

Растения превращают солнечный свет в запасенную химическую энергию в два этапа: сначала они улавливают энергию солнечного света, а затем используют ее для связывания углерода с образованием органических молекул.

Зеленые растения — биологи называют их *автотрофами* — основа жизни на планете. С растений начинаются практически все пищевые цепи. Они превращают энергию, падающую на них в форме солнечного света, в энергию, запасенную в углеводах (*см.*

Биологические молекулы), из которых важнее всего шестиуглеродный сахар глюкоза. Этот процесс преобразования энергии называется фотосинтезом. Другие живые организмы получают доступ к этой энергии, поедая растения. Так создается пищевая цепь, поддерживающая планетарную экосистему.

Кроме того, воздух, которым мы дышим, благодаря фотосинтезу насыщается кислородом. Суммарное уравнение фотосинтеза выглядит так:

вода + углекислый газ + свет → углеводы + кислород

Растения поглощают углекислый газ, образовавшийся при дыхании, и выделяют кислород — продукт жизнедеятельности растений (*см.* Гликолиз и дыхание). К тому же, фотосинтез играет важнейшую роль в круговороте углерода в природе.

Кажется удивительным, что при всей важности фотосинтеза ученые так долго не приступали к его изучению. После эксперимента Ван Гельмонта, поставленного в XVII веке, наступило затишье, и лишь в 1905 году английский физиолог растений Фредерик Блэкман (Frederick Blackman, 1866–1947) провел исследования и установил основные процессы фотосинтеза. Он показал, что фотосинтез начинается при слабом освещении, что скорость фотосинтеза возрастает с увеличением светового потока, но, начиная с определенного уровня, дальнейшее усиление освещения уже не приводит к повышению активности фотосинтеза. Блэкман показал, что повышение температуры при слабом освещении не влияет на скорость фотосинтеза, но при одновременном повышении температуры и освещения скорость фотосинтеза возрастает значительно больше, чем при одном лишь усилении освещения.

На основании этих экспериментов Блэкман заключил, что происходят два процесса: один из них в значительной степени зависит от уровня освещения, но не от

температуры, тогда как второй сильно определяется температурой независимо от уровня света. Это озарение легло в основу современных представлений о фотосинтезе. Два процесса иногда называют «световой» и «темновой» реакцией, что не вполне корректно, поскольку оказалось, что, хотя реакции «темновой» фазы идут и в отсутствие света, для них необходимы продукты «световой» фазы.

Фотосинтез начинается с того, что излучаемые солнцем фотоны попадают в особые пигментные молекулы, находящиеся в листе, — молекулы *хлорофилла*. Хлорофилл содержится в клетках листа, в мембранах клеточных органелл

хлоропластов

(именно они придают листу зеленую окраску). Процесс улавливания энергии состоит из двух этапов и осуществляется в отдельных кластерах молекул — эти кластеры принято называть

Фотосистемой I

и

Фотосистемой II

. Номера кластеров отражают порядок, в котором эти процессы были открыты, и это одна из забавных научных странностей, поскольку в листе сначала происходят реакции в Фотосистеме II, и лишь затем — в Фотосистеме I.

Когда фотон сталкивается с 250-400 молекулами Фотосистемы II, энергия скачкообразно возрастает и передается на молекулу хлорофилла. В этот момент происходят две химические реакции: молекула хлорофилла теряет два электрона (которые принимает другая молекула, называемая акцептором электронов) и расщепляется молекула воды. Электроны двух атомов водорода, входивших в молекулу воды, возмещают два потерянных хлорофиллом электрона.

После этого высокоэнергетический («быстрый») электрон перекидывают друг другу, как горячую картофелину, собранные в цепочку молекулярные переносчики. При этом часть энергии идет на образование молекулы аденозинтрифосфата (АТФ), одного из основных переносчиков энергии в клетке (см. Биологические молекулы). Тем временем немного другая молекула хлорофилла Фотосистемы I поглощает энергию фотона и отдает электрон другой молекуле-акцептору. Этот электрон замещается в хлорофилле электроном, прибывшим по цепи переносчиков из Фотосистемы II. Энергия электрона из Фотосистемы I и ионы водорода, образовавшиеся ранее при расщеплении молекулы воды, идут на образование НАДФ-Н, другой молекулы-переносчика.

В результате процесса улавливания света энергия двух фотонов запасается в

молекулах, используемых клеткой для осуществления реакций, и дополнительно образуется одна молекула кислорода. (Отмечу, что в результате еще одного, значительно менее эффективного процесса с участием одной лишь Фотосистемы I, также образуются молекулы АТФ.) После того как солнечная энергия поглощена и запасена, наступает очередь образования углеводов. Основным механизмом синтеза углеводов в растениях был открыт Мелвином Калвином, проделавшим в 1940-е годы серию экспериментов, ставших уже классическими. Калвин и его сотрудники выращивали водоросль в присутствии углекислого газа, содержащего радиоактивный углерод-14. Им удалось установить химические реакции темновой фазы, прерывая фотосинтез на разных стадиях.

Цикл превращения солнечной энергии в углеводы — так называемый цикл Калвина — сходен с циклом Кребса (см. Гликолиз и дыхание): он тоже состоит из серии химических реакций, которые начинаются с соединения входящей молекулы с молекулой-«помощником» с последующей инициацией других химических реакций. Эти реакции приводят к образованию конечного продукта и одновременно воспроизводят молекулу-«помощника», и цикл начинается вновь. В цикле Калвина роль такой молекулы-«помощника» выполняет пятиуглеродный сахар рибулозодифосфат (РДФ). Цикл Калвина начинается с того, что молекулы углекислого газа соединяются с РДФ. За счет энергии солнечного света, запасенной в форме АТФ и НАДФ-Н, сначала происходят химические реакции связывания углерода с образованием углеводов, а затем — реакции воссоздания рибулозодифосфата. На шести витках цикла шесть атомов углерода включаются в молекулы предшественников глюкозы и других углеводов. Этот цикл химических реакций будет продолжаться до тех пор, пока поступает энергия. Благодаря этому циклу энергия солнечного света становится доступной живым организмам.

В большинстве растений осуществляется описанный выше цикл Калвина, в котором углекислый газ, непосредственно участвуя в реакциях, связывается с рибулозодифосфатом. Эти растения называются C_3 -растениями, поскольку комплекс «углекислый газ—рибулозодифосфат» расщепляется на две молекулы меньшего размера, каждая из которых состоит из трех атомов углерода. У некоторых растений (например, у кукурузы и сахарного тростника, а также у многих тропических трав, включая ползучий сорняк) цикл осуществляется по-другому. Дело в том, что углекислый газ в норме проникает через отверстия в поверхности листа, называемые *устьицами*

. При высоких температурах устьица закрываются, защищая растение от чрезмерной потери влаги. В C_3

з

-растения при закрытых устьицах прекращается и поступление углекислого газа, что приводит к замедлению фотосинтеза и изменению фотосинтетических реакций. В случае же кукурузы углекислый газ присоединяется к трехуглеродной молекуле на

поверхности листа, затем переносится во внутренние участки листа, где углекислый газ высвобождается и начинается цикл Калвина. Благодаря этому довольно сложному процессу фотосинтез у кукурузы осуществляется даже в очень жаркую, сухую погоду. Растения, в которых происходит такой процесс, мы называем С

4
-растениями, поскольку углекислый газ в начале цикла транспортируется в составе четырехуглеродной молекулы. С

3
-растения — это в основном растения умеренного климата, а С

4
-растения в основном произрастают в тропиках.