



Большинство организмов получает энергию для жизнедеятельности в ходе клеточного дыхания. Этот процесс включает три этапа: подготовительный, бескислородный и кислородный. В результате клеточного дыхания каждая молекула глюкозы окисляется до CO_2 и H_2O , что сопровождается синтезом 38 молекул АТФ. Некоторые организмы получают энергию в процессе брожения. При этом не используется кислород и не происходит полного окисления глюкозы. Поэтому энергетический выход брожения намного меньше, чем клеточного дыхания: 2 молекулы АТФ на каждую расщепленную молекулу глюкозы. Различают молочнокислое, спиртовое и другие виды брожения.



1. Клеточное дыхание и брожение относятся к процессам катаболизма или анаболизма? Почему?
2. Что представляет собой процесс клеточного дыхания? Охарактеризуйте этапы клеточного дыхания по плану: 1) название этапа; 2) место протекания; 3) исходные вещества; 4) конечные продукты; 5) энергетический выход (количество молекул АТФ, которые синтезируются в ходе этапа).
3. Как протекает процесс молочнокислого брожения? Спиртового? Назовите конечные продукты этих видов брожения. Сколько молекул АТФ синтезируется в ходе брожения при расщеплении одной молекулы глюкозы?
4. Охарактеризуйте практическое значение различных видов брожения.
5. Почему при брожении высвобождается меньше энергии, чем при клеточном дыхании?
- 6*. В чем заключается сходство брожения и клеточного дыхания? Чем брожение отличается от клеточного дыхания?
- 7*. В подготовительный этап клеточного дыхания вступает 81 г гликогена. Какое максимальное количество АТФ (моль) может синтезироваться в результате последующего гликолиза? В ходе кислородного этапа дыхания?



ИЗУЧЕНИЕ ДЫХАНИЯ СЕМЯН
МОЛОЧНОКИСЛОЕ БРОЖЕНИЕ
СПИРТОВОЕ БРОЖЕНИЕ



§ 22. Фотосинтез

В отличие от гетеротрофов, которым необходимы готовые органические соединения, автотрофы способны синтезировать их из неорганических веществ. Процессы биосинтеза относятся к пластическому обмену и, следовательно, сопровождаются поглощением энергии. Из курса биологии 10-го класса вам известно, что некоторые бактерии (железобактерии, бесцветные серобактерии, нитрифицирующие, водородные) для образования органических

соединений используют энергию, которая выделяется при окислении неорганических веществ. Такие организмы называются *хемоавтотрофами*. Однако большинство автотрофных организмов использует для этого энергию света. Они составляют группу *фотоавтотрофов*.

Понятие фотосинтеза. К фотоавтотрофам относятся зеленые растения, водоросли, цианобактерии и др. В процессе фотосинтеза с помощью специальных пигментов они поглощают световую энергию и преобразуют ее в энергию химических связей органических веществ. Исходным материалом для синтеза органических соединений являются такие неорганические вещества, как углекислый газ и вода. Таким образом, **фотосинтез** — это процесс образования органических веществ из углекислого газа и воды, протекающий с поглощением энергии света при участии фотосинтетических пигментов.

Фотосинтетические пигменты и их локализация. Фотосинтетические пигменты растений и большинства водорослей представлены зелеными *хлорофиллами* и *каротиноидами*, которые обычно имеют желтую или оранжевую окраску. Красные водоросли и цианобактерии, кроме того, обладают дополнительными пигментами, окрашенными в красный или синий цвет.



Как вы знаете, у растений и водорослей фотосинтез происходит в хлоропластах, внутренняя мембрана которых образует уплотненные мешочки — тилакоиды. В мембранах тилакоидов расположены особые пигмент-белковые комплексы — *фотосистемы*.

Известно два вида фотосистем: фотосистема I (ФС I) и фотосистема II (ФС II). В состав каждой из них входит *светособирающая антенна*, образованная молекулами пигментов, *реакционный центр* и *переносчики электронов* (рис. 57). Пигменты, входящие в состав светособирающей антенны, поглощают свет и передают всю собранную

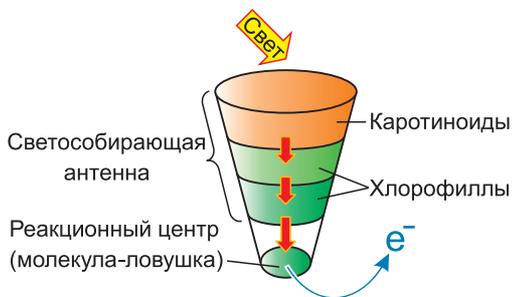
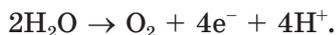


Рис. 57. Схема строения и работы фотосистемы

энергию в реакционный центр. Он представлен особой молекулой хлорофилла — так называемой молекулой-ловушкой. Поглотив энергию, молекула-ловушка переходит в возбужденное состояние и отдает один из своих электронов специальному переносчику, а сама при этом окисляется.

Главное различие между фотосистемами заключается в том, что в состав ФС II входит особый ферментный комплекс,

осуществляющий на свету *фотолиз воды* — расщепление молекул воды с образованием кислорода (O_2), электронов (e^-) и протонов (H^+):



Полученные при этом электроны ФС II использует для восстановления своей молекулы-ловушки. В ФС I отсутствует подобный ферментный комплекс, и, следовательно, она не способна использовать воду в качестве источника электронов для восстановления молекулы-ловушки.

Процесс фотосинтеза можно разделить на две фазы — **световую** и **темновую** (рис. 58). Световая фаза осуществляется на мембранах тилакоидов и только при наличии света. Реакции темновой фазы протекают в строме хлоропласта и не требуют света, однако для них необходимы продукты световой фазы. Поэтому темновая фаза происходит практически одновременно со световой.

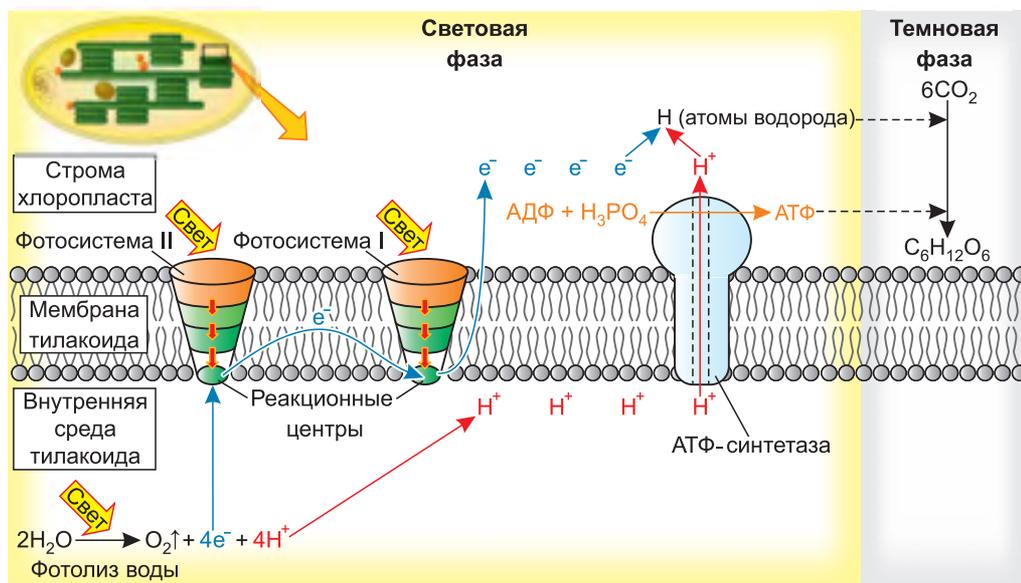


Рис. 58. Схема процессов, протекающих в световой и темновой фазах фотосинтеза

Световая фаза фотосинтеза. Процессы, протекающие в световой фазе, можно представить следующим образом.

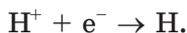
1. Пигменты обеих фотосистем поглощают свет. Полученная энергия передается в реакционные центры на молекулы-ловушки, которые переходят в возбужденное состояние и отдают электроны переносчикам.

Электрон из ФС I транспортируется переносчиками на внешнюю сторону тилакоида. Электрон из ФС II с помощью переносчиков доставляется в ФС I и восстанавливает молекулу-ловушку этой фотосистемы. ФС II, как вы уже знаете, восстанавливает свою молекулу-ловушку за счет электронов, полученных при фотолизе воды.

Кислород, который образуется при фотолизе воды, выделяется из хлоропласта в гиалоплазму клетки, затем в окружающую среду, а протоны (H^+) накапливаются внутри тилакоида.

2. Накопление протонов внутри тилакоида ведет к возникновению на его мембране так называемого *электрохимического потенциала*. В мембране тилакоида содержится *АТФ-синтетаза* — ферментный комплекс, предназначенный для синтеза АТФ. Когда концентрация протонов достигает определенного уровня, они устремляются в строму хлоропласта, проходя через специальные каналы АТФ-синтетазы. При этом АТФ-синтетаза использует энергию движения протонов для *синтеза АТФ*.

3. На внешней стороне тилакоида протоны соединяются с электронами:



Образовавшиеся атомы водорода присоединяет вещество-переносчик. По структуре оно сходно с веществом, которое транспортирует атомы водорода в процессе клеточного дыхания.

Таким образом, в ходе световой фазы энергия света поглощается и преобразуется в энергию макроэргических связей АТФ, происходит расщепление воды с выделением кислорода и накопление атомов водорода. Продуктами световой фазы фотосинтеза являются АТФ, *атомы водорода* и *кислород*. Кислород — побочный продукт фотосинтеза, он выделяется в окружающую среду. АТФ и атомы водорода используются в темновой фазе фотосинтеза.



Темновая фаза фотосинтеза. Из окружающей среды в хлоропласты поступает *углекислый газ*. В строме хлоропластов происходит его восстановление до органических веществ. При этом образуется основной продукт фотосинтеза — *глюкоза*.

В процессе синтеза глюкозы из CO_2 используются продукты световой фазы — атомы водорода, доставленные переносчиком, и АТФ (поставщик энергии). Для образования одной молекулы глюкозы необходимо расщепить **18 молекул АТФ**. Следовательно, в темновой фазе фотосинтеза энергия макроэргических связей АТФ преобразуется в энергию химических связей органических веществ.



Если объединить процессы, протекающие в световой и темновой фазах, исключив промежуточные продукты, и расставить коэффициенты, можно получить суммарное уравнение фотосинтеза (рис. 59).

Значение фотосинтеза.

Главным источником энергии, обуславливающим существование жизни на нашей планете, является солнечный свет. Благодаря фотосинтезу энергия Солнца становится доступной для использования всеми живыми организмами Земли (за исключением хемоавтотрофов). Фотосинтез играет важнейшую роль в биосферном круговороте углерода, обеспечивая его включение в состав органических соединений. Вещества, синтезированные фотоавтотрофами, используются ими и гетеротрофами не только в качестве источника энергии. Они также служат материалом для построения и обновления клеток и внеклеточных структур живых организмов.

Благодаря фотосинтезу поддерживается относительно постоянное содержание кислорода и углекислого газа в атмосфере Земли. Обеспечивая связывание CO_2 , фотосинтез препятствует развитию парникового эффекта. Известно, что большая часть кислорода атмосферы имеет биогенное происхождение и является побочным продуктом фотосинтеза. Как вы знаете из курса биологии 10-го класса, именно этот процесс, возникший, по оценкам ученых, более 3 млрд лет назад, сделал возможным появление и дальнейшее развитие аэробных организмов. Со временем из кислорода сформировался озоновый экран, защищающий обитателей нашей планеты от губительного воздействия коротковолнового ультрафиолетового излучения.

Таким образом, все живое на Земле обязано своим существованием фотосинтезу. А человечество зависит от этого процесса еще и потому, что использует для различных нужд энергию, которая в течение миллионов лет запасалась в полезных ископаемых, образовавшихся из органических веществ древних организмов. Примерами таких ископаемых могут служить каменный уголь, нефть, горючие сланцы и т. д.

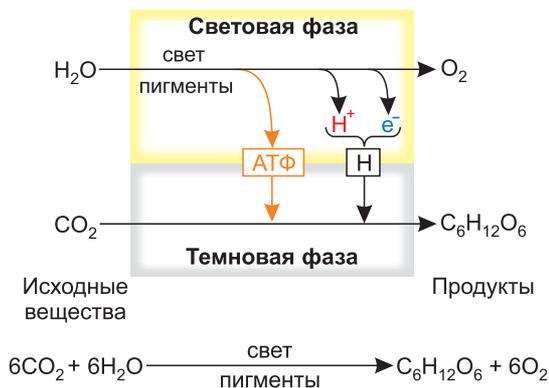


Рис. 59. Общая схема и суммарное уравнение фотосинтеза



Фотосинтез — процесс образования органических веществ из углекислого газа и воды, который происходит с поглощением световой энергии при участии фотосинтетических пигментов. У растений и водорослей фотосинтез протекает в хлоропластах: световая фаза — на мембранах тилакоидов и только на свету, темновая — в строме, независимо от наличия света. В световой фазе происходит поглощение света пигментами, фотолиз воды и синтез АТФ. Один из продуктов этой фазы — кислород выделяется в окружающую среду. Другие продукты — АТФ и атомы водорода используются в темновой фазе, в ходе которой происходит восстановление углекислого газа до органических веществ. Суммарное уравнение фотосинтеза таково:



От процесса фотосинтеза прямо или косвенно зависят все живые организмы Земли.



1. Фотосинтез является процессом пластического или энергетического обмена? Почему?
2. В каких органоидах растительной клетки происходит фотосинтез? Что представляет собой фотосистема? Какую функцию выполняют фотосистемы?
3. Охарактеризуйте световую и темновую фазы фотосинтеза по плану: 1) место протекания; 2) исходные вещества; 3) происходящие процессы; 4) конечные продукты. Какие продукты световой фазы фотосинтеза используются в темновой фазе?
4. Докажите справедливость утверждения: «От фотосинтеза непосредственно или косвенно зависит все живое на Земле».
- 5*. Сравните по различным признакам процессы фотосинтеза и аэробного дыхания. Укажите черты сходства и различия.
- 6*. Человек за сутки потребляет примерно 430 г кислорода. Дерево средней величины поглощает около 30 кг углекислого газа в год. Сколько деревьев необходимо, чтобы обеспечить одного человека кислородом на год?
- 7*. Исследователи разделили растения пшеницы на две группы и выращивали их в лаборатории в одинаковых условиях, за исключением того, что растения первой группы освещали красным светом, а растения второй группы — зеленым. У растений какой группы процесс фотосинтеза протекал более интенсивно? Как вы думаете, с чем это связано?



ИЗУЧЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ КРАХМАЛА В ЛИСТЬЯХ НА СВЕТУ

