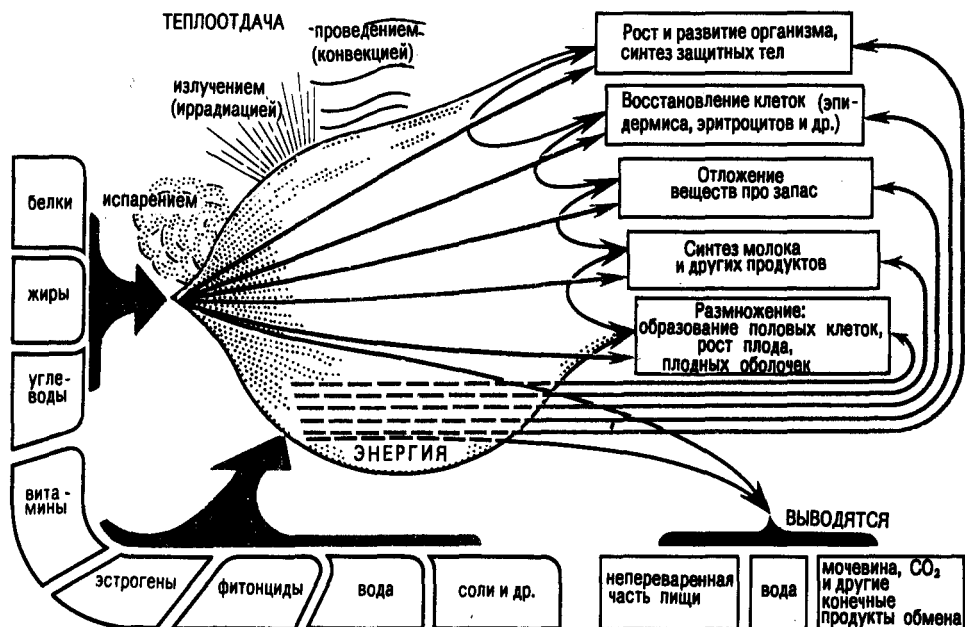
Химическая, или потенциальная, энергия питательных веществ заключена в различных ковалентных связях между атомами в молекуле. Например, в глюкозе количество этой энергии, заключенной между атомами С, Н и О, составляет около 2871,2 кДж (686 ккал) на моль

(то есть на 180 г глюкозы). Эта энергия освобождается при окислении: $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6H_2O + CO_2 + 2871,2 \text{ кДж}$.

В живой клетке это огромное количество энергии освобождается не одновременно, а в ходе ступенчатого процесса, управляемого рядом окислительных ферментов, которые в конце концов превращают питательные вещества в CO_2 и H_2O .

В обмене энергии важную роль играют *макроэргические соединения*, в химических связях которых сосредоточено большое количество энергии. К таким соединениям относятся АТФ, АДФ, креатинфосфат и другие, при гидролизе которых освобождается значительное количество свободной энергии. В них аккумулируется потенциальная химическая энергия, заключенная в углеводах, жирах и белках при их распаде в клетках живого организма. При окислении одной грамм-молекулы глюкозы в анаэробных условиях образуются две моли АТФ, а в аэробных условиях — 38 (в 19 раз больше).

Необходимая энергия черпается из макроэргических связей АТФ, и поэтому именно АТФ принимает участие в большинстве синтетических процессов, происходящих в организме, начиная от построения белков и до синтеза конечного продукта азотистого обмена — мочевины. Таким образом, АТФ занимает ведущее положение в энергетике организма. Запасенная в ней энергия с помощью ферментов фосфотрансфераз перекладывается с одного процесса обмена веществ на другой, а под действием фермента аденозинтрифосфатазы молекула АТФ расщепляется. Освобождающаяся при этом энергия может преобразовываться в другие виды энергии: механическую, тепловую, электрическую и т. д. В результате различных превращений все виды энергии, кроме первичного тепла, превращаются в тепловую (вторичное тепло) и выделяются из организма (рис. 38).



38 Схема использования питательных веществ животными

В связи с тем что АТФ постоянно расходуется, обязательным условием жизни является возобновление ее запасов в организме. Такое возобновление идет в виде ресинтеза АТФ, происходящего в реакциях различного типа, важнейшая из которых — реакция окислительного фосфорилирования.

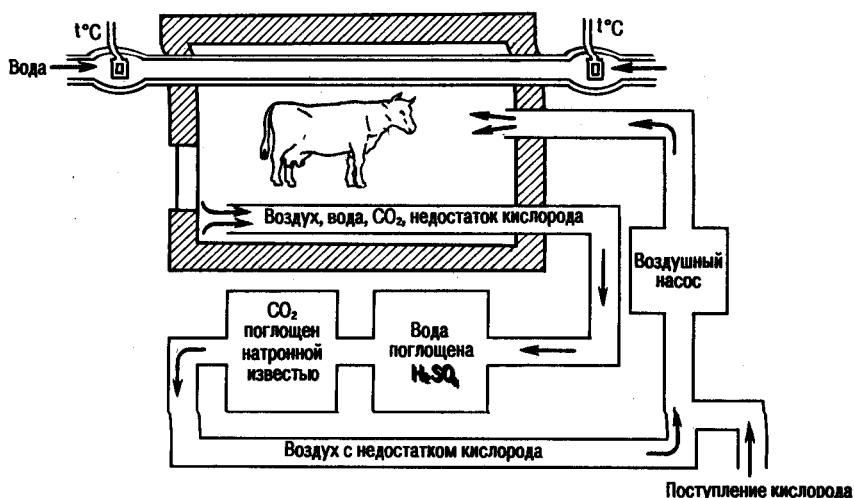
Совокупность всех протекающих в клетках процессов распада питательных веществ, синтеза новых соединений и превращения энергии получила название *метаболической мельницы*.

Методы исследования обмена энергии. Величину потенциальной энергии в организме можно узнать по количеству питательных веществ, поступивших вместе с кормом. При сгорании пищевых веществ в организме до CO_2 и H_2O освобождается такое же количество энергии, что и при сжигании их вне организма. При определении теплоты сгорания основных пищевых веществ в калориметре получают следующие величины

(кДж/г): белки — 24,3; углеводы — 17,2; жиры — 38,9. В организме энергия жиров и углеводов используется полностью, а белков — частично. Физиологическая калорийная ценность белков равна 17,2 кДж/г. Следовательно, зная количество принятых с кормом белков, жиров и углеводов, можно подсчитать приход энергии.

Общий расход энергии в организме наиболее точно можно определить по количеству освобожденного тепла, выраженного также в кДж. Количество тепла, выделенного организмом, служит точной мерой всего энергетического расхода организма.

Энергию, заключенную в корме, называют *валовой*, а энергию корма за вычетом энергии в кале — энергией перевариваемых питательных веществ или *переваримой энергией*. Энергию, определяемую по разности между валовой энергией корма и потерями ее с калом, мочой, кишечными газами и др., называют физиологически полезной или обменной энергией. Последняя служит научно обоснованным критерием энергетической оценки питательности кормов.



39 Схема калориметрической камеры

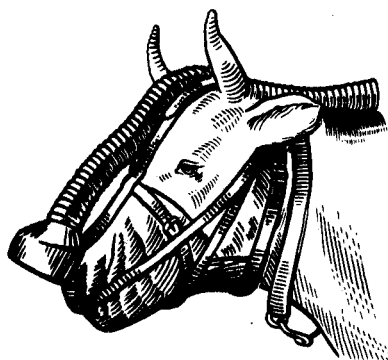
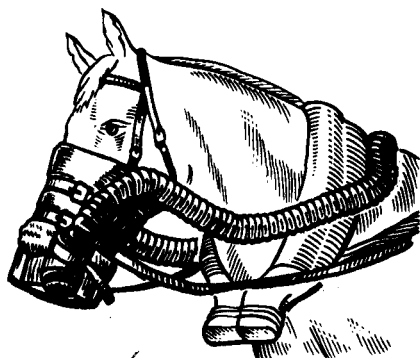
В процессе обмена веществ в организме постоянно происходит обмен газов. Жизненные проявления организма обуславливаются постоянным и значительным обменом вдыхаемых и выдыхаемых газов. Поэтому изучение газового обмена у животных имеет большое практическое значение для определения уровня и направления обмена веществ и энергии.

Основная задача при изучении газового обмена заключается в как можно более точном определении количества выделяемой двуокиси углерода (CO_2) и потребляемого живот-

ными кислорода (O_2) за определенный промежуток времени.

Освобождение и расходование энергии в организме животного, исчисляемые в килоджоулях (килокалориях), могут быть измерены непосредственно калориметрически или косвенно — методом газового обмена. Поэтому для определения количества тепла, образующегося в организме, существуют два метода — *прямая и непрямая калориметрия*.

40 Дыхательные маски для лошади и крупного рогатого скота



13. Калорическая ценность кислорода и двуокиси углерода при окислении питательных веществ в организме животных (по А. А. Кудрявцеву)

Питательные вещества	Количество джоулей, выделенных в организме на 1 г вещества	Поглощено O ₂ на 1 г вещества, л	Выделено CO ₂ на 1 г вещества, л	Дыхательный коэффициент	Калорический коэффициент, Дж	
					O ₂	CO ₂
Белки	18,5	0,9661	0,7817	0,809	19,2	23,8
Жиры	40,0	2,0192	1,4273	0,708	19,6	27,7
Углеводы	17,5	0,8288	0,8288	1,000	21,1	21,1

Разница температуры воды определяется двумя термометрами, показывающими сотые и тысячные доли градуса. По разнице температуры воды вычисляют количество освобожденного тепла (Дж). Метод прямой калориметрии более точен, чем косвенное вычисление тепла, но по технике он сложен и связан с большой затратой времени.

Непрямая калориметрия. Наиболее широко применяется на практике. Это метод измерения обмена энергии по выделению двуокиси углерода и потреблению кислорода. Используют специальные герметические респирационные камеры. Однако они по своей конструкции очень сложны, поэтому газообмен изучают *масочным методом* (рис. 40). Потребление одного литра кислорода или выделение одного литра двуокиси углерода соответствует образованию определенного количества тепла, что называют *калорическим коэффициентом* O₂ или CO₂ (табл. 13).

Уровень обмена веществ можно определить по дыхательному коэффициенту. *Дыхательным коэффициентом* называют объемное соотношение выделенного CO₂ к поглощенному O₂ за тот же промежуток времени: $RQ = CO_2/O_2$. Причем величина дыхательного коэффициента при окислении белков, жиров и углеводов различна в зависимости от того, какие вещества в организме окисляются во время измерения. Так, при окислении глюкозы дыхательный коэффициент равен 1; жиров — 0,7; белков — 0,8. Величина его зависит от многих факторов.

Газообмен служит интегральным показателем уровня окислительно-восстановительных процессов, так как дыхательный коэффициент дает возможность судить о качественной стороне, характере обмена веществ. Калорические коэффициенты O₂ при окислении белков, жиров, углеводов различны, они неодинаковы и при разных дыхательных коэффициентах. Поэтому определенному коэффициенту будет соответствовать определенное количество тепловой энергии. Следовательно, по калорической ценности кислорода можно рассчитать общую теплопродукцию в организме животного (табл. 14).

Основной обмен. Важным показателем энергетических превращений в организме является основной обмен, характеризующий интенсивность окислительных процессов при стандартных условиях покоя.

Под *основным обменом* понимают выработку энергии в организме в голодном состоянии (натошак) и при полном мышечном покое, то есть то минимальное количество энергии, которое расходуется на функциониро-

14. Количество тепла, образующегося при поглощении 1 л кислорода, при разных дыхательных коэффициентах

Дыхательный коэффициент							
	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
Дж	19,6	19,8	20,1	20,3	20,6	20,9	21,1

вание жизненно важных систем (кровообращение, дыхание, пищеварение, деятельность мышц и желез внутренней и внешней секреции, центральной нервной системы и т. д.).

Энергию, затрачиваемую организмом животного для образования различных видов продукции, называют *продуктивным обменом*. Таким образом, общая энергетическая потребность организма складывается из энергии, затрачиваемой на поддержание жизнедеятельности, и энергии, необходимой для продуктивности и выполнения работы.

Основной обмен изучают методами прямой и непрямой калориметрии при определенных условиях (постоянная окружающая температура, натощак, полный мышечный покой) спустя 48 ч голодной диеты.

На уровень основного обмена влияют: порода, вид, возраст, пол, живая масса, продуктивность, физическое состояние животного, время года и ряд других внешних и внутренних факторов. Уровень энергетического обмена у разных видов животных приведен в таблице 15.

Из таблицы видно, что чем крупнее животное, тем меньше расходуется энергии на единицу массы тела. Такой способ расчета затрат энергии дает только приблизительное представление об истинном уровне энергетических потребностей. При этом энергетические затраты на 1 м² поверхности мало зависят от размеров животного.

15. Энергетический обмен у животных разных видов (по А. Д. Слониму)

Вид животных	Масса тела, кг	Теплопродукция, кДж в сутки	
		на 1 кг массы тела	на 1 м ² поверхности тела
Лошадь	441	47,3	3967,8
Свинья	128	79,9	4512,0
Собака	15,2	215,6	4348,7
Кролик	2,3	314,3	3247,9
Гусь	3,5	279,2	4055,7
Курица	2,0	297,2	3946,9

Энергетические потребности у разных пород животных неодинаковы и зависят также от пола и возраста. Обычно у самцов основной обмен выше, чем у самок. У растущих животных потребность в энергии больше, чем у взрослых.

Основной обмен меняется в зависимости от сезона года и в течение суток: летом и весной он выше, чем осенью и зимой, днем выше, чем ночью.

Интенсивность обмена веществ и энергии зависит от разного уровня парциального давления кислорода (табл. 16). Горный климат оказывает многообразное влияние на организм овец.

У животных наблюдают определенные колебания основного обмена при различных физиологических состояниях: лактации, беременности, мышечной деятельности и т. д. Основной обмен у лактирующих коров на 30 % выше, чем у сухостойных.

16. Показатели газознергетического обмена у разных пород овец при различном парциальном давлении кислорода (по З. К. Кожебекову, А. Г. Галиевой)

Порода овец	Теплопродукция, кДж/ч/кг							
	Парциальное давление кислорода, Па (метров над уровнем моря)							
	19 065 (680)		16 932 (1800)		15 332 (2800)		19 465 (700)	
	М	±	М	±	М	±	М	±
Мясо-шерстная полутонкорунная казахская	9,71	0,590	9,37	0,593	11,63	0,914	8,24	0,522
Казахская тонкорунная	8,03	0,625	7,20	0,431	9,25	0,625	7,49	0,392
Прекоз	7,78	0,416	7,78	0,416	11,46	0,460	7,36	0,338
Казахская курдючная	9,29	0,541	8,24	0,467	11,42	0,983	6,99	0,390

На энергетический обмен в большой степени влияет прием корма. Этот процесс вызывает повышение обмена веществ в организме животного в среднем на 30 %. Такое усиливающее влияние приема корма получило название *динамического действия корма*. Причем сильнее действует прием белкового корма, тогда как влияние углеводов и жиров менее значительно.

Регуляция обмена энергии. С обменом веществ тесно связан обмен энергии в организме. Эта взаимосвязь обуславливается регулирующей деятельностью центральной нервной системы. Ведущая роль в регуляции обмена энергии принадлежит коре больших полушарий. Кроме того, в этом принимают участие центры вегетативной нервной системы, расположенные в промежуточном мозге. Большое значение в регуляции уровня энергетического обмена имеют рефлексы, возникающие при раздражении различных интеро- и экстерорецепторов. На интенсивность энергетического обмена оказывает влияние гипоталамус.

Важную функцию в регуляции биоэнергетики выполняют гормоны. Из желез внутренней секреции, оказывающих влияние на обмен энергии, наиболее изучены гипофиз, щитовидная, поджелудочная железы и надпочечники.

ТЕПЛООБМЕН И РЕГУЛЯЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА

Постоянство температуры тела животного — необходимое условие для обмена веществ и ведущий фактор, обеспечивающий нормальный уровень тканевых процессов в целом организме. В то же время уровень обмена веществ и энергии определяет постоянство температуры животного. Тепловой баланс находится в прямой зависимости от равновесия между продукцией энергии, образующейся в результате жизнедеятельности организма, и отдачей ее

в окружающую среду. Поддержание термического гомеостаза в организме высших животных осуществляется благодаря деятельности сложного физиологического механизма, регулирующего теплопродукцию и теплоотдачу. Теплопродукция — процесс химический, а теплоотдача — физический.

По температуре тела животных делят на две большие группы. К одной принадлежат так называемые *пойкилотермные* (холоднокровные) животные. Температура их тела пассивно изменяется вслед за колебаниями температуры внешней среды. К ним относятся рептилии, земноводные, насекомые и некоторые другие.

Другую группу составляют *гомойотермные* (теплокровные) животные — птицы и млекопитающие. Они способны поддерживать стабильную температуру внутренних частей тела на определенном уровне. Такое постоянство температуры тела называют *изотермией*.

Для каждого вида гомойотермного животного характерна определенная температурная граница (табл. 17).

Низкая температура тела вызывает в организме ряд очень важных физиологических изменений. Самое существенное из них — это уменьшение потребности в кислороде. Данным обстоятельством пользуются хирурги при труднейших операциях на сердце, мозге и других важных органах в условиях, приближающихся к искусственной зимней спячке (гибернация).

17. Температура тела у различных животных

Вид животных	Температура	Вид животных	Температура
Лошадь	37,5—38,5	Свинья	38,0—40,0
Корова	37,5—39,0	Курица	40,5—42,0
Буйвол	37,0—38,5	Индейка	40,0—41,5
Олень	38,0—38,5	Утка	41,0—43,0
Верблюд	37,5—38,5	Гусь	40,0—41,0
Овца	38,5—40,0	Кролик	38,5—39,5
Коза	38,5—40,0	Собака	37,5—39,5

Если температура тела у разных видов животных относительно постоянна, то температура поверхности тела (кожи) подвержена значительным колебаниям. Это зависит как от величины нагревания кожи притекающей кровью, так и от охлаждения ее окружающей средой. Поэтому организм теплокровных животных делит на две части: внутреннюю, или сердцевину (внутренние органы, скелетная мускулатура), и поверхностную оболочку тела (кожа, конечности).

Примерно 50—60 % химической энергии корма, освобождаемой в организме, переходит в химические связи особых органических соединений — макроэргов. Остальная энергия в процессе превращений выделяется в виде тепла, которое рассеивается в тканях и нагревает их. Температурный гомеостаз в основном поддерживается за счет сердцевины тела. Постоянство температуры тела животного, с одной стороны, осуществляется химической, с другой — физической терморегуляцией.

Химическая терморегуляция. Под химической терморегуляцией понимают совокупность физиологических процессов, обеспечивающих обмен веществ и образование тепла в организме животных при воздействии различных температур и других факторов внешней среды. Она является сложным рефлекторным актом, имеющим довольно постоянный видовой признак, характеризующий отношение разных животных к условиям внешней среды.

Как известно, тепло образуется при окислительных процессах в митохондриях клеток. Мышцы и железы, составляя большую часть живых тканей, служат основными участками теплопродукции. Более 80 % тепла организма образуется в скелетных мышцах во время работы. Второе место по выработке тепла занимает печень. Поэтому ведущая роль в осуществлении химической терморегуля-

ции принадлежит скелетным мышцам и печени.

На обмен веществ и энергии влияет температура окружающей среды. При понижении внешней температуры обмен веществ повышается, и наоборот, при повышении — понижается, чтобы не допустить перегревания организма. Температура среды, при которой теплоудерживающие механизмы не могут больше поддерживать постоянную температуру тела и теплопродукция должна возрастать, называют *критической*. При чем для разных видов животных эта температура различна.

Среди сельскохозяйственных животных крупный рогатый скот и овцы имеют самую низкую критическую температуру и поэтому могут лучше противостоять холоду. У упитанного скота она ниже, чем у неупитанного, поэтому первые лучше переносят низкие внешние температуры.

Физическая терморегуляция. Под физической терморегуляцией понимают совокупность физиологических процессов, регулирующих отдачу тепла из организма и тем самым обеспечивающих постоянство температуры тела животного.

Организм выводит тепловую энергию следующими способами: 1) радиацией и конвекцией; 2) с испаряющейся водой через кожу и дыхательные пути; 3) с калом и мочой.

Первые два способа более важны для выделения тепла по сравнению с третьим. Эффективность данных способов во многом зависит от достаточного запаса воды в организме. Количество тепла, потерянного телом при испарении 1 г воды, составляет примерно 2,4 кДж.

Кожа играет важную роль в терморегуляции, так как около 60 % общей потери тепла при испарении происходит через нее. Этому способствуют потовые железы. Хорошо развиты потовые железы у лошадей, крупного рогатого скота и овец. В зависимости от уровня химической тер-

морегуляции, выполнения мышечной работы и температуры окружающей среды выделяется различное количество пота. У собак из-за слабого развития потовых желез вода испаряется в основном через дыхательные пути.

Благодаря совместному действию механизмов, регулирующих интенсивность обмена веществ и энергии (химическая терморегуляция), и механизмов, регулирующих кровоснабжение кожи и потоотделение, то есть теплоотдачу (физическая терморегуляция), температура тела животного всегда находится на постоянном уровне, но имеет суточную ритмику. Утром она обычно ниже, чем вечером (циркадианный ритм).

Регуляция температуры тела. Основной центр, регулирующий температуру тела животного, — это гипоталамус. В его передней части расположен центр теплоотдачи, а в задней — центр теплообразования. Благодаря наличию в коже тепловых и холодовых рецепторов сигналы об изменениях температуры поступают в центр терморегуляции, который передает соответствующие импульсы сосудистым, дыхательным, двигательным и другим центрам, участвующим в терморегуляции. Центральный механизм терморегуляции приводится в действие двумя путями. Первый определяется температурой циркулирующей крови, омывающей гипоталамус. В зависимости от ее температуры возбуждается соответствующий центр, влияющий на теплопродукцию или теплоотдачу. Вто-

рой путь — рефлекторный и условно-рефлекторный.

В осуществлении условнорефлекторных механизмов, поддерживающих постоянство температуры тела, огромное значение имеет кора больших полушарий, координирующая функцию гипоталамуса, гипофиза и других желез внутренней секреции: надпочечников, щитовидной железы. Таким образом, регуляция температуры тела животных осуществляется подкорковыми центрами под общим регулирующим влиянием коры больших полушарий головного мозга.

Процессы терморегуляции у разных животных имеют свою специфику. Поэтому у них и различная степень приспособленности к условиям внешней среды.

Контрольные вопросы

1. Методы изучения обмена веществ.
2. Физиологическое значение белка и отдельных аминокислот для организма животных.
3. Энергетическое и структурное значение жиров.
4. Значение углеводов для организма животных.
5. Роль печени в промежуточном обмене белков, жиров и углеводов.
6. Взаимосвязь обмена белков, жиров и углеводов.
7. Роль водо- и жирорастворимых витаминов в обмене веществ и энергии.
8. Физиологическое значение макро- и микроэлементов для организма животных.
9. Основной и продуктивный обмен и методы их определения.
10. Газообмен как показатель энергетического обмена.
11. Температура тела у сельскохозяйственных животных и ее суточные колебания.
12. Химическая и физическая терморегуляция.