Двойное оплодотворение

Кодификатор ЕГЭ: 3.1 · Линии ЕГЭ: 3, 5, 6, 8, 24, 26 · kursteam.ru/teoriya/botanika/dvoynoe-oplodotvorenie

КОРОТКО

- Двойное оплодотворение - особенность цветковых: один спермий сливается с яйцеклеткой (получается зигота, 2n), второй - с центральной клеткой (получается эндосперм, 3n). Открыл его С. Г. Навашин в 1898 году.
- Мужской гаметофит - пыльцевое зерно из вегетативной и генеративной клеток; из генеративной митозом образуются два спермия.
- Женский гаметофит - восьмиядерный зародышевый мешок в семязачатке: яйцеклетка, 2 синергиды, 3 антиподы и центральная клетка (2n).
- После оплодотворения: зигота → зародыш (2n), центральная клетка → эндосперм (3-n), покровы семязачатка → семенная кожура, семязачаток → семя, стенка завязи → околоплодник, завязь → плод.
- Споры у растений образуются мейозом, гаметы - митозом; спермии цветковых неподвижны, их доставляет пыльцевая трубка.

Двойное оплодотворение - визитная карточка цветковых. Его открыл русский ботаник **С. Г. Навашин** (1898). Чтобы решать задания, нужно уверенно знать три вещи: как образуются мужской и женский гаметофиты, что с чем сливается и что из чего получается в семени.

Образование гаметофитов

У цветковых, как у всех растений, **споры образуются мейозом, а гаметы - митозом**. Оба гаметофита предельно упрощены и живут внутри цветка.



Слева - микроспорогенез (в пыльниках), справа - мегаспорогенез (в семязачатке).

Микроспорогенез - в пыльниках тычинок:

1. Материнские клетки спор (2n) делятся **мейозом** - образуются по **4 микроспоры (n)**.
2. Каждая микроспора делится **митозом** - получается **пыльцевое зерно** (мужской гаметофит): **вегетативная** и **генеративная** клетки (обе n) под двумя оболочками - наружной экзиной и внутренней интиной.
3. Из генеративной клетки **митозом** образуются **два спермия (n)**; из вегетативной позже вырастает **пыльцевая трубка**.

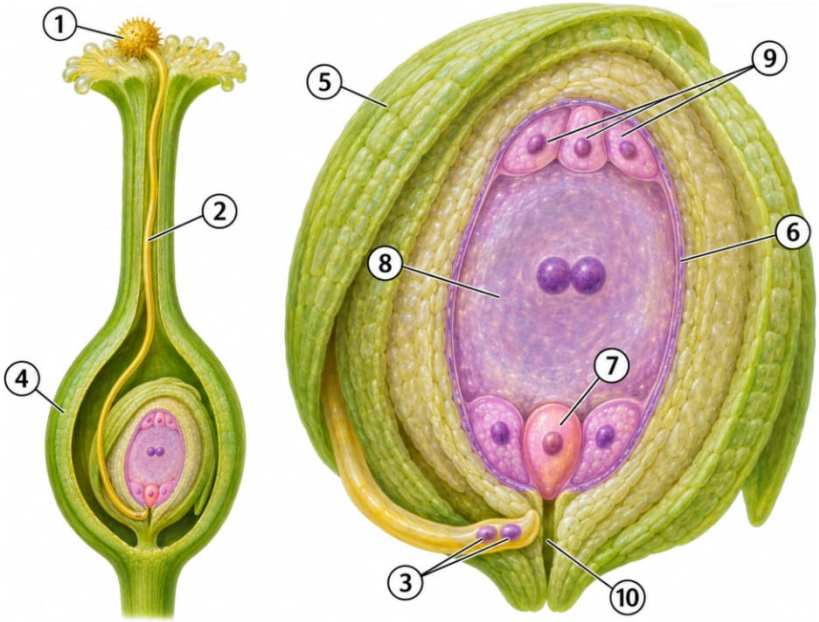
Мегаспорогенез - в семязачатке, внутри завязи пестика:

1. Материнская клетка спор (2n) делится **мейозом** - образуются **4 мегаспоры (n)**, три из них отмирают.
2. Ядро оставшейся мегаспоры трижды делится **митозом** - получается 8 ядер.
3. Формируется **зародышевый мешок** (женский гаметофит): у пыльцевхода - **яйцеклетка (n)** и две вспомогательные клетки-**синергиды (n)**, на противоположном полюсе - три **антиподы (n)**, а в центре два ядра сливаются в **центральную клетку (2n)**.

ЗАПОМНИ

Пыльцевое зерно - **не гамета**, а целый мужской гаметофит. Зародышевый мешок - женский гаметофит. Архегониев и антеридиев у цветковых **нет**.

Как происходит двойное оплодотворение



1 - Пыльцевое зерно на рыльце пестика
2 - Пыльцевая трубка (из вегетативной клетки)
3 - Два спермия (n)
4 - Завязь пестика
5 - Семязачаток
6 - Зародышевый мешок
7 - Яйцеклетка (n); рядом - две синергиды
8 - Центральная клетка (2n)
9 - Антиподы
10 - Пыльцевход

Двойное оплодотворение: два спермия - два слияния.

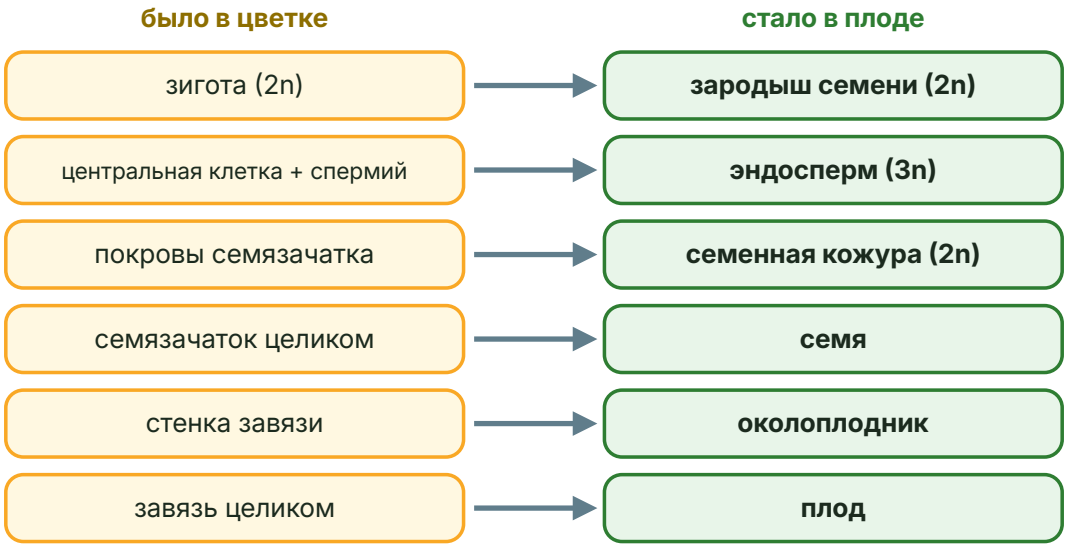
1. **Опыление**: пыльца попадает на рыльце пестика и удерживается на его сосочках.
2. Вегетативная клетка прорастает **пыльцевой трубкой**, которая растёт по столбику к завязи; по ней движутся **два спермия**. Спермии цветковых **неподвижны** - вода для оплодотворения не нужна.
3. Трубка входит в семязачаток через **пыльцевход** и лопается в зародышевом мешке.
4. **Первое слияние**: один спермий (n) + яйцеклетка (n) → **зигота (2n)**.
5. **Второе слияние**: второй спермий (n) + центральная клетка (2n) → **эндосперм (3n)**.

Синергиды и антиподы после оплодотворения разрушаются.

ЗАПОМНИ

«Двойное» - потому что сливаются **две пары**: спермий с яйцеклеткой и спермий с центральной клеткой. Оплодотворяется одна яйцеклетка, а не две!

Что из чего образуется в семени и плоде



Судьба частей цветка после двойного оплодотворения.

Было в цветке	Стало после оплодотворения	Набор хромосом
Зигота (яйцеклетка + спермий)	зародыш семени	2n
Центральная клетка + спермий	эндосперм - запасающая ткань	3n
Покровы семязачатка	семенная кожура	2n (ткань материнского растения)
Семязачаток целиком	семя	-
Стенка завязи	околоплодник	2n
Завязь целиком	плод	-

Биологический смысл: эндосперм образуется **только после оплодотворения** - растение не тратит вещества на запас «впустую», как голосеменные, у которых гаплоидный эндосперм готов заранее.

Задачи на наборы хромосом

Алгоритм: найди в условии диплоидный набор (клетки листа, стебля, зародыша - 2n), вычисли n и умножь.

- Клетки листа, стебля, корня, зародыша, зиготы - **2n**.
- Спермии, яйцеклетка, синергиды, антиподы, микроспоры, мегаспоры, вегетативная и генеративная клетки - **n**.
- Центральная клетка **до** оплодотворения - **2n**.
- Эндосперм - **3n**.

Пример: у свёклы в клетках зародыша 18 хромосом. Тогда n = 9: в ядрах зародышевого мешка по 9 хромосом, в мегаспоре 9, в эндосперме 27.

Как это спрашивают на ЕГЭ

- **Линия 3** - число хромосом в эндосперме, мегаспоре, ядрах зародышевого мешка, клетках зародыша (см. алгоритм выше).
- **Линии 5-6 - рисунок зародышевого мешка или пыльцевого зерна**: «каким номером обозначена центральная клетка», соответствие «клетка → набор хромосом».
- **Линия 8 - последовательность**: образование микроспоры → деление митозом → перенос пыльцы на рыльце → рост пыльцевой трубки → слияние спермиев с яйцеклеткой и центральной клеткой → развитие семени.
- **Линия 11 - три из шести**: что происходит в цветке, верные утверждения о семени (части с разными наборами 2n и 3n, эндосперм - внезародышевая ткань).
- **Линии 24 и 26** - найти ошибки в тексте о двойном оплодотворении, объяснить его биологический смысл, сравнить с оплодотворением голосеменных.

Ключевые слова: Навашин, пыльцевое зерно, вегетативная и генеративная клетки, спермии, пыльцевая трубка, зародышевый мешок, синергиды, антиподы, центральная клетка, эндосперм 3n, пыльцевход.

Ловушки

ЛОВУШКА ЕГЭ

Оплодотворяется одна яйцеклетка. «Два спермия оплодотворяют две яйцеклетки» - ошибка: второй спермий сливается с центральной клеткой (2n), и из неё образуется эндосперм, а не второй зародыш.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Эндосперм цветковых - 3n, голосеменных - n. Это разные по происхождению ткани: у цветковых - результат второго слияния, у голосеменных - сам женский гаметофит.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Спермии образуются из генеративной клетки, пыльцевая трубка - из вегетативной. Не наоборот. И спермии, как все гаметы растений, образуются митозом.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Зародышевый мешок - это не зародыш. Зародышевый мешок - женский гаметофит (есть до оплодотворения), зародыш развивается из зиготы (после).

ЛОВУШКА ЕГЭ

Семенная кожура - из покровов семязачатка (2n), а не из стенки завязи. Из стенки завязи образуется околоплодник.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Центральная клетка диплоидна ещё до оплодотворения - в ней слились два гаплоидных ядра. Поэтому после слияния со спермием получается именно 3n.

Как писать ответ

КАК ПИСАТЬ ОТВЕТ

Опишите двойное оплодотворение у цветковых растений. Почему оно названо двойным?

1. После опыления вегетативная клетка пыльцевого зерна образует пыльцевую трубку, по которой в зародышевый мешок проникают два спермия.
2. Один спермий (n) сливается с яйцеклеткой (n) - образуется зигота (2n), из которой развивается зародыш.
3. Второй спермий (n) сливается с центральной клеткой (2n) - образуется триплоидный эндосперм (3n), запасающая ткань семени.
4. Оплодотворение названо двойным, потому что происходят два слияния.

КАК ПИСАТЬ ОТВЕТ

В чём биологический смысл двойного оплодотворения?

1. Запасающая ткань (эндосперм) начинает развиваться только после оплодотворения - питательные вещества не расходуются зря, если оплодотворения не произошло.
2. Эндосперм формируется быстро, и семя созревает быстрее, чем у голосеменных.
3. Триплоидный эндосперм несёт гены обоих родителей, что повышает разнообразие и жизнеспособность.

КАК ПИСАТЬ ОТВЕТ

У пшеницы в соматических клетках 42 хромосомы. Определите число хромосом в мегаспоре, ядре центральной клетки до оплодотворения и в клетках эндосперма. Объясните

1. Мегаспора образуется мейозом из материнской клетки (2n = 42), поэтому в ней 21 хромосома (n).
2. Центральная клетка образована слиянием двух гаплоидных ядер зародышевого мешка: 21 + 21 = 42 (2n).
3. Эндосперм образуется при слиянии спермия (21) с центральной клеткой (42): 63 хромосомы (3n).

Проверь себя

1. Какие два слияния происходят при двойном оплодотворении?

Ответ: Первый спермий (n) + яйцеклетка (n) → зигота (2n); второй спермий (n) + центральная клетка (2n) → эндосперм (3n).

2. Из каких клеток состоит зрелое пыльцевое зерно цветковых?

Ответ: Из вегетативной клетки (из неё вырастает пыльцевая трубка) и генеративной (она делится митозом на два спермия).

3. Из чего состоит зародышевый мешок?

Ответ: 8 ядер, 7 клеток: яйцеклетка, 2 синергиды, 3 антиподы и центральная клетка с двумя слившимися ядрами (2n).

4. У вишни в клетках листа 32 хромосомы. Сколько хромосом в спермии, зиготе и эндосперме?

Ответ: В спермии 16 (n), в зиготе 32 (2n), в эндосперме 48 (3n).

5. Что образуется из покровов семязачатка и из стенки завязи?

Ответ: Из покровов семязачатка - семенная кожура, из стенки завязи - околоплодник плода.

ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ

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

© 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.