

ТЕМА 6

ФОТОСИНТЕЗ

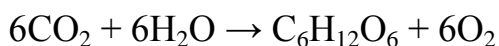
1. Фотосинтез, его сущность и значение ;
2. Лист как орган фотосинтеза ;
3. Механизмы фотосинтеза;
4. Показатели, количественно характеризующие фотосинтез ;
5. Зависимость фотосинтеза от внешних факторов.
6. КПД фотосинтеза и пути его повышения;

Вопрос 1. Фотосинтез, его сущность и значение

Фотосинтез – это сложный окислительно-восстановительный процесс, в ходе которого электромагнитная энергия солнца превращается в энергию химических связей органических соединений.

Из неорганических соединений CO_2 и H_2O с участием хлорофилла и солнечного света образуется органическое вещество и выделяется кислород.

Общее уравнение ф.



Значение фотосинтеза:

1. Ф. создаёт материальную основу жизни на Земле – источник энергии, продуктов питания, корма. 96 % энергии, используемой человеком – энергия Ф. в качестве энергии используются: 1) полезные ископаемые, 2) дрова, 3) продукты питания. (Глобальная чистая продуктивность фотосинтеза составляет $78 \cdot 10^8$ т углерода в год, из которых непосредственно на питание, топливо и строительные материалы используется 7 %).

2. Растения – лёгкие планеты, т.к. в процессе Ф. они поглощают CO_2 и выделяют O_2 . (В ходе ф. в атмосферу поступает 70—120 млрд т O_2 в год, обеспечивающего дыхание всех организмов).

Одним из важнейших последствий выделения кислорода является образование озонового экрана в верхних слоях атмосферы на высоте 25 км. Озон (O_3) образуется в результате фотодиссоциации молекул O_2 под действием солнечной радиации и задерживает большую часть ультрафиолетовых лучей, губительно действующих на все живое.

Существенным фактором фотосинтеза является также стабилизация содержания CO_2 в атмосфере. В настоящее время содержание CO_2 составляет 0,03 % по объему воздуха, или 711 млрд т в пересчете на углерод. Дыхание организмов, Мировой океан, в водах которого растворено в 60 раз больше CO_2 , чем находится в атмосфере, производственная деятельность людей, с одной стороны, фотосинтез — с другой, поддерживают относительно постоянный уровень CO_2 в атмосфере. Диоксид углерода в атмосфере, а также вода поглощают инфракрасные лучи и сохраняют значительное количество теплоты на Земле, обеспечивая необходимые условия жизнедеятельности.

1. Ф. создаёт теоретическую основу продукционного процесса растения – 95 % т урожая – продукты Ф.

2. Образование озонового экрана в атмосфере на высоте 25 км

Вопрос 2. Лист как орган фотосинтеза

2.1 Морфологические особенности листа

1. Плоская структура
2. Небольшая толщина

При ограниченном освещении толщина листовой пластинки меньше. Поверхность листа волнистая, что увеличивает полноту улавливания лучей

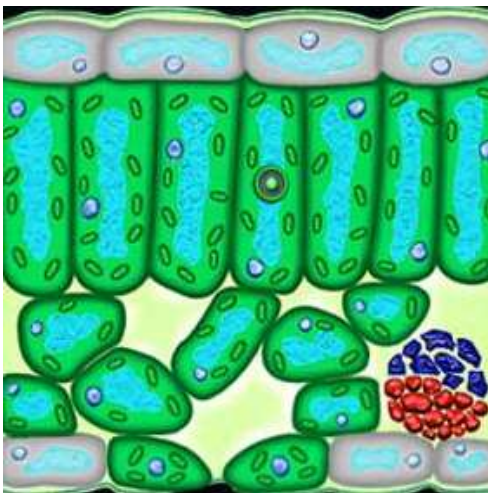
3. Значительная суммарная поверхность листьев на растении

Размеры фотосинтетического аппарата характеризует **индекс листовой поверхности** = площадь листьев (m^2) / $1 m^2$ почвы. ИЛП с\х растений умеренной зоны - 3—5, в южных широтах с влажным климатом до 8—10.

4. Формирование листовой мозаики, архитектоника растения

У высокопродуктивных зерновых культур листья на стебле снизу вверх располагаются под все уменьшающимся углом и не затеняют друг друга.

2.2 Анатомические особенности листа



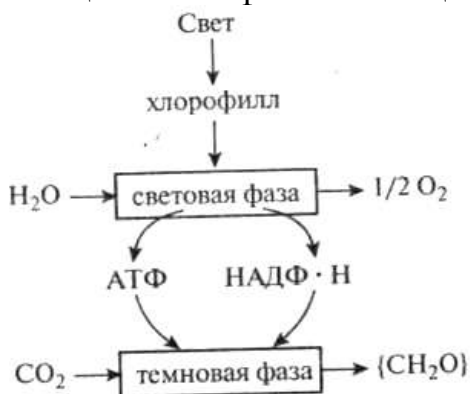
1. Наличие покровной ткани — *эпидермиса*, защищающего лист от излишней потери воды.
2. Наличие специализированной фотосинтетической ткани - *хлоренхимы*.
3. Наличие сильно развитой *проводящей системы* (жилки), что обеспечивает быстрый отток ассимилятов и снабжение клеток водой и необходимыми веществами.
4. Наличие *устьиц* — «ворота» для поступления CO_2 . занимают около 1 % площади листовой пластинки

2.3 Физиологические особенности листа

1. Наличие специализированных фотосинтетических структур – хлоропластов.
2. Постоянный отток углеводов.
3. Круговорот органических и минеральных веществ.

Вопрос 3. Механизмы фотосинтеза

Общая схема фотосинтеза



Сущность **световой фазы** фотосинтеза состоит в поглощении лучистой энергии и ее трансформации в ассимиляционную силу (АТФ и НАДФ·Н), необходимую для восстановления углерода в темновых реакциях. Сложность процессов преобразования световой энергии в химическую требует их строгой мембранной организации. Световая фаза фотосинтеза происходит в гранах хлоропласта.

В состав фотохимически активных мембран хлоропластов входят пять согласованно функционирующих многокомпонентных белковых комплексов: светособирающий комплекс, фотосистемы I и II, цитохромный комплекс (цитохромы *b₆* и *f*), участвующий в транспорте электронов, и АТФ-азный комплекс, обеспечивающий синтез АТФ.

Световая фаза включает следующие этапы:

1. Поглощение кванта света и возбуждение хлорофилла
2. Фотолиз воды (реакция Хилла)
3. Циклическое фотосинтетическое фосфорилирование
4. Нециклическое фотосинтетическое фосфорилирование

Продуктами световой фазы являются O_2 , 8 АТФ, 12 НАДФ·Н₂ (36 АТФ).

Продукты световой фазы фотосинтеза АТФ и НАДФ·Н используются в темновой фазе для восстановления CO_2 до углеводов. Кислород выделяется в атмосферу.

Реакции восстановления **темновой фазы** происходят очень быстро.

В настоящее время известны следующие пути фиксации CO_2 :

1. С3-путь фотосинтеза (цикл Кальвина)
2. С4-путь фотосинтеза (цикл Хетча и Слэка)

С3-путь фотосинтеза (цикл Кальвина)

Это способ ассимиляции CO_2 , присущий всем растениям, был расшифрован американскими исследователями во главе с Мэдвином Кальвиным. Схема последовательности реакций получила название *цикла Кальвина*.

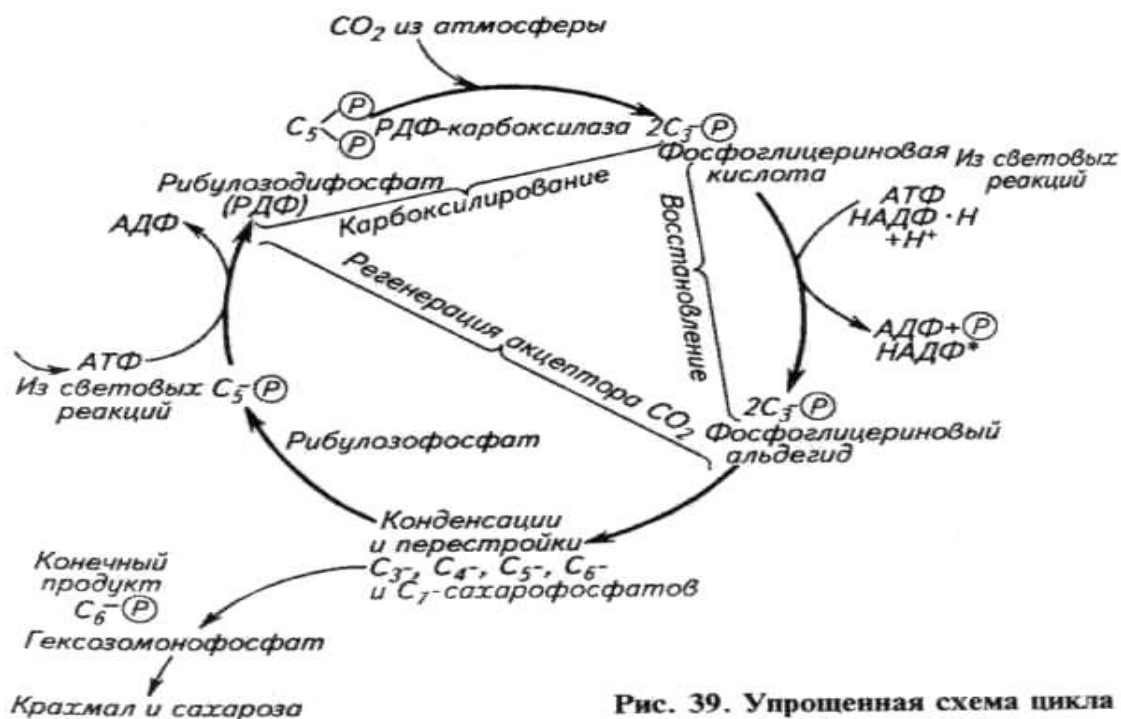


Рис. 39. Упрощенная схема цикла Кальвина

Характерной особенностью фотосинтетического восстановления CO_2 являются цикличность и разветвленность процесса. Цикличность обеспечивает высокую производительность, саморегуляцию и непрерывность образования углеводов. Разветвленность — образование разнообразных продуктов, дублирование путей регенерации акцептора CO_2 . Цикл проходит в строме хлоропласта.

С4-путь фотосинтеза (цикл Хетча и Слэка)

Первичными продуктами фиксации CO_2 и восстановления являются четырехуглеродные соединения. Их называют С4-растениями.

К С4-растениям относятся растения преимущественно тропического и субтропического происхождения — кукуруза, просо, сорго, сахарный тростник и многие злостные сорняки — свинорой, сыть округлая, ежовник крестьянский, просо куриное, щирица, щетинник и др.

Для листьев С4-растений характерно анатомическое строение Kranz-типа, *Клетки обкладки* проводящего пучка содержат крупные, лишенные гран (агранальные) хлоропласты. В *клетках мезофилла* находятся более мелкие гранальные хлоропласты.

Две стадии С4-цикла разделены в пространстве:

1. *Карбоксилирование* - в клетках мезофилла,

2. *декарбоксилирование и синтез углеводов* - в клетках обкладки.

карбоксилируется ФЕП (фосфоенолпировиноградная кислота) и образуется ЩУК (щавелевоуксусная кислота), ЩУК восстанавливается до яблочной кислоты (малат) или аминирована до аспарагиновой кислоты (аспарат).



ПРЕИМУЩЕСТВА С4-цикла

- более полное усвоение CO₂
- нет фотонасыщения
- экономичное расходование H₂O
- нет фотодыхания – выше продуктивность

Вопрос 4 Показатели, количественно характеризующие фотосинтез

1. **квантовый расход** – это количество квантов света, затраченных для ассимиляции 1 молекулы CO₂ или выделенная молекулы O₂.

В фотохимических реакциях к.в. не м.б. больше 1. Для 1 молекулы CO₂ нужно минимум 4 кванта света, т.к. существует ФС1 и ФС2, то 4*2=8 квантов.

Энергетический эффект Ф выше в красных лучах, хотя они менее энергоёмкие по сравнению с сине-фиолетовыми. Это потому, что фотохимический эффект зависит не от энергии кванта, а от количества квантов, а в красной области количество квантов выше.

2. **ФАР** – это лучи видимого спектра с длиной волны 400-700 нм.

Считают, что листья зелёного растения поглощают обычно 80-85 % видимой части спектра. Пропускают 5-10 % и отражают около 10 %. Величина ФАР определяет максимальный уровень урожайности, который можно получить в данной зоне. Доля ФАР в общей солнечной радиации составляет 45-50 %. Общее количество солнечной энергии, которое попадает на га посева составляет 51*10⁹ кДж/га. (на Могилёвскую обл. – 9,6*10⁹). В РБ можем получить урожай с зерновых 80-90 ц/га. Поэтому

показатель ФАР является главным показателем биоклиматической характеристики зоны. По ФАР программируют урожай.

3. **интенсивность фотосинтеза (ИФ)** - количество мг CO_2 , усваиваемое единицей листовой поверхности за единицу времени. ИФ измеряется преимущественно в $\text{мгCO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{ч})$ или в $\text{мкмоль} \cdot \text{CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Реже для характеристики активности фотосинтеза используют количество O_2 , выделяемое единицей листовой поверхности за единицу времени.

4. **чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ)** – количество накопленного органического вещества за сутки, на единицу листово й поверхности. Эта величина характеризует объём накопленного вещества с учётом расходов на Д и Ф. она характеризует величину видимого фотосинтеза.

$\Phi_{\text{ист}} = \Phi_{\text{видимый}} + \text{расходы на Д и Фотодыхание.}$

В самых благоприятных условиях расходы на Д и ФД 20-30 %. Обычно ЧПФ – 4-5, иногда 5-8.

5. **фотосинтетический потенциал посевов (ФПП)** – характеризует фотосинтетическую мощность посевов. Это сумма ежедневных показателей S листьев за весь вегетационный период. ФПП д.б. не менее 2 млн. м^2 в расчёте на каждые 100 дней фактической вегетации. скороспелые сорта ФПП – 1,5-2, позднеспелые – 3-5.

6. **урожай хозяйственный и биологический.**

$U_{\text{хоз}}$ – урожай товарной части

$U_{\text{биол}}$ – сумма товарной и нетоварной части.

Коэффициент хозяйственной эффективности = $U_{\text{хоз}}/U_{\text{биол}}$

Н-р, у зерновых к-р соотношение зерно/солома = 1 $K_{\text{хоз}} = 1/2 = 0,5$.

Вопрос 5 Зависимость фотосинтеза от внешних факторов

Свет

По отношению к свету различают **светолюбивые и теневыносливые** растения.

При слабом освещении дыхание идёт быстрее фотосинтеза

Уровень освещения, при котором поглощение CO_2 в ходе фотосинтеза равно выделению CO_2 в процессе дыхания, называется **компенсационным пунктом**.

Важен и **спектральный состав света**: на красном свете образуются углеводы, на синем - амино- и органические к-ты

Температура воздуха

Оптимальная температура - С3-тип - 20-25°C, С4-тип - 25-40°C.

При температуре выше оптимальной интенсивность фотосинтеза снижается из-за инактивации хлоропластов и закрытия устьиц.

Температурный максимум - для С3– 40-50 °С, для С4– 50-60 °С

Газовый состав воздуха.

Минимальное содержание CO_2 в воздухе - для С3– 0,005 %, для С4– 0,0005%

Повышение CO_2 с 0,03 % до 0,3 % вызывает увеличение интенсивности фотосинтеза. Дальнейшее возрастание CO_2 до 1 % не сказывается на фотосинтезе,

Содержание CO_2 в воздухе выше 1% приводит к депрессии фотосинтеза.

Содержание кислорода в воздухе, в среднем, равно 21 %. Повышение концентрации или отсутствие кислорода для фотосинтеза неблагоприятны.

Водный режим.

При большом водном дефиците интенсивность фотосинтеза снижается из-за закрытия устьиц, что уменьшает поступление CO_2 в листья, снижает транспирацию и приводит к повышению температуры листа. Кроме того, обезвоживание изменяет конформацию и, следовательно, активность ферментов.

Максимальна интенсивность фотосинтеза при водном дефиците 5-10 %, при 20 % - резко падает и при 50 % фотосинтез прекращается

Минеральное питание.

Исключение любого ЭМП отрицательно сказывается на фотосинтезе. Калий активирует процессы фосфорилирования и участвует в открывании устьиц. Магний входит в состав хлорофиллов, активирует реакции карбоксилирования и восстановления НАДФ. Железо необходимо для синтеза хлорофиллов. Марганец и хлор участвуют в фоторазложении воды. Медь входит в состав пластоцианина. Азот необходим для формирования хлоропластов и образования пигментов. Сера входит в состав белков ЭТЦ

Вопрос 7 КПД фотосинтеза и пути его повышения

КПД фотосинтеза – характеризует процент запасания энергии ФАР в продуктах фотосинтеза. КПД растений биосферы невелик: около 0,2 %, у сах.тростника – 1,9%, у к-ля – 0,5-0,6%. КПД в производственных посевах 0,5-1,5%. Расчёты показывают, что теоретически реально получать в посевах КПД до 12%. В посевах кукурузы уже получен КПД 7-8%.

Пути повышения КПД:

1) регулирование экологических факторов (свет, влажность, температура)

2) создание посевов с оптимальными параметрами для фотосинтеза:

– площадь листьев. ИЛП - не менее 4-5, т.е. на 1 га площадь листьев должна составлять 40-50 тыс. м^2 .

– оптическая плотность посевов, которая позволяет лучше использовать свет. Это достигается нормами высева, что позволяет формировать загущенные (на семенных участках картофеля), или более изреженные посевы (семенные посевы зерновых).

– большую роль играет форма расположения листьев на растении. Плохо как с горизонтальным, так и строго вертикальным (лук) расположением. Лучше – воронкообразная как у кукурузы и зерновых.

3) продление периода активной вегетации растений:

- путём высадки рассадой, пророщенными клубнями.

- ранние сроки сева.

- необходимо поддерживать растения в активном физиологическом состоянии.

В формировании урожая участвуют не только листья, но и колосья, стебли и даже ости, в которых протекает Ф.

4) внедрение принципиально новых видов посевов, в которых продуктивность растений возрастает в 1,5-2 раза за счёт более высокой фотосинтетической деятельности (полосный и др. посевы).