

Лекция 4. Обмен веществ в клетке

1. Пластический обмен (ассимиляция).
2. Фотосинтез.
3. Биосинтез белков.
4. Авторегуляция химической активности клетки.
5. Энергетический обмен (диссимиляция).
6. Этапы энергетического обмена.

1. Пластический обмен (ассимиляция)

По типу ассимиляции все клетки делятся на две группы - автотрофные и гетеротрофные.

Автотрофные клетки способны к самостоятельному синтезу необходимых для них органических соединений за счет CO_2 , H_2O и энергии света (фотосинтез) или энергии, выделившейся при окислении неорганических соединений (хемосинтез). К автотрофным принадлежат зеленые растения, цианобактерии и некоторые бактерии.

Гетеротрофные клетки не могут синтезировать органические вещества из неорганических, поэтому для процессов ассимиляции им необходимы органические вещества, поступающие извне в виде пищи, в которой содержатся готовые углеводы, жиры, белки. Гетеротрофами являются все животные, большая часть бактерий, грибы, некоторые высшие растения - сапрофиты и паразиты, а также клетки растений, не содержащих хлорофилла.

2. Фотосинтез

Фотосинтез - процесс преобразования энергии света в химическую энергию органических соединений, синтезируемых в земном растении из диоксида углерода и воды:



Такое преобразование происходит в хлоропластах, в которых на мембранах тилакоидов сосредоточены почти все компоненты фотосинтезирующей цепи.

Важнейшую роль в процессе фотосинтеза играют фотосинтезирующие пигменты - хлорофиллы, каротиноиды, а у цианобактерий и красных водорослей также фикобилины.

Известно около 10 хлорофиллов (a, b, c, d, e и др.), которые отличаются друг от друга по химическому строению, окраске, расположению среди живых организмов. У всех высших растений содержатся хлорофиллы «a» и «b». Хлорофиллы «c» и «d» обнаружены у многих водорослей. В клетках фотосинтезирующих зеленых и пурпурных бактерий - бактериохлорофиллы «a» и «d».

По химическому составу хлорофилл - это сложный эфир двухосновной хлорофилловой кислоты и двух остатков спиртов - фитола. Центральное место в молекуле хлорофилла занимает атом магния.

Свет поглощают все пигменты, но из них только фотосинтетически активные (основные) принимают непосредственное участие в фотохимических реакциях. Вспомогательные пигменты хлорофиллов (каротиноиды) передают поглощенную энергию квантов света активным пигментам, расширяя тем самым спектр действия фотосинтеза. Таким образом, молекулы хлорофилла «a» получают кванты от окружающих ее многочисленных молекул других пигментов, выполняя чрезвычайно важную роль активного центра.

Хлорофиллы поглощают свет в синей и красной областях спектра, каротиноиды - в синей и синезеленой. В зеленой и желтой областях высшими растениями свет не поглощается и фотосинтез не происходит.

Процесс фотосинтеза представляет собой цепь окислительно-восстановительных реакций, где происходит восстановление диоксида углерода до уровня углеводов и окисление воды до кислорода.

Всю совокупность фотосинтетических реакций принято подразделять на две фазы - световую и темную.

Для световой фазы характерно то, что энергия солнечной радиации, поглощенная пигментными системами, преобразуется, прежде всего, в энергию макроэргических связей АТФ.

Роль, которую играет АТФ в обмене энергии, трудно переоценить. Ее роль можно сравнить с ролью денег в нашей жизни: деньгами мы расплачиваемся за все, что нам необходимо. Многие ферменты используют энергию АТФ для осуществления тех или иных химических реакций. С помощью АТФ клетка движется, вырабатывает тепло, избавляется от отходов, осуществляет активный транспорт, синтезирует новые белковые молекулы и делает многое другое. Располагая достаточным количеством АТФ, клетка может даже синтезировать питательные вещества, представляющие собой одну из форм запасаания энергии, своего рода сбережения, которые можно при необходимости вновь пускать в ход, превратив их в «разменную монету», т. е. АТФ.

И в самом деле, превращение солнечного света в химическую энергию, запасенную в форме АТФ, является важным промежуточным этапом в процессе образования питательных веществ при фотосинтезе. АТФ, следовательно, занимает центральное положение в экономике живого,

При фотосинтезе происходит удаление и запасание солнечной энергии в молекулах органических (питательных) веществ, а при дыхании - расщепление молекул питательных веществ с высвобождением заключенной в них энергии. В конечном итоге, значение этих двух процессов определяется тем, что они составляют энергию для синтеза АТФ - соединения, с участием которого в клетке выполняется большая часть работы.

В молекулах АТФ имеются две высокоэнергетические фосфатные связи. Во время их разрыва высвобождается гораздо больше энергии, чем при разрыве любых других ковалентных связей. Обычно клетка извлекает энергию из АТФ, отщепляя от его молекулы только одну концевую фосфатную группу. При этом образуются АДФ и свободный органический фосфат (сокращенно Фн):

- АТФ - АДФ + Фн + энергия

Для того чтобы снова образовался АТФ, АДФ и Фн должны соединиться. Это, конечно, требует большого количества энергии, нежели выделилось при отщеплении фосфатной группы. Большая часть клеточного АТФ образуется в результате процесса, открытого в 60-х гг. прошедшего века и получившего название «хемоосмос».

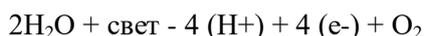
Хемоосмос протекает во время фотосинтеза в хлоропластах и митохондриях во время клеточного дыхания. В нем можно выделить два этапа:

1. Накопление энергии.
2. Использование этой энергии для синтеза АТФ.

Энергия, используемая при хемоосмосе, - это электрохимическая энергия, зависящая от присутствия ионов, т. е. частиц, которые несут электрические заряды. Противоположно заряженные частицы притягивают друг друга и поэтому движутся навстречу друг другу. Электрохимическая энергия будет накапливаться, если эти частицы разделены барьером, который не даст им сойтись. Барьером в хлоропластах или митохондриях служит мембрана, находящаяся внутри органеллы. Роль «горючего» выполняют атомы водорода, разделяющиеся на два вида заряженных частиц: ионы водорода (H⁺) и электроны (e⁻).

При попадании кванта света на молекулу хлорофилла один из ее электронов переходит на более высокий энергетический уровень, т. е. оказывается в возбужденном состоянии. В случае возвращения электрона в исходное состояние, его избыточная энергия может выделиться в виде флуоресценции, или тепла, или передаваться в качестве возбуждающей энергии другим молекулам. Кроме того, эта энергия может использоваться в фотохимических реакциях. В результате этого богатый энергией электрон воспринимается акцептором и поступает в электронно-транспортную цепь. Перенос электрона по цепи переносчиков сопровождается высвобождением значительного количества энергии, которая расходуется на синтез АТФ из АДФ и H₃PO₄. Этот процесс получил название фотосинтетического фосфорилирования. Другая часть энергии возбужденных электронов используется на фотоокисление (фотолиз) воды.

Образовавшаяся в молекуле хлорофилла электронная дырка действует как сильный окислитель и через ряд переносчиков, при участии иона марганца, отнимает электрон от воды. Этот электрон заполняет электронную дырку в молекуле хлорофилла. Происходит фотоокисление воды и выделяется свободный кислород:



Высвобождающиеся при этом протоны H⁺ используются в реакциях восстановления сложного органического соединения - никотинамидаденин-динуклеотид фосфата (НАДФ).

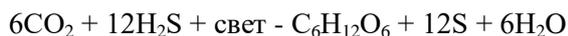
Таким образом, световые реакции фотосинтеза, помимо молекулярного кислорода, дают два богатых энергией соединения: АТФ и НАДФ•Н, а энергия квантов света превращается в химическую энергию макроэргетических связей АТФ, НАДФН₂ и освобождает кислород. Свободный кислород частично используется для внутриклеточного дыхания, но значительно большая его часть выходит в атмосферу.

Теневая фаза осуществляется в строме хлоропластов без непосредственного поглощения света. Цепь реакций, приводящих к восстановлению CO₂ до уровня органических веществ, на этой фазе идет за счет использования энергии АТФ и НАДФ•Н, синтезированных в световую фазу.

Восстановление молекул CO₂ начинается с их фиксации через устьица листа молекулами-акцепторами - пятиуглеродного сахара рибулозодифосфата. При взаимодействии рибулозодифосфата и CO₂ образуется сначала промежуточное нестойкое шестиуглеродное соединение, которое затем распадается на две молекулы фосфоглицериновой кислоты (ФГК). Дальнейшее превращение ФГК требует участия продуктов световой фазы фотосинтеза АТФ и НАДФ•Н. В конечном итоге, через ряд промежуточных четырех-, пяти-, шести-, семиуглеродных соединений образуются прежде всего углеводы (моно-, ди- и полисахариды), а также другие органические вещества (амино- и органические кислоты, белки, липиды, нуклеиновые кислоты и др.).

Уникальность и общебиологическое значение фотосинтеза определяется тем, что ему своим существованием обязано все живое на нашей планете. Этот процесс является основным источником образования органических соединений, а также единственным источником свободного кислорода на Земле. Из кислорода образовался озоновый слой, защищающий живые организмы от коротковолновой ультрафиолетовой радиации.

Процесс фотосинтеза у зеленых и пурпурных бактерий в общих чертах протекает так, как и у зеленых растений. Но у растений источником водорода, который используется для восстановления соответствующих соединений, является вода, а у бактерий - сероводород (изредка карбоновые кислоты). Поэтому бактериальный фотосинтез протекает без выделения кислорода:



Некоторые бактерии, лишённые хлорофилла, тоже способны к синтезу органических соединений, при этом они используют энергию химических реакций неорганических веществ. Преобразование энергии химических реакций в химическую энергию синтезируемых органических соединений называется хемосинтезом.

К группе *автотрофов-хемосинтетиков (хемотрофов)* относятся нитрифицирующие бактерии. Некоторые из них используют энергию окисления аммиака в азотную кислоту, другие - энергию окисления двухвалентного железа в трехвалентное или из окисления сероводорода до серной кислоты. Фотосинтезируя атмосферный азот, переводя нерастворимые минералы в форму, пригодную для усвоения растениями, хемосинтезирующие бактерии играют важную роль в круговороте веществ в природе.

Организмы, не способные сами синтезировать органические соединения из неорганических, нуждаются в доставке их из окружающей среды. Такие организмы называются *гетеротрофными*. К ним относятся большинство бактерий, грибы и все животные.

Поскольку фотосинтез является основным источником образования органического вещества в растениях, в совокупности с процессом ассимиляции минеральных элементов из почвы, он создает материальную базу для формирования их урожая. Следовательно, направленная регуляция процесса фотосинтеза - один из наиболее эффективных путей управления продуктивностью растений и воздействия на их урожайность.

Урожайность растений в значительной степени зависит от продуктивности фотосинтеза, обусловленного сложным комплексом внешних факторов и генетическими особенностями самого растения. Изучение их открывает пути управления фотосинтезом, повышения его продуктивности.

Одним из важнейших путей повышения фотосинтетической продуктивности является создание высокоурожайных сортов растений, особенно низкорослых форм. Это дает возможность растениям рационально использовать продукты фотосинтеза, потребляя большую их часть на формирование хозяйственно ценных органов. Такие сорта являются устойчивыми, что позволяет выращивать их с применением высоких доз минеральных удобрений, повышающих продуктивность растений.

Как показывают теоретические расчеты, коэффициент полезного использования лучистой энергии можно увеличить примерно в 8-10 раз, а следовательно, и повысить урожайность сельскохозяйственных растений. Для этого необходимо, чтобы весь комплекс приемов агротехники был направлен не только на удовлетворение потребностей растений в минеральной пище и воде, но и на получение быстрых темпов развития большой площади листьев. Важно также, чтобы развитие листового аппарата не вызывало самозатекания растений, т. к. это сопровождается снижением эффективности фотосинтеза. Правильный выбор густоты стояния и способа размещения растений обеспечивает возможность избежать потери солнечной энергии.

Такие элементы минерального питания, как азот, калий, фосфор, магний, железо, цинк, медь, оказывают непосредственное влияние на любой процесс ассимиляции CO_2 , и недостаток любого из них вызывает понижение интенсивности фотосинтеза. Поэтому, регулируя обеспечение растений минеральными элементами, можно управлять процессами углеродного питания.

Действенными путями повышения продуктивности фотосинтеза являются также рациональное географическое размещение полевых культур - с учетом их видовых, сортовых и биологических особенностей; высокая культура агротехники; борьба с сорняками, вредителями и болезнями растений, которые нарушают структуру и функцию хлоропластов и снижают продуктивность фотосинтеза.

3. Биосинтез белков

Белки, выделенные из живых организмов, - животных, растений и микроорганизмов - включают несколько сотен, а иногда и тысяч комбинаций 20 основных аминокислот. Порядок их чередования самый разный, что делает возможным существование огромного числа молекул белка, отличающихся друг от друга. Последовательность аминокислот в полипептидной цепи принято называть первичной структурой белка.

Однако молекулы белка в виде цепи аминокислот, последовательно соединенных между собой пептидными связями, еще не способны выполнять специфические функции. Для этого необходима более высокая структурная организация. Путем образования водородных связей между остатками карбоксильных и аминогрупп разных аминокислот, белковая молекула принимает вид спирали. Это вторичная структура белка. Но ее часто недостаточно для приобретения характерной активности. Только молекула, обладающая третичной структурой, может выполнять роль катализатора - или любую другую. Третичная структура образуется благодаря взаимодействию радикалов, в частности радикалов аминокислоты цистеина, которые содержат серу.

Атомы серы двух аминокислот, находящихся на некотором расстоянии друг от друга в полипептидной цепи, соединяются, образуя так называемые дисульфидные, или S-S, связи. Благодаря этим взаимодействиям, а также другим, менее сильным связям, белковая спираль сворачивается и принимает форму шарика, или глобулы, которые называют третичной структурой белка. Многие белки, обладающие третичной структурой, могут выполнять свою биологическую функцию в клетке. Однако для некоторых функций организма требуется участие белков с еще более высоким уровнем организации. Такая организация называется четвертичной структурой. Она представляет собой функциональное объединение нескольких (двух, трех и более) молекул белка с третичной организацией.

Пример такого сложного белка - гемоглобин. Его молекула состоит из четырех связанных между собой молекул.

Утрата белковой молекулой своей структурной организации называется денатурацией. Денатурация может быть вызвана различными воздействиями, но если при этом первичная структура белка не будет разрушена полностью, то при восстановлении нормальных условий среды полностью воссоздается и структура белка. Это свойство белков широко используется в медицинской и пищевой промышленности (для приготовления медицинских препаратов и т. д.).

Все морфологические, анатомические и функциональные особенности любой клетки и организма в целом определяются структурой специфических белков, входящих в состав клеток. Способность к синтезу только определенных белков является наследственным свойством организмов. Последовательность расположения аминокислот в полипептидной цепочке (первичная структура белка), от которой в конечном итоге зависят и его биологические свойства, определяется последовательностью нуклеидов в молекуле ДНК. От этой первичной структуры зависит пространственная конфигурация белковой молекулы - ее вторичная и третичная структуры. Огромное количество отобранных эволюцией уникальных сочетаний аминокислот воспроизводится путем синтеза нуклеиновых кислот с такой последовательностью азотистых оснований, которая соответствует последовательности аминокислот в белках. Каждой аминокислоте в полипептидной цепочке соответствует комбинация из трех нуклеотидов - триплет.

Таким образом, определенные сочетания нуклеотидов и последовательность их расположения в молекуле ДНК являются генетическим кодом, несущим информацию о структуре белка, его синтезе.

Код включает в себя все возможные сочетания трех (из четырех) азотистых оснований. Таких сочетаний может быть $4 \text{ в } 3 \text{ степени} = 64$, в то время как кодируются только 20 аминокислот.

Код является триплетным, т. е. каждая аминокислота кодируется известным сочетанием из трех расположенных рядом нуклеотидов (кодон). Выяснилось, что код является множественным, или «вырожденным», т. е. одна и та же аминокислота может кодироваться несколькими триплетами (от 2 до 6), в то время как каждый триплет кодирует только одну аминокислоту. Помимо того, код является неперекрывающимся, т. е. один и тот же нуклеотид не может одновременно входить в состав двух соседних триплетов. И, наконец, этот код не имеет запятых. Это значит, что если произойдет выпадение одного нуклеотида, то при считывании генетической информации его место займет ближайший нуклеотид из соседнего кодона, благодаря чему изменится весь порядок считывания. Потому правильное считывание кода с РНК обеспечивается только в том случае, если он считывается со строго определенного пункта. Стартовым кодом в молекуле и РНК являются триплеты АУГ и ГУГ.

Нуклеотидный код универсален для всех живых организмов и вирусов: одинаковые триплеты кодируют одинаковые аминокислоты.

К настоящему времени зашифрованы триплеты для всех аминокислот, входящих в состав природных белков. Например, аминокислота лизин кодируется триплетом ТТТ, валин ЦАА, триптофан - АЦЦ и т. д. Следовательно, зная порядок кодирования, можно установить порядок расположения аминокислот в белке.

В одной молекуле ДНК может быть последовательно закодирована последовательность аминокислот для многих белков.

Функциональный отрезок молекулы ДНК, несущей в себе информацию о структуре одного белка, называется геном. Различают структурные гены, в которых закодирована информация для синтеза структурных и ферментативных белков, и гены с информацией для синтеза т-РНК и р-РНК, и др. Однако ни ДНК в целом, ни ее гены не принимают непосредственного участия в процессе синтеза белковых молекул. К рибосомам, где происходит синтез белков, генетическая информация поступает через посредника - м-РНК. ДНК - м-РНК - белок.

Первым этапом на пути к реализации информации, записанной в цепях ДНК, является ее расшифровка лишь на небольшом ее участке, соответствующем определенному гену. При этом часть двойной спирали ДНК раскручивается, обнажая короткий участок одной из цепей, которая теперь будет служить матрицей для синтеза и-РНК. Затем вдоль этой цепи движется фермент РНК - полимеразы, соединяя между собой нуклеотиды и растущую цепь и-РНК. Транскрипция может протекать одновременно на нескольких генах, расположенных на разных хромосомах. В результате транскрипции образуется и-РНК, последовательность нуклеотидов которой является точной копией последовательности нуклеотидов матрицы одного или группы рядом распо-

ложенных генов. Так, если в молекуле ДНК имеется азотистое основание цитозин, то в РНК - гуанин, и наоборот. В ДНК комплементарной парой является аденин - тимин. Однако в состав РНК вместо тимина входит урацил.

РНК - это копия не всей молекулы ДНК, а только ее части - одного гена или группы рядом лежащих генов, несущих информацию о структуре белков, необходимых для выполнения одной функции. В последнем случае на матрице одной м-РНК будет происходить сборка нескольких отдельных белков. Начало и конец их синтеза определены специальными кодонами. С каждого гена можно снимать теоретически неограниченное число копий - молекул м-РНК. Эти молекулы, несущие ту же информацию, что и гены, входят в цитоплазму и служат матрицей для синтеза белковых молекул. Иными словами, они переносят информацию от места, где она хранится, в место ее реализации, т. е. в рибосомы.

Рибосомы представляют собой сильно гидратированные структуры, легко нанизывающиеся на молекулы м-РНК. Молекулы белка синтезируются с участием еще одной нуклеиновой кислоты - т-РНК, выполняющей роль переносчика аминокислот. Для каждой аминокислоты требуется свой переносчик. Молекулы т-РНК относительно небольшого размера - 70-90 нуклеотидов. Транспортная РНК сложена в структуру, напоминающую лист клевера, вершина которого представляет триплет нуклеотидов, соответствующих определенной аминокислоте (антикодон), а на «черешке» листа имеется участок связывания с этой аминокислотой. Специальный фермент «узнает» антикодон и присоединяет к «черешку» т-РНК «свою» аминокислоту.

Информационная РНК служит посредником между ДНК ядра и рибосомами, где протекает белковый синтез. Транспортные РНК доставляют активированные аминокислоты к рибосомам, где находится определенный участок м-РНК. К нему строго комплементарно присоединяется т-РНК. При этом аминокислота, находящаяся на ее «черешке», оказывается у активного центра рибосомы. Здесь ферментативные системы рибосомы отцепляют ее от т-РНК и присоединяют к предыдущей аминокислоте.

Рибосома удерживает в нужном положении м-РНК, т-РНК и специальные белки (белковые факторы) до тех пор, пока между соседними аминокислотами не образуется пептидная связь. Как только новая аминокислота присоединяется к растущей полипептидной цепи, рибосома перемещается по нити м-РНК на один триплет; молекула т-РНК оказывается вытесненной и выходит из рибосомы, оставив свою аминокислоту. К свободному кодону м-РНК комплементарно присоединяется новая молекула т-РНК и ставит свою аминокислоту точно к концу растущей белковой цепи. Освободившиеся т-РНК переходят в цитоплазму за последующей порцией аминокислот.

С помощью такого механизма шаг за шагом наращивается белковая цепь. Аминокислоты соединяются в ней в строгом соответствии с расположением кодирующих триплетов в цепи молекулы м-РНК. На одной молекуле м-РНК может размещаться несколько рибосом (полисома). Их число определяется длиной м-РНК. На каждой из рибосом такого комплекса одновременно синтезируются молекулы одинаковых белков. Каждое звено биосинтеза катализируется определенными ферментами и снабжается энергией за счет молекулы АТФ.

Активацию аминокислот осуществляют специфические ферменты аминоацил-т-РНК-синтетазы, т. е. для каждой кислоты существует свой фермент.

Механизм активации заключается в том, что фермент одновременно взаимодействует с соответствующей аминокислотой и с АТФ, которая теряет при этом фосфат. Тройной комплекс из фермента, аминокислоты и АТФ называется активированной (богатой энергией) аминокислотой, способной спонтанно образовать пептидную связь, что приводит к синтезу полипептидов. Этот процесс активации - необходимый этап белкового синтеза, поскольку аминокислоты не могут прямо присоединяться к полипептидной связи.

В противоположной части молекулы т-РНК располагается специфический триплет (антикодон), ответственный за прикрепление по принципу комплементарной связи к определенному триплету и-РНК (кодон); отсюда его название - антикодон. Таким образом, именно комплексы аминоацил-т-РНК считывают информацию, закодированную в и-РНК.

Комплекс аминоацил-т-РНК с помощью антикодона присоединяется к кодону и-РНК на малой субъединице рибосомы. Затем к той же рибосоме прикрепляется второй комплекс - в соответствии со следующим кодоном. В рибосоме оказываются две аминокислоты, ориентированные по отношению друг к другу таким образом, что карбоксильная группа одной кислоты оказывается рядом с аминогруппой другой аминокислоты. В результате между ними возникает пептидная связь. Первая т-РНК, освободившись от аминокислоты, покидает рибосому. Далее к образованному пептиду присоединяется третья аминокислота, принесенная в рибосому своей т-РНК, четвертая и т. д. Все это продолжается до тех пор, пока рибосома не дойдет до одного из трех терминирующих кодонов: УАА, УАГ или УГА. После этого синтез белка прекращается.

Таким образом, последовательность кодонов и-РНК определяет последовательность включения аминокислот в цепь белка.

Большое значение имеет участие в этом процессе полисом, что дает возможность молекулам и-РНК последовательно присоединяться к ним и служить матрицей для синтеза нескольких одинаковых молекул белка. После завершения синтеза белка и-РНК под действием ферментов распадается на отдельные нуклеотиды.

Следовательно, роль нуклеиновых кислот в биосинтезе белков заключается в преобразовании генетической информации, представленной в виде последовательности нуклеотидов ДНК, в структуру молекулы и-РНК. Затем происходит синтез белков из аминокислот.

Синтез белковых молекул осуществляется непрерывно и идет с большой скоростью: в одну минуту образуется от 50 до 60 тыс. пептидных связей. Синтез одной молекулы белка длится всего 3-4 с. В результате половина белков нашего тела (всего в нем около 17 кг белка) обновляется за 80 дней. За всю свою жизнь человек обновляет полностью свой белок около 200 раз.

Каждый этап биосинтеза катализируется соответствующими ферментами и снабжается энергией АТФ. Синтезированные белки поступают в каналы эндоплазматической сети, по которой транспортируются в комплекс Гольджи, а затем используются на нужды клетки.

4. Авторегуляция химической активности клетки

В разных участках клетки одновременно происходят разнообразные биохимические процессы. Они осуществляются на основе авторегуляции (саморегуляции) по принципу «отрицательной обратной связи». Она заключается в том, что ускоряющийся процесс тормозится своими производными, а замедляющийся - ускоряется ими. Например, если какого-то определенного белка достаточно количество в клетке, то его дальнейшему синтезу препятствует сам факт его присутствия. Пока он существует в клетке, он химически воздействует на белки-ферменты, принимающие участие в его синтезе, как тормоз. Ферменты временно перестают действовать. Синтез приостанавливается.

Но вот белок израсходован, и его тормозящее действие на фермент исчезает. Синтез белка вновь возобновляется. Это же правило распространяется и на синтез ферментов, регулирующих содержание других веществ клетки. Благодаря саморегуляции, качество структурных белков, белков ферментов, АТФ и других веществ поддерживается в клетке на постоянном уровне. Столь совершенная регуляция достигнута в процессе длительной эволюции.

Локальное разрушение плазматической мембраны служит сигналом, запускающим процесс синтеза «строительного материала» - структурных белков и липидов; восстановление структуры мембраны прекращает интенсивный синтез этих веществ. Повышение концентрации глюкозы в крови приводит к усилению выработки гормона поджелудочной железы - инсулина, уменьшающего содержание сахара в крови. После снижения уровня глюкозы в крови происходит замедленное выделение гормона.

5. Энергетический обмен (диссимиляция)

Процессом, противоположным синтезу, является диссимиляция - совокупность реакций расщепления. При расщеплении высокомолекулярных соединений выделяется энергия, необходимая для реакции биосинтеза. Поэтому диссимиляцию называют еще энергетическим обменом клетки.

Химическая реакция питательных веществ заключена в различных ковалентных связях между атомами в молекуле органических соединений, поэтому она не может быть непосредственно использована клеткой для осуществления всех жизненно важных процессов. Для этого потенциальной энергии органических молекул необходимо придать более активную, мобильную форму. Это достигается путем расщепления богатых энергией соединений - углеводов, липидов, белков и других - с последующим запасанием выделившейся при этом энергии в молекулах специфических химических веществ, выполняющих роль аккумуляторов энергии (например, АТФ).

Распад органических веществ происходит в процессе их окисления и осуществляется в митохондриях. Распад без доступа кислорода называется брожением, при участии кислорода (аэробный процесс) - дыханием. В результате процессов брожения органический материал распадается на более простые, богатые энергией органические продукты (молочная кислота, этиловый спирт и др.). При дыхании происходит полное расщепление органических веществ на бедные энергией конечные продукты (CO_2 и H_2O) с высвобождением значительного количества энергии. Выделившаяся в обоих процессах энергия запасается в форме макроэргитических связей АТФ и может быть легко мобилизована клеткой.

Запасенная в молекулах АТФ энергия переносится вместе с отщепляющейся фосфорной кислотой на другие соединения. Это происходит, например, при разрыве такой химической связи, как пептидная, когда освобождается около 12 кДж на 1 моль. В глюкозе количество потенциальной энергии, заключенной в связях между атомами С, Н и О, составляет 2800 кДж на 1 моль (т. е. 180 г глюкозы). При расщеплении глюкозы энергия выделяется поэтапно, при участии ряда ферментов, согласно итоговому уравнению:



Часть энергии, освобождаемой из питательных веществ, рассеивается в форме теплоты, а часть аккумулируется, т. е. накапливается в богатых энергией фосфатных связях АТФ. Именно АТФ обеспечивает энергией все виды клеточных функций: биосинтез, механическую работу (деление клетки, сокращение мышц),

активный перенос вещества через мембраны, поддержание мембранного потенциала в процессе проведения нервного импульса, выделение различных секретов.

Молекула АТФ состоит из азотистого основания аденина, сахара рибозы и трех остатков фосфорной кислоты.

Аденин, рибоза и первый фосфат образуют аденозинмонофосфат (АМФ). Если к первому фосфату присоединяется второй, получается аденозиндифосфат (АДФ). Молекула с тремя остатками фосфорной кислоты (АТФ) наиболее энергоемка.

Отщепление концевого фосфата АТФ сопровождается выделением 40 кДж вместо 12 кДж, выделяемых при разрыве обычных химических связей. Благодаря богатым энергией связям в молекулах АТФ, клетка может накапливать большое количество энергии в очень маленьком пространстве и расходовать ее по мере необходимости. Синтез АТФ осуществляется в митохондриях, отсюда молекулы АТФ поступают в разные участки клетки, обеспечивая энергией процессы жизнедеятельности.

6. Этапы энергетического обмена

Энергетический обмен делится на три этапа.

Первый этап - подготовительный. На этом этапе молекулы ди- и полисахаридов, жиров, белков распадаются на мелкие молекулы - глюкозу, глицерин и жирные кислоты, аминокислоты; крупные молекулы нуклеиновых кислот - на нуклеотиды. На этом этапе выделяется небольшое количество энергии, которое рассеивается в виде теплоты.

Второй этап - бескислородный, или неполный. Он называется также анаэробным дыханием, или брожением. Образовавшиеся на подготовительном этапе вещества подвергаются дальнейшему ферментативному расщеплению без участия кислорода. Примером может служить гликолиз - многоступенчатый процесс расщепления глюкозы в анаэробных условиях до пировиноградной кислоты (ПВК), а затем до молочной, уксусной, масляной кислот или этилового спирта, происходящий в цитоплазме клетки. Переносчиком электронов в этих окислительно-восстановительных реакциях служит никотинамидадениндинуклеотид (НАД) и его восстановленная форма НАД•Н.

Если гликолиз осуществляется в клетках животных, шестиуглеродная молекула глюкозы распадается на две молекулы молочной кислоты. Процесс этот многоступенчатый. Его последовательно осуществляют 13 ферментов. При спиртовом брожении из молекулы глюкозы образуются две молекулы этанола CO_2 . Гликолиз - фаза, общая для анаэробного и аэробного дыхания, две остальные (окислительное декарбоксилирование, цикл Кребса, иначе - цикл лимонной кислоты и окислительное фосфорилирование - дыхательная цепь) осуществляются лишь в аэробных условиях.

Процесс бескислородного окисления, при котором выделяется и используется лишь часть энергии метаболитов, для анаэробных организмов является конечным. В присутствии же кислорода пировиноградная кислота переходит в митохондрии, где в результате целого ряда последовательных реакций она полностью окисляется аэробным путем до H_2O и CO_2 с одновременным фосфорилированием АДФ и АТФ. При этом две молекулы АТФ дает гликолиз, две - цикл Кребса, 34 - дыхательная цепь. Чистый выход при полном окислении одной молекулы глюкозы до H_2O и CO_2 составляет 38 молекул АТФ. Таким образом, у аэробных организмов окончательный распад органических веществ осуществляется путем окисления их кислородом воздуха до простых неорганических: CO_2 и H_2O .

Процесс этот протекает на кристаллах митохондрий. Это третий этап энергетического обмена - стадия кислородного расщепления, или дыхания. При этом выделяется максимальное количество свободной энергии, значительная часть которой резервируется в молекулах АТФ. Легко видеть, что аэробное окисление в наибольшей степени обеспечивает клетку свободной энергией (около 2600 кДж), больше половины которой (1440 кДж) расходуется на синтез 36 молекул АТФ.

В результате катаболизма в клетке накапливаются богатые энергией молекулы АТФ, а во внешнюю среду выделяется CO_2 и избыточное количество воды. Расщепление в клетке одной молекулы глюкозы до оксида углерода и воды обеспечивает синтез 38 молекул АТФ. Из них в кислородную стадию - 36.

Кислородный процесс, как видим, в 18 раз более эффективен, чем бескислородный. Следовательно, основную роль в обеспечении клетки энергией играет дыхание.