

Задание:

1. Изучить параграф 11 (устно).

2. Ответить письменно на вопросы после параграфа. Ответы выслать в Л.С. Ватсап. Будет оценка!

держающих соединений. Клубеньковые бактерии и бобовые растения нужны друг другу. Совместное взаимовыгодное существование разных видов организмов называют *симбиозом*.

К синтезу органических веществ из неорганических, кроме фотоавтотрофов, способны и некоторые бактерии (водородные, нитрифицирующие, серобактерии и др.). Они осуществляют этот синтез за счет энергии, выделяющейся при окислении неорганических веществ. Их называют *хемоавтотрофами*. Процесс *хемосинтеза* был открыт в 1887 г. русским микробиологом С. Н. Виноградским.

Все живые существа нашей планеты, неспособные синтезировать органические вещества из неорганических соединений, называют *гетеротрофами*. Все животные и человек живут за счет запасенной растениями энергии Солнца, превращенной в энергию химических связей вновь синтезированных органических соединений.

Следует отметить, что и фотосинтезирующие и хемосинтезирующие организмы также способны получать энергию благодаря окислению органических веществ. Однако гетеротрофы получают эти вещества извне готовыми, а автотрофы синтезируют их из неорганических соединений.

Фотосинтезирующие клетки, поглощая углекислый газ из атмосферы, выделяют в нее кислород. До появления на нашей планете фотосинтезирующих клеток атмосфера Земли была лишена кислорода. С появлением фотосинтезирующих организмов постепенное наполнение атмосферы кислородом привело к возникновению клеток с энергетическим аппаратом нового типа. Это были клетки, производящие энергию за счет окисления готовых органических соединений, главным образом углеводов и жиров, при участии атмосферного кислорода в качестве окислителя. При окислении органических соединений высвобождается энергия.

В результате насыщения атмосферы кислородом возникли аэробные клетки, способные использовать кислород для получения энергии.

§ 11. Фотосинтез. Преобразование энергии света в энергию химических связей

Первые клетки, способные использовать энергию солнечного света, появились на Земле примерно 4 млрд лет тому назад в архейскую эру. Это были цианобактерии (от греч. «цианос» — синий). Их окаменелые остатки были найдены в слоях сланцев, относящихся к этому периоду в истории Земли. Потребовалось еще около 1,5 млрд лет для насыщения атмосферы Земли кислородом и возникновения аэробных клеток.

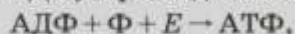
Очевидно, что роль растений и иных фотосинтезирующих организмов в развитии и поддержании жизни на нашей планете исключительно велика: они превращают энергию солнечного света в энергию химических связей органических соединений, которая далее используется всеми остальными живыми существами; они насыщают

атмосферу Земли кислородом, который служит для окисления органических веществ и извлечения таким способом запасенной в них химической энергии азробными клетками; наконец, определенные виды растений в симбиозе с азотфиксирующими бактериями вводят газообразный азот атмосферы в состав молекул аммиака, его солей и органических азотсодержащих соединений.

Роль зеленых растений в планетарной жизни трудно переоценить. Сохранение и расширение зеленого покрова Земли имеет решающее значение для всех живых существ, населяющих нашу планету.

Запасание энергии света в биологических «аккумуляторах». Поток солнечных лучей несет волны света разной длины. Растения с помощью световых «антенн» (это главным образом молекулы хлорофилла) поглощают волны света красной и синей частей спектра. Волны света зеленой части спектра хлорофилл пропускает не задерживая, и поэтому у растений зеленый цвет.

С помощью энергии света электрон в составе молекулы хлорофилла переносится на более высокий энергетический уровень. Далее этот высокоэнергетический электрон, как по ступенькам, перескакивает по цепи переносчиков электронов, теряя энергию. Энергия электронов при этом расходуется на «зарядку» своего рода биологических «аккумуляторов». Не углубляясь в химические особенности их строения, скажем, что один из них — аденозинтрифосфорная кислота, которую называют также аденозинтрифосфатом (сокращенно — АТФ). Как уже говорилось в § 6, в АТФ содержатся связанные между собой три остатка фосфорной кислоты, которые присоединены к аденозину. Схематически АТФ можно описать формулой: аденозин—Ф—Ф—Ф, где Ф — остаток фосфорной кислоты. В химической связи между вторым и третьим конечным фосфатом запасается энергия, которую отдает электрон (такая особая химическая связь изображена волнистой линией). Это происходит в результате того, что при передаче электроном своей энергии к аденозиндифосфату (аденозин—Ф—Ф, АДФ) присоединяется еще один фосфат:



где E — энергия электрона, которая запасается в АТФ. При расщеплении АТФ ферментом аденозинтрифосфатазой (АТФ-азой) конечной фосфат отщепляется и освобождается энергия:



В растительной клетке энергия АТФ используется для транспорта воды и солей, для деления клеток, роста и движения (вспомните, как поворачивается вслед за Солнцем головка подсолнуха).

Энергия АТФ необходима для синтеза в растениях молекул глюкозы, крахмала, целлюлозы и иных органических соединений. Однако для синтеза в растениях органических веществ необходим еще один биологический «аккумулятор», запасующий энергию света. Этот аккумулятор имеет труднопроизносимое длинное название: никотинамидадениндинуклеотидфосфат (сокращенно — НАДФ, произносится

как «над-эф»). Это соединение существует в восстановленной высокоэнергетической форме: НАДФ·Н (произносится как «над-эф-аш»).

Потерявшая энергию окисленная форма этого соединения представляет собой НАДФ⁺ (произносится как «над-эф-плюс»). Теряя один атом водорода и один электрон, НАДФ·Н превращается в НАДФ⁺ и восстанавливает углекислый газ (при участии молекул воды) до глюкозы C₆H₁₂O₆; недостающие протоны (H⁺) берутся из водной среды. В упрощенной форме этот процесс можно записать в виде химического уравнения:



Однако при смешивании углекислого газа и воды глюкоза не образуется. Для этого нужна не только восстанавливающая сила НАДФ·Н, но и энергия АТФ и соединение, связывающее CO₂, которое используется на промежуточных этапах синтеза глюкозы, а также ряд ферментов — биологических катализаторов этого процесса.

Фотолиз воды. Каким образом в ходе фотосинтеза образуется кислород? Дело в том, что энергия света расходуется также на расщепление молекулы воды — *фотолиз*. При этом образуются протоны (H⁺), электроны (e⁻) и свободный кислород:



Электроны, образующиеся при фотолизе, восполняют потери их хлорофиллом (как говорят, заполняют «дырку», возникшую в хлорофилле). Часть электронов при участии протонов восстанавливает НАДФ⁺ до НАДФ·Н. Кислород — побочный продукт этой реакции (рис. 19). Как видно из суммарного уравнения фотосинтеза глюкозы, при этом выделяется кислород.

Когда растения используют энергию солнечного света, кислород им не нужен. Однако в отсутствие солнечного освещения растения становятся аэробами. В ночной темноте они потребляют кислород и окисляют запасенные днем глюкозу, фруктозу, крахмал и другие соединения, уподобляясь в этом животным.

Световая и темновая фазы фотосинтеза. В процессе фотосинтеза различают световую и темновую фазы. При освещении растений энергия света преобразуется в энергию химических связей АТФ и НАДФ·Н. Энергия этих соединений легко освобождается и используется внутри клетки растения для разных целей, в первую очередь для синтеза глюкозы и иных органических соединений. Поэтому такую начальную стадию фотосинтеза называют *световой фазой*. Без освещения солнечным или искусственным светом, в спектре которого есть красные и синие лучи, синтез АТФ и НАДФ·Н в клетке растения не происходит. Однако, когда в растительной клетке уже накопились молекулы АТФ и НАДФ·Н, синтез глюкозы может происходить и в темноте, без участия света. Для этих биохимических реакций освещение не нужно, поскольку они уже обеспечены энергией света, запасенной в биологических «аккумуляторах». Эту стадию фотосинтеза называют *темновой фазой*.

Все реакции фотосинтеза происходят в хлоропластах — утолщенных овальных или круглых образованиях, расположенных в цитоплазме растительной клетки (кратко о хлоропластах уже говорилось в § 9). В каждой клетке находится 40—50 хлоропластов. Хлоропласты ограничены снаружи двойной мембраной, а внутри их размещаются тонкие плоские мешочки — *тилакоиды*, также ограниченные мембранами. В тилакоидах находятся хлорофилл, переносчики электронов и все ферменты, участвующие в световой фазе фотосинтеза, а также АДФ, АТФ, НАДФ⁺ и НАДФ·Н. Десятки тилакоидов плотно уложены в стопки, которые называют *гранами*. Во внутреннем пространстве между гранами — в строме хлоропластов — размещаются ферменты, участвующие в восстановлении CO₂ до глюкозы за счет энергии продуктов световой фазы фотосинтеза — АТФ и НАДФ·Н. Следовательно, в строме происходят реакции темновой фазы фотосинтеза, тесно связанные со световой фазой, которая разворачивается в тилакоидах. Световая и темновая фазы фотосинтеза схематически изображены на рисунке 19.

Хлоропласты имеют свой собственный генетический аппарат — молекулы ДНК и автономно воспроизводятся внутри клеток. Полагают, что более 1,5 млрд лет назад они были свободными микроорганизмами, которые стали симбионтами клеток растений.

- 1. Объясните, почему мы говорим, что энергию для жизни на Земле изначально поставляет Солнце.
- 2. Объясните, почему в процессе фотосинтеза используются углекислый газ и вода, и укажите, что служит источником побочного продукта фотосинтеза, т. е. кислорода.
- ▶ 3. Как связаны между собой проблемы фотосинтеза и обеспечения продовольствием населения Земли?
- ▶ 4. Почему при фотосинтезе энергия падающего на лист солнечного света переходит в энергию, запасенную в органических соединениях, с эффективностью всего около 1%? Какова судьба остальной энергии?
- ▶ 5. Заполните таблицу.

Фотосинтез

Фазы фотосинтеза	Процессы, происходящие в этой фазе	Результаты процессов
Световая		
Темновая		