на), а также ферменты, участвующие в фиксации диоксида углерода.

Внутренняя мембрана образует утол­щенные замкнутые впячивания — ти- лакоиды, которые имеют форму дис­ков. Несколько таких тилакоидов, лежа­щих друг над другом, образуют грану, и в этом случае они называются тилако- идами гран.

Другие тилакоиды, связывающие между собой граны или не контактирую­щие с ними, называются тилакоидами с т р о м ы . Именно в мембранах тилакои­дов локализованы светочувствительные зеленые (хлорофиллы) и желтые (каро- тиноиды) пигменты, а также переносчики электронов и протонов, которые участву­ют в поглощении и преобразовании энер­гии света. Биохимические системы синте­за и превращения углеводов функциони­руют в строме хлоропластов. В ней же от­кладывается запасной крахмал.

В зависимости от степени освещен­ности хлоропласты перемещаются в тол­ще цитоплазмы таким образом, чтобы слабый свет воздействовал на возможно большую фотосинтезирующую повер­хность (усиление фотосинтеза), а силь­ный — на минимальную (защита от раз­рушительного действия прямых солнеч­ных лучей). В последнем случае хлоро­пласты располагаются вдоль клеточных стенок, параллельно световому потоку.

Кроме хлоропластов, в растительных клетках имеются бесцветные пласти­ды — пропластиды, лейкопласты, этиопласты и окрашенные — хромо­пласты (рис. 32). В меристематических тканях присутствуют пропластиды, у ко­торых внутренняя мембрана имеет лишь небольшие впячивания. Если структура пропластид сохраняется в органеллах зрелых клеток, их называют лейкоплас­тами (рис. 33). В лейкопластах отклады­ваются запасные вещества, и названия они получают в зависимости от этих со­единений: если запасается крахмал — амилопласты, если жиры — элайо-

56



Рис. 32. Хромопласты



Рис. 33. Лейкопласты в клетке: 1 — на фоне ядра, 2 — в цитоплазме.

Рис. 34

пласты, белки — протеинопласты. Этиопласты формируются при выращи­вании зеленых растений в темноте. При освещении они превращаются в, хлоро- пласты.

Хромопласты отличаются от других пластид своеобразной формой (дисковид- ной,зубчатой, серповидной,треугольной, ромбической и др.) и окраской. В пузырь­ках стромы они содержат кристалличес­кие каротиноиды, которые и придают им желтую, оранжевую и красную окраску. Их присутствием объясняется окраска плодов и корнеплодов некоторых расте­ний — томатов, рябины, ландыша, ши­повника, моркови, свеклы и др. С хро­мопластами связан также синтез некото­рых витаминов.

Все типы пластид генетически род­ственны друг другу, и одни их виды могут превращаться в другие, как это показано на рисунке 34.

Таким образом, весь процесс взаи­мопревращений пластид можно предста­вить в виде ряда изменений, идущих в од­ном направлении — от пропластид до хромопластов. Последнее рассматрива­

ется как дегенерирующая (конечная) форма.

Фотосинтезирующие пигменты.

Важнейшую роль в фотосинтезе играют фотосинтезирующие пигменты: хлоро- филлы, каротиноиды (каротины, ксантофиллы), а у цианобактерий и красных водорослей еще фикобилины (фикоцианин, фикоэритрин).

Известно около 10 хлорофиллов (а, Ь, с, d, ей др.), которые отличаются друг от друга по химическому строению, окраске, распространению. У всех высших расте­ний содержатся хлорофиллы а и Ь. Хло- рофиллы end обнаружены у ряда водо­рослей и протистов, бактериохло- рофиллы а и b — в клетках фотосинте- зирующих зеленых и пурпурных бак­терий.

Основным пигментом, участвующим в фотохимических реакциях, является хлорофилл а (у бактерий — бактерио- хлорофилл а). По химическому строению хлорофилл — это сложный эфир двухос­новной хлорофиллиновой кислоты и двух остатков спиртов — фитола (С2оН39ОН) и метанола (СН3ОН) (см. с. 58):

на фоне

Рис. 34



57

СООСНз

Mg N4OH30C32

V \

COOC2oH39

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 (хлорофилл d, кароти- ноиды, фикобилины) передают погло­щенную энергию квантов света активным пигментам (хлорофилл а), расширяя тем самым спектр действия фотосинтеза. Та­ким образом, молекула хлорофилла а по­лучает энергию от окружающих ее много­численных молекул других пигментов, выполняя чрезвычайно важную роль ак­тивного (реакционного) центра.

Хлорофиллы поглощают свет в синей и красной областях спектра, каротинои- ды — в синей и сине-зеленой. В зеленой и желтой областях свет высшими расте­ниями почти не поглощается и фотосин­тез не происходит.

Световая фаза фотосинтеза. Про­цесс фотосинтеза представляет собой цепь окислительно-восстановительных реакций, где происходит восстановление углекислого газа до уровня углеводов.

Всю совокупность фотосинтетических реакций принято подразделять на две фа­зы — световую и темповую.

Для световой фазы фотосинтеза ха­рактерно то, что энергия солнечной ради­ации, поглощенная хлоропластами, пре­образуется в электрохимическую. Это достигается путем переноса электронов и ионов водорода с помощью специальных переносчиков через мембрану тилакои- дов. Такой процесс переноса ионов Н+ и электронов получил название хемиос- моса. Выяснен он еще не до конца, но в общих чертах этот процесс можно пред­ставить следующим образом (рис. 35).

При попадании кванта света на моле­кулу хлорофилла один из его электронов поглощает эту энергию и переходит на более высокий энергетический уровень, т. е. оказывается в возбужденном состоя­нии. Возбужденный электрон может пе­рейти в основное состояние, и в этом слу­чае его избыточная энергия может выде­ляться в виде флюоресценции (красное свечение) либо теплоты, или передавать­ся в качестве энергии возбуждения дру­гим молекулам. Кроме того, электрон мо­жет также отрываться от молекулы хло­рофилла. В последнем случае электрон, использовав запас энергии, передается от одного переносчика к другому по элек- тронтранспортной цепи. Переносчиками электрона в этом случае являются слож­ные органические соединения, встроен­ные в мембраны хлоропласта.

Таким образом, при действии света на хлоропласт начинается электронный по­ток по системе переносчиков, встроен­ных в мембраны тилакоидов. С перено­сом электронов по электронтранспор- тной цепи сопряжено поступление прото­нов из стромы внутрь тилакоида. В ре­зультате активного переноса протонов из стромы во внутритилакоидное простран­ство на мембране создается электрохи­мический потенциал водорода (ДцН+), имеющий две составляющие: концентра­ционную ДрН, возникающую в результа­те неравномерного распределения ионов Н+ по разные стороны мембраны, и элек­трохимическую, обусловленную противо­положными зарядами разных сторон мембраны (благодаря накоплению прото­нов с внутренней стороны мембраны на ее внешней стороне скапливаются отри­цательно заряженные частицы). Раз­ность потенциалов на мембранах дости­гает 50 мВ. Соответственно и энергия, накапливаемая на мембране в результате концентрации протонов на одной сторо­не, имеет две составляющие — концен­трационную и электрическую. Чтобы использовать эту энергию, необходимо

58