Фотосинтез и хемосинтез

Кодификатор ЕГЭ: 2.4 · Линии ЕГЭ: 2, 5-8, 21-24, 26 · kursteam.ru/teoriya/tsitologiya/fotosintez

КОРОТКО

- Фотосинтез - образование органических веществ из углекислого газа и воды за счёт энергии света. У растений он идёт в хлоропластах.
- Световая фаза - на мембранах тилакоидов: свет возбуждает хлорофилл, идёт фотолиз воды, образуются АТФ и НАДФ·2Н, кислород выделяется как побочный продукт.
- Темновая фаза (цикл Кальвина) - в строме: фермент рубиско фиксирует CO_2, за счёт АТФ и НАДФ·2Н образуется глюкоза.
- Кислород при фотосинтезе выделяется из воды, а не из углекислого газа.
- Скорость фотосинтеза зависит от освещённости, концентрации CO_2, температуры и воды.
- Хемосинтез - образование органических веществ за счёт энергии окисления неорганических веществ. Хемосинтетики - только бактерии.

Кто создаёт органические вещества

По способу питания организмы делятся на две группы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Автотрофы

Организмы, которые сами синтезируют органические вещества из неорганических (CO_2 и воды). Если энергию для этого дают лучи света - это **фототрофы** (растения, водоросли, цианобактерии). Если энергию дают реакции окисления неорганических веществ - **хемотрофы** (некоторые бактерии).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Гетеротрофы

Организмы, которые получают готовые органические вещества с пищей: животные, грибы, большинство бактерий.

Фотосинтез и хемосинтез - это **первичный синтез органических веществ**: из них потом строится вся пищевая цепь. Оба процесса относятся к пластическому обмену (ассимиляции): энергия тратится на синтез.

Что такое фотосинтез

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Фотосинтез

Образование органических веществ из углекислого газа и воды за счёт энергии света, при участии хлорофилла. У растений и водорослей идёт в хлоропластах, побочный продукт - кислород.

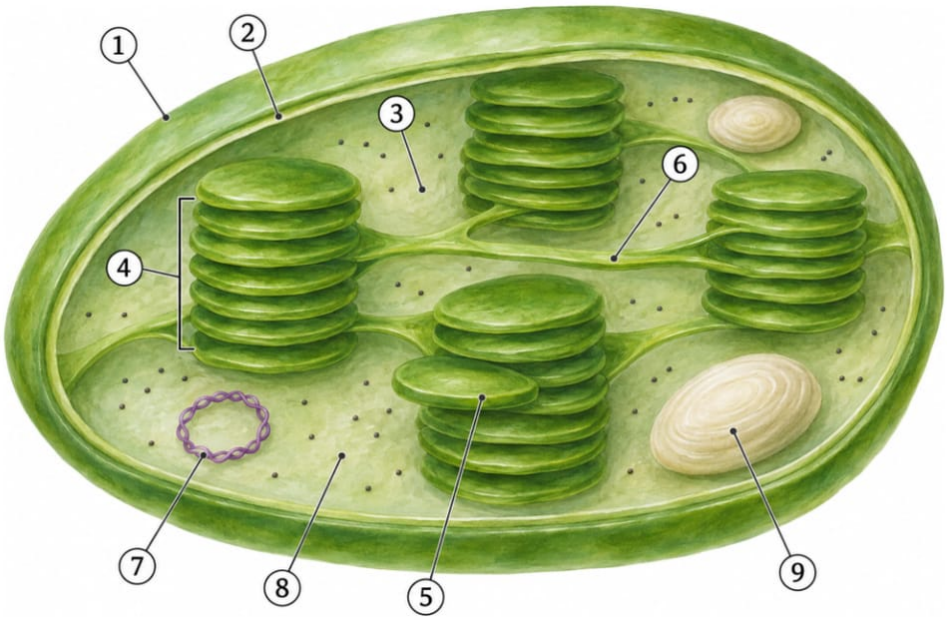
Суммарное уравнение:

$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ (на свету, при участии хлорофилла)

Представь лист на солнце: CO_2 заходит в него через устьица, вода поднимается по жилкам от корня, а свет падает на хлоропласты. Больше всего хлоропластов в клетках столбчатой ткани листа - она лежит сразу под верхней кожицей.

Хлоропласт - где всё происходит

Хлоропласт - **двумембранный** органоид. Внутренняя мембрана образует **тилакоиды** - плоские мешочки, уложенные стопками - **гранами**. Граны соединены **ламеллами**. Пространство внутри хлоропласта заполнено **стромой**. В строме есть своя кольцевая ДНК и рибосомы, поэтому хлоропласт называют полуавтономным органоидом: часть своих белков он синтезирует сам.



1 - Наружная мембрана
2 - Внутренняя мембрана
3 - Строма
4 - Грана - стопка тилакоидов
5 - Тилакоид
6 - Ламелла
7 - Кольцевая ДНК
8 - Рибосомы
9 - Крахмальное зерно

Строение хлоропласта. Хлорофилл - в мембранах тилакоидов.

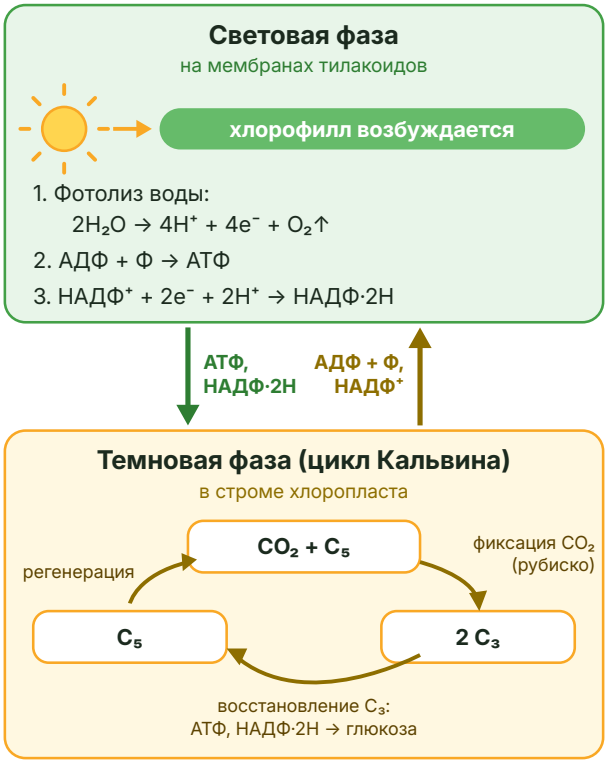
ЗАПОМНИ

Хлорофилл находится **в мембранах тилакоидов**. Поэтому световая фаза идёт там же - на мембранах тилакоидов (в гранах). Ферменты темновой фазы - **в строме**.

У цианобактерий хлоропластов нет: хлорофилл лежит на мембранах прямо в цитоплазме, и фотосинтез идёт там.

Две фазы фотосинтеза

Фотосинтез идёт в две фазы - **световую** и **темновую**. Они связаны: продукты световой фазы нужны темновой.



Световая фаза отдаёт темновой АТФ и НАДФ·2H, обратно возвращаются АДФ + Ф и НАДФ⁺.

Световая фаза

Идёт **на мембранах тилакоидов**. Нужны свет, вода, хлорофилл, АДФ + Ф и НАДФ⁺.

1. **Возбуждение хлорофилла.** Хлорофилл поглощает квант света, его электрон переходит на более высокий энергетический уровень и уходит на цепь переносчиков электронов.
2. **Фотолиз воды.** Потерянные электроны хлорофилл восполняет из воды: под действием света вода расщепляется - $2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2$. Ионы H^+ остаются в полости тилакоида, кислород выделяется в атмосферу как побочный продукт.
3. **Накопление H^+.** Энергия электронов, идущих по цепи переносчиков, перекачивает H^+ из стромы в полость тилакоида. Там они копятся вместе с H^+ от фотолиза.
4. **Синтез АТФ.** H^+ выходят из полости в строму через канал фермента АТФ-синтазы, и их энергия соединяет АДФ и фосфат: АДФ + Ф → АТФ. Синтез АТФ за счёт энергии света называют **фотофосфорилированием**.
5. **Образование НАДФ·2H.** В конце цепи электроны и ионы H^+ стромы забирает переносчик НАДФ⁺ - получается НАДФ·2H.

Итог световой фазы: **АТФ** и **НАДФ·2H** (идут в темновую фазу) и **O_2** (побочный продукт). Глюкоза в световой фазе не образуется.

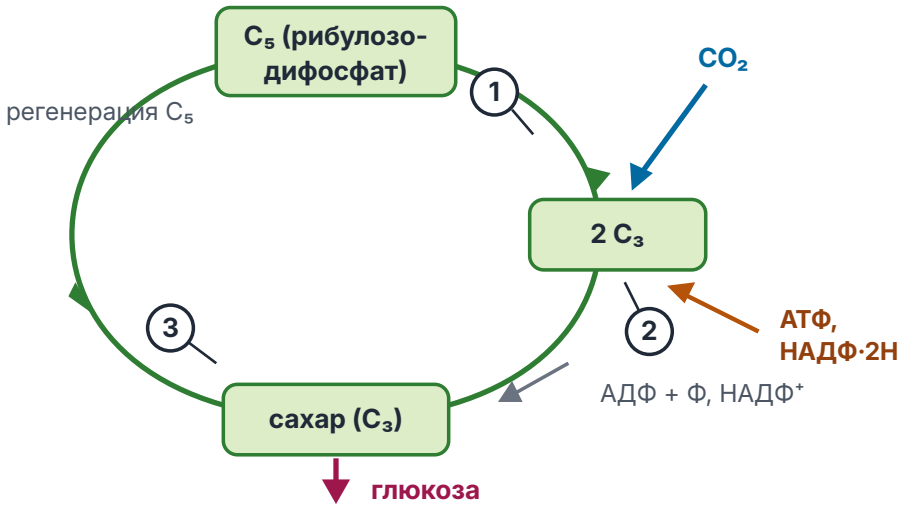
Темновая фаза (цикл Кальвина)

Идёт **в строме хлоропласта**. Нужны CO_2, АТФ, НАДФ·2Н и ферменты. Это цепь циклических реакций - **цикл Кальвина**.

1. **Фиксация CO_2.** Фермент рубиско присоединяет CO_2 к пятиуглеродному сахару - рибулозодифосфату (C_5). Получаются две молекулы трёхуглеродной фосфоглицериновой кислоты (C_3).
2. **Восстановление C_3.** За счёт энергии АТФ и водорода НАДФ·2Н молекулы C_3 восстанавливаются до трёхуглеродного сахара, из которого собирается глюкоза.
3. **Регенерация C_5.** Часть сахаров снова превращается в рибулозодифосфат, и цикл продолжается.

На одну молекулу глюкозы нужно 6 молекул CO_2 - то есть шесть оборотов цикла. Глюкоза в хлоропласте превращается в крахмал (запас), а к другим органам по ситовидным трубкам уходит сахароза. Израсходованные АДФ + Ф и $НАДФ^+$ возвращаются в световую фазу.

Темновая фаза - в строме хлоропласта



1 - Фиксация CO_2: рубиско присоединяет его к C_5
2 - Восстановление C_3 - за счёт АТФ и НАДФ·2Н
3 - Регенерация C_5 - цикл замыкается

Цикл Кальвина в строме: шесть оборотов цикла дают одну молекулу глюкозы.

ЗАПОМНИ

Свет в реакциях темновой фазы не участвует, но без световой фазы она быстро останавливается: кончаются АТФ и НАДФ·2Н. Поэтому темновая фаза идёт днём, одновременно со световой.

Сравнение фаз

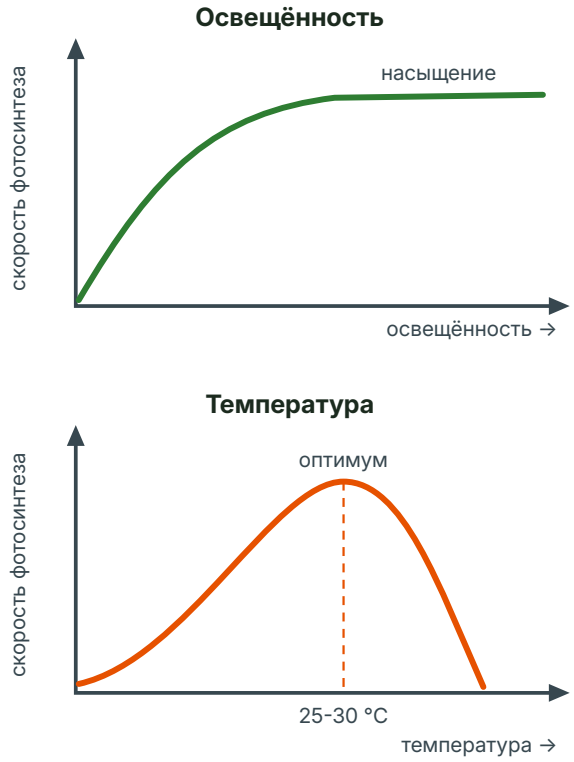
	Световая фаза	Темновая фаза
Где идёт	мембраны тилакоидов (граны)	строма хлоропласта
Что нужно	свет, вода, хлорофилл, АДФ + Ф, $НАДФ^+$	CO_2, АТФ, НАДФ·2Н, ферменты (рубиско)

Главные процессы	возбуждение хлорофилла, фотолиз воды, синтез АТФ, образование НАДФ·2H	фиксация CO_2, восстановление C_3, регенерация C_5
Что образуется	АТФ, НАДФ·2H, O_2 (побочный продукт)	глюкоза, АДФ + Ф, $НАДФ^+$

Значение фотосинтеза

- Даёт органические вещества почти всем живым организмам: с них начинаются пищевые цепи.
- Превращает энергию света в энергию химических связей органических веществ. Каменный уголь, нефть и торф - запасённая энергия фотосинтеза древних растений.
- Насыщает атмосферу кислородом, которым дышат аэробные организмы. Из кислорода в верхних слоях атмосферы образуется озоновый слой, который задерживает ультрафиолет.
- Поглощает углекислый газ из атмосферы.

От чего зависит скорость фотосинтеза



Так выглядят графики в заданиях 21-23: слева освещённость, справа температура.

- **Освещённость.** Чем ярче свет, тем быстрее фотосинтез - до насыщения: дальше скорость не растёт, её ограничивают ферменты темновой фазы и CO_2. Хлорофилл лучше всего поглощает красные и сине-фиолетовые лучи, а зелёные отражает - поэтому листья зелёные.
- **Концентрация CO_2.** Больше CO_2 - быстрее темновая фаза (до предела). Поэтому в теплицах воздух иногда обогащают углекислым газом.
- **Температура.** Реакции темновой фазы ферментативные: при повышении температуры до оптимума (у большинства растений 25-30 °C) скорость растёт, при перегреве ферменты денатурируют, и скорость падает.
- **Вода.** При нехватке воды устьица закрываются, CO_2 не поступает в лист - фотосинтез замедляется. Вода нужна и как источник электронов (фотолиз).

- **Минеральное питание.** Например, магний входит в состав хлорофилла, а азот - в состав белков-ферментов и хлорофилла.

Продуктивность фотосинтеза - сколько органического вещества растение образует за единицу времени на единицу площади листа. Её повышают, подбирая освещение, полив, удобрения и концентрацию CO_2.

Фотосинтез и дыхание растения

Растение дышит **круглосуточно**: поглощает O_2 и выделяет CO_2. Фотосинтез идёт **только на свету**.

- Днём фотосинтез сильнее дыхания: растение в целом поглощает CO_2 и выделяет O_2.
- Ночью фотосинтеза нет: растение только дышит - поглощает O_2 и выделяет CO_2.
- Азот воздуха не участвует ни в фотосинтезе, ни в дыхании - его количество под колпаком не меняется.

Хемосинтез

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Хемосинтез

Образование органических веществ из неорганических (CO_2 и воды) за счёт энергии, которая выделяется при окислении неорганических веществ. Свет для хемосинтеза не нужен.

Хемосинтетики - только **бактерии** (автотрофы-хемотрофы). Хемосинтез открыл С. Н. Виноградский (1887). Например, нитрифицирующие бактерии почвы окисляют аммиак до нитритов и нитратов, а освободившуюся энергию запасают в АТФ и тратят на синтез органических веществ из CO_2.

Значение хемосинтеза:

- хемосинтетики участвуют в круговороте веществ в природе (азота, серы, железа); нитрифицирующие бактерии переводят азот в форму нитратов, которую усваивают растения;
- там, куда не доходит свет (например, у горячих источников на дне океана), хемосинтетики - основа пищевых цепей;
- их используют для очистки сточных вод.

	Фотосинтез	**Хемосинтез**
Источник энергии	свет	окисление неорганических веществ
Кто способен	растения, водоросли, цианобактерии	только некоторые бактерии
Хлорофилл	нужен	не нужен
Кислород	выделяется (у растений и цианобактерий)	не выделяется

Как это спрашивают на ЕГЭ

- **Линия 2 и 21-23 - эксперименты.** Растение на свету и в темноте под колпаком, водное растение в пробирке, влияние температуры или освещённости. Спрашивают, как изменится количество O_2, CO_2 и азота, что является независимой и зависимой переменной, какой нужен контроль.
- **Линии 5-7 - рисунок хлоропласта или схема фаз.** «Каким номером обозначено макроэргическое соединение» (АТФ), «какой цифрой - строма», «выберите верные подписи к рисунку».
- **Линия 6 - соответствие** «характеристика → световая или темновая фаза»: строма, фотолиз, возбуждение электронов, фиксация CO_2, хлорофилл.
- **Линия 7 - выбор трёх из шести**: какие процессы относятся к фотосинтезу (фотолиз воды, фиксация CO_2, цикл Кальвина), какие понятия - к хлоропластам (двумембранное строение, тилакоид, фотолиз воды).
- **Линия 8 - последовательность**: возбуждение хлорофилла → синтез АТФ → фиксация CO_2 → окисление НАДФ·2Н → накопление глюкозы.
- **Линии 24 и 26** - рисунок с процессом, объяснение роли света, воды или CO_2, значение фотосинтеза.

Ключевые слова: фотолиз воды, тилакоид, строма, фотофосфорилирование, НАДФ·2Н, фиксация CO_2, цикл Кальвина, рибулозодифосфат, хемосинтез.

Ловушки

ЛОВУШКА ЕГЭ

Кислород - из воды, а не из CO_2. O_2 выделяется при фотолизе воды в световой фазе. Углекислый газ идёт на синтез глюкозы.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Глюкоза - в темновой фазе. В световой фазе образуются только АТФ, НАДФ·2Н и O_2.

ЛОВУШКА ЕГЭ

АТФ образуется в световой фазе, а расходуется в темновой. Так же и НАДФ·2Н: в световой фазе $НАДФ^+$ восстанавливается до НАДФ·2Н, в темновой НАДФ·2Н окисляется - отдаёт водород на восстановление C_3.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Темновая фаза - не «ночная». Она идёт днём, пока световая фаза поставляет АТФ и НАДФ·2Н.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Растение дышит и на свету. Днём фотосинтез просто сильнее дыхания. Ночью растение только дышит и выделяет CO_2.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Фиксация CO_2 - в строме, ферментом рубиско. «Восстановление» относится к C_3 (за счёт АТФ и НАДФ·2Н), а превращение C_3 обратно в C_5 - это регенерация.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Хемосинтез - только у бактерий. Растений-хемосинтетиков не бывает, а энергия хемосинтеза берётся не из света, а из окисления неорганических веществ.

Как писать ответ

КАК ПИСАТЬ ОТВЕТ

Почему днём растение выделяет кислород, а ночью - углекислый газ?

1. Днём на свету идут и фотосинтез, и дыхание.
2. Интенсивность фотосинтеза днём выше, чем дыхания: кислорода образуется больше, чем расходуется, и избыток выделяется.
3. Ночью фотосинтез не идёт - нет света; растение только дышит: поглощает O_2 и выделяет CO_2.

КАК ПИСАТЬ ОТВЕТ

Эксперимент: побег водного растения в воде, лампу ставят на разном расстоянии и считают пузырьки газа за минуту

- Независимая переменная (её меняет исследователь) - освещённость, то есть расстояние до лампы.
- Зависимая переменная (её измеряют) - скорость фотосинтеза: число пузырьков кислорода за минуту.
- Нулевая гипотеза: освещённость не влияет на скорость фотосинтеза.
- Остальные условия одинаковы во всех пробах: температура воды, вид и размер растения, концентрация CO_2 в воде, время отсчёта.
- Отрицательный контроль - такая же установка в темноте: пузырьков кислорода нет, значит газ выделяется именно при фотосинтезе.

КАК ПИСАТЬ ОТВЕТ

Какова роль света при фотосинтезе?

1. Свет возбуждает хлорофилл - электроны переходят на более высокий энергетический уровень и уходят на цепь переносчиков.
2. Под действием света идёт фотолиз воды - образуются H^+, электроны и кислород.
3. За счёт энергии света синтезируется АТФ и образуется НАДФ·2Н, которые нужны темновой фазе для синтеза глюкозы.

Проверь себя

1. Где в хлоропласте идёт световая фаза, а где - темновая?

Ответ: Световая - на мембранах тилакоидов (в гранах), темновая - в строме хлоропласта.

2. Из какого вещества образуется кислород при фотосинтезе?

Ответ: Из воды - при её фотолизе в световой фазе. Углекислый газ идёт на синтез глюкозы.

3. Какие вещества световая фаза передаёт темновой и зачем?

Ответ: АТФ и НАДФ·2Н. АТФ даёт энергию, НАДФ·2Н - водород для восстановления C_3 до глюкозы.

4. Растение под стеклянным колпаком стоит на свету. Как меняется количество азота под колпаком?

Ответ: Не меняется: азот воздуха не участвует ни в фотосинтезе, ни в дыхании.

5. Чем хемосинтез отличается от фотосинтеза по источнику энергии?

Ответ: Хемосинтетики используют энергию окисления неорганических веществ (например, аммиака), а не энергию света.

ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ

Тестовая часть, развёрнутые задания и все задания по теме - на сайте, с проверкой и разбором: kursteam.ru/teoriya/tsitologiya/fotosintez

© 2026 Мустафаев Р. И. (Kursteam). Материал принадлежит автору и охраняется авторским правом. Копирование, перепечатка и распространение без письменного разрешения автора запрещены; при цитировании обязательна ссылка на kursteam.ru.