Митоз и мейоз - клеточный цикл

Кодификатор ЕГЭ: 2.6, 3.1 · Линии ЕГЭ: 3, 5-8, 24, 27 · kursteam.ru/teoriya/tsitologiya/mitoz-i-meyoz

КОРОТКО

- Клеточный цикл - это интерфаза (периоды G1 - 2n2c, S и G2 - 2n4c) и деление. В S-периоде ДНК реплицируется, и хромосомы становятся двухроматидными.
- Митоз даёт две клетки с набором 2n2c - точные копии материнской. В анафазе митоза набор 4n4c: хроматиды стали самостоятельными хромосомами.
- Мейоз - два деления подряд: мейоз I уменьшает число хромосом вдвое (анафаза I - 2n4c, после деления - n2c), мейоз II идёт как митоз (анафаза II - 2n2c, итог - nc).
- Конъюгация и кроссинговер в профазе I - источник комбинативной изменчивости.
- У животных мейоз даёт гаметы. У растений мейозом образуются споры, а гаметы - митозом из клеток гаплоидного растения.

Набор хромосом: буквы n и c

Чтобы решать задачи на деление, сначала разберёмся с обозначениями.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Хромосомный набор (n)

Число хромосом в клетке. Диплоидный набор (2n) - полный: у каждой хромосомы есть парная, гомологичная. Гаплоидный набор (n) - одинарный: гомологичных пар нет.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Гомологичные хромосомы

Хромосомы одной пары: одинаковые по размеру и форме, несут аллельные (парные) гены. Одна получена от матери, другая - от отца.

- **Соматические клетки** (клетки тела: нейрон, клетка печени, клетка листа) несут диплоидный набор 2n.
- **Половые клетки (гаметы)** и **споры растений** - гаплоидный набор n.
- Среди хромосом различают **аутосомы** и **половые хромосомы** (X и Y). У человека 2n = 46: это 44 аутосомы и 2 половые хромосомы; в гамете - 22 аутосомы и 1 половая хромосома. В яйцеклетке половая хромосома всегда X, в сперматозоиде - X или Y.

Буквой **c** обозначают число молекул ДНК. Каждая хроматида - одна молекула ДНК, поэтому:

- **однохроматидная** хромосома содержит 1 молекулу ДНК: числа при n и c равны (2n2c, nc);
- **двухроматидная** хромосома (похожа на букву X) содержит 2 молекулы ДНК: число при c вдвое больше (2n4c, n2c). Такой хромосома становится после репликации, когда к хроматиде достроена сестринская.

ЗАПОМНИ

Смотри на хроматиды: хромосомы однохроматидные - цифры при n и c **одинаковые** (2n2c, nc), двухроматидные - при c **вдвое больше** (2n4c, n2c). Число молекул ДНК всегда равно числу хроматид.

Клеточный цикл и интерфаза

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

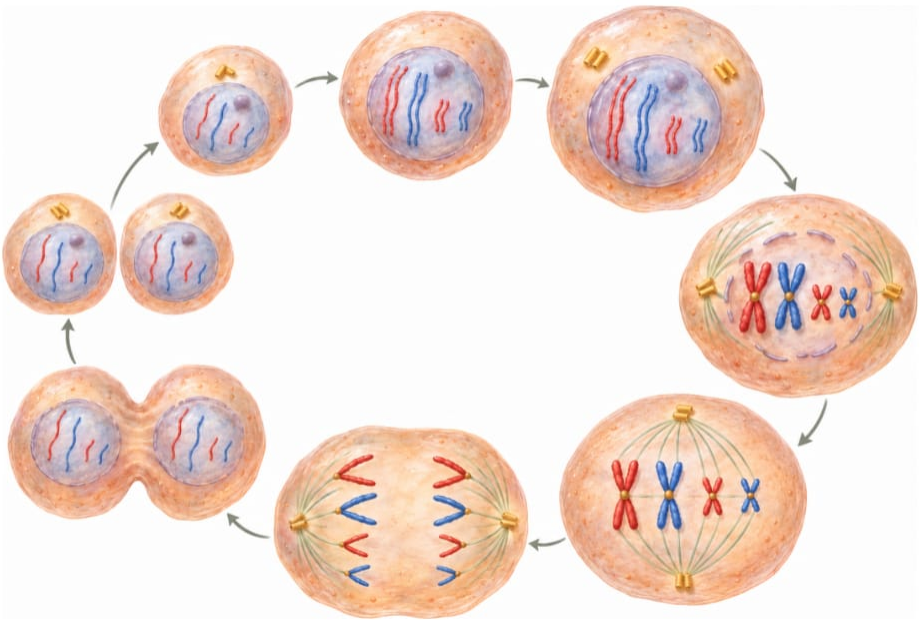
Клеточный цикл

Жизнь клетки от её появления в результате деления материнской клетки до собственного деления или гибели. Состоит из интерфазы и деления.

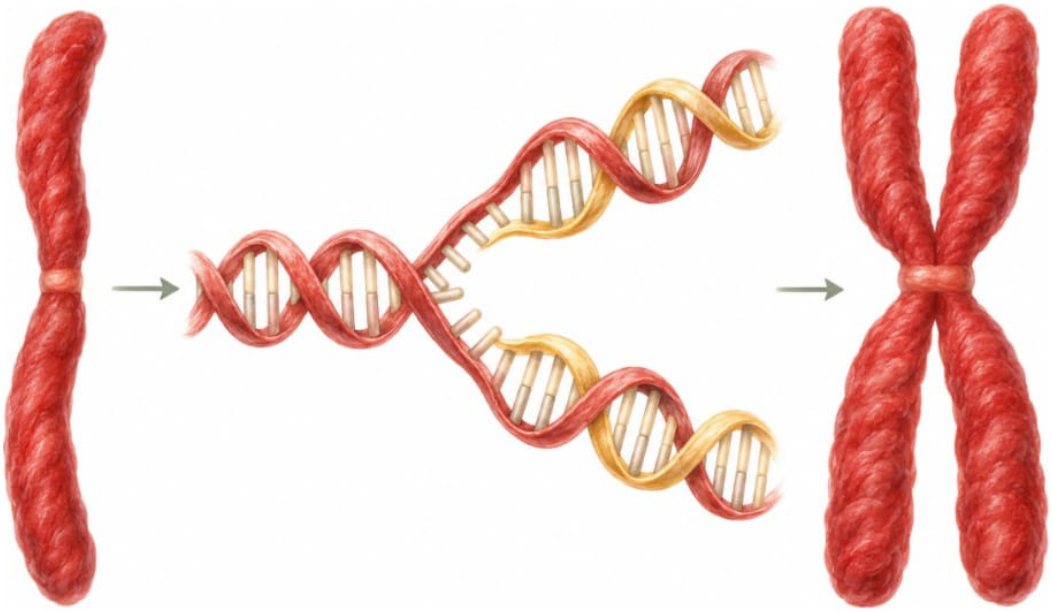
ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Интерфаза

Период между двумя делениями, когда клетка растёт, работает и готовится к делению. Хромосомы деспирализованы, гены активно работают, в ядре видно ядрышко.



Клеточный цикл: G1 (2n2c) - рост, S (2n4c) - удвоение ДНК, G2 (2n4c) - подготовка к делению, затем митоз и цитокинез.



В S-периоде ДНК удваивается: в каждой новой молекуле одна цепь старая, другая новая, и хромосома становится двухроматидной - из 2n2c получается 2n4c.

Периоды интерфазы

1. **Пресинтетический (G1), 2n2c.** Клетка растёт после деления и готовится к репликации: синтезирует белки-ферменты репликации (в том числе ДНК-полимеразу), все виды РНК, органические вещества (в основном нуклеотиды), образует рибосомы и органоиды.
2. **Синтетический (S), 2n4c.** Репликация - удвоение ДНК по полуконсервативному принципу (фермент - ДНК-полимераза). Синтезируются белки-гистоны, из ДНК и гистонов собираются сестринские хроматиды. Хромосомы становятся двухроматидными: число с удваивается, число хромосом не меняется.
3. **Постсинтетический (G2), 2n4c.** Завершается подготовка к делению: синтез АТФ, РНК и белков веретена деления, удвоение центриолей клеточного центра, делятся органоиды, растут объём ядра и масса цитоплазмы.

ЗАПОМНИ

Репликация и вся подготовка к делению проходят **в интерфазе**: подготовка завершается в G2. В самом делении ДНК уже не удваивается.

Митоз

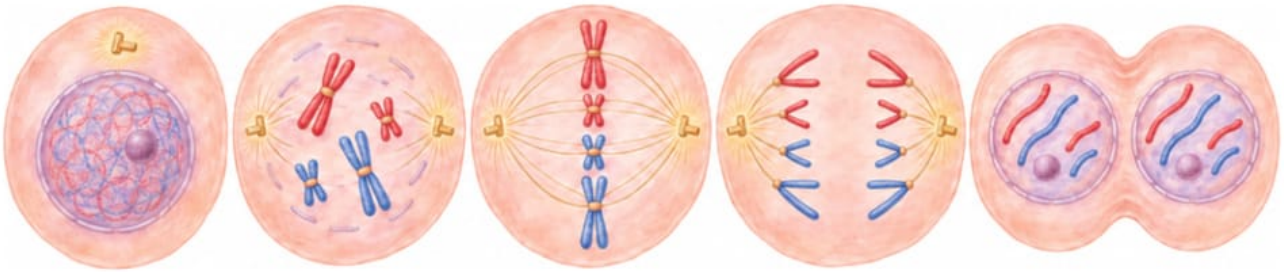
ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Митоз

Непрямое деление клетки: из одной материнской клетки образуются две дочерние с таким же набором хромосом, генетически идентичные материнской. Деление ядра называют кариокинезом, деление цитоплазмы - цитокинезом.

Фазы митоза

1. **Профаза (2n4c).** Двухроматидные хромосомы спирализуются и становятся заметны; сестринские хроматиды соединены центромерой. Разрушаются ядрышко и ядерная оболочка. Центриоли клеточного центра расходятся к полюсам и начинают строить веретено деления.
2. **Метафаза (2n4c).** Хромосомы выстраиваются в плоскости экватора в одну линию - образуют метафазную пластинку; спирализация максимальна. Нити веретена деления прикрепляются к центромере каждой хромосомы с двух сторон.
3. **Анафаза (4n4c в клетке, 2n2c у каждого полюса).** Центромеры делятся, сестринские хроматиды разделяются и нитями веретена растягиваются к полюсам. Каждая хроматида становится самостоятельной однохроматидной хромосомой - поэтому хромосом временно 4n.
4. **Телофаза (2n2c в каждой образовавшейся клетке).** Хромосомы деспирализуются, формируются ядерные оболочки и ядрышки, веретено деления исчезает. Кариокинез завершается, идёт цитокинез: у растений на экваторе закладывается перегородка, у животных - поперечная перетяжка.



Митоз в животной клетке (2n = 4): интерфаза; профаза и метафаза - 2n4c; анафаза - 4n4c в клетке; телофаза - 2n2c в каждой новой клетке. Гомологичные хромосомы - красная и синяя.

Митозом делятся и диплоидные, и гаплоидные клетки (например, клетки гаплоидных растений - мхов или заростка папоротника). Для гаплоидной клетки формулы те же, но вдвое меньше: интерфаза n2c, анафаза 2n2c, дочерние клетки nc.

Значение митоза

- Основа бесполого размножения (вегетативное размножение, почкование, фрагментация) и эмбрионального развития.
- Рост организма - увеличение числа соматических клеток.
- Замена старых и отмерших клеток, регенерация тканей и органов.
- Сохраняет постоянным число хромосом в соматических клетках: дочерние клетки генетически идентичны материнской.

Мейоз

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Мейоз

Деление, при котором из одной диплоидной клетки образуются четыре гаплоидные: два деления идут подряд, а ДНК удваивается только один раз - перед первым делением.

Конспект скачан с сайта kursteam.ru

Первое деление (мейоз I) называют **редукционным**: число хромосом уменьшается вдвое. Второе (мейоз II) - **эквационным**, по механизму оно сходно с митозом. Перед мейозом проходит обычная интерфаза с репликацией, поэтому мейоз I начинается с набора 2n4c.

Мейоз I

1. **Профаза I (2n4c).** Хромосомы спирализуются, ядрышко исчезает. Идёт **конъюгация** - сближение гомологичных хромосом: пары образуют **биваленты** (тетрады - четыре хроматиды). Затем происходит **кроссинговер** - обмен гомологичными участками хромосом; места перекреста называют хиазмами. К концу профазы ядерная оболочка разрушается, центриоли расходятся к полюсам и формируют веретено деления.
2. **Метафаза I (2n4c).** Гомологичные хромосомы попарно, в виде бивалентов, выстраиваются в экваториальной плоскости - в две линии (над экватором и под ним). Нити веретена прикрепляются к центромере каждой хромосомы только с одной стороны.
3. **Анафаза I (2n4c в клетке, n2c у каждого полюса).** К полюсам расходятся целые гомологичные хромосомы, каждая из двух хроматид. Число хромосом у полюса уменьшается вдвое - это и есть **редукция**. Формула клетки не меняется: центромеры не делились.
4. **Телофаза I (n2c в каждой клетке).** Образуются два гаплоидных ядра с двухроматидными хромосомами; цитокинез бывает не всегда.

Между делениями - короткий **интеркинез** (у растений его может не быть). В отличие от интерфазы, репликации ДНК в нём нет: хромосомы и так двухроматидные.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

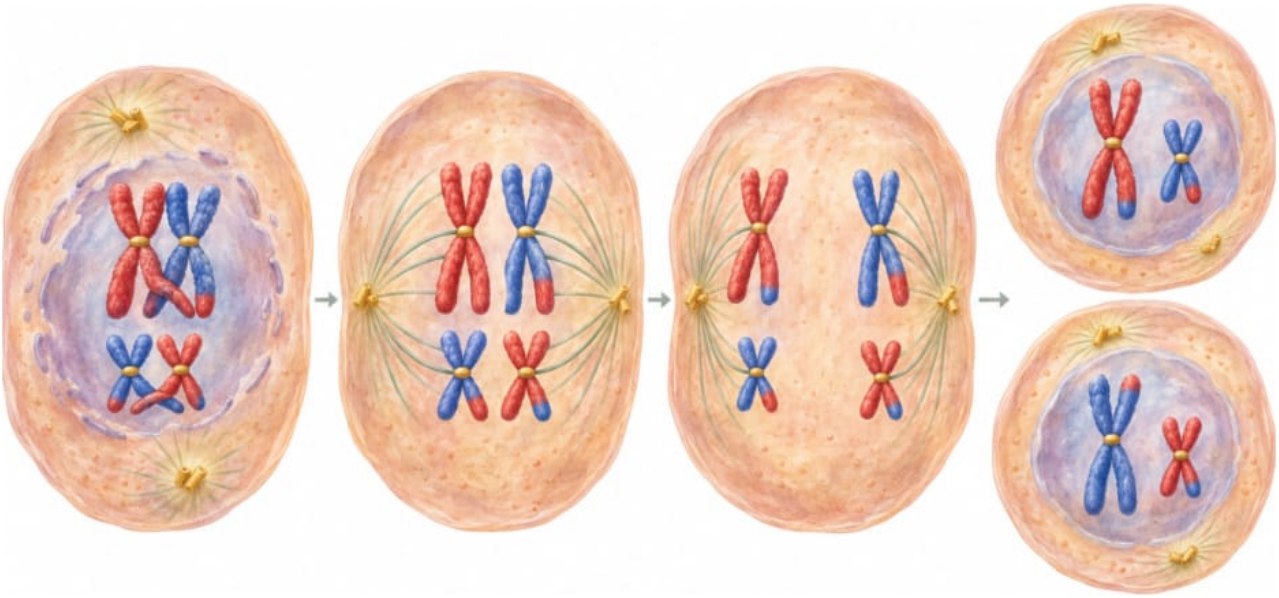
Конъюгация

Сближение гомологичных хромосом в профазе I мейоза, при котором они тесно контактируют одинаковыми участками и образуют биваленты.

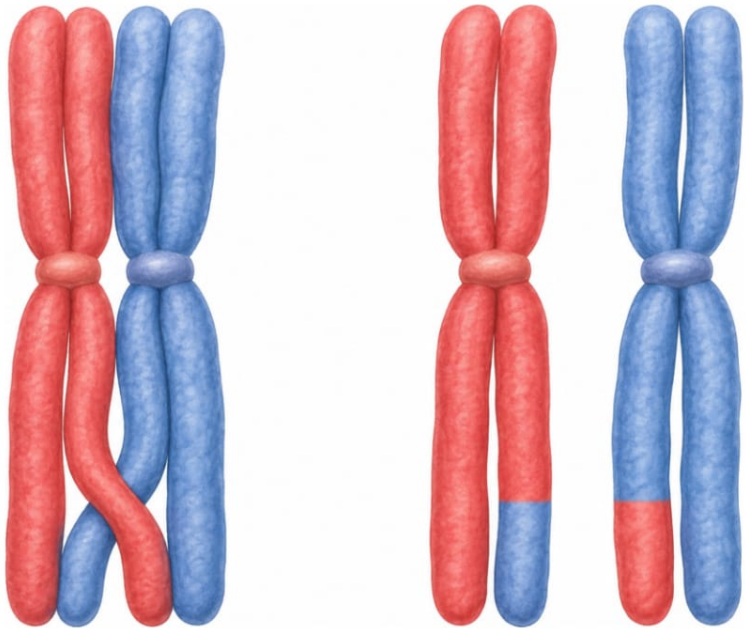
ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Кроссинговер

Обмен гомологичными участками между хромосомами бивалента. Перекомбинирует гены - это основа комбинативной (наследственной) изменчивости.



Мейоз I: профаза I и метафаза I - 2n4c, в анафазе I расходятся гомологичные хромосомы, после телофазы I - две клетки n2c. Цветные кончики - участки, которыми обменялись хроматиды при кроссинговере.



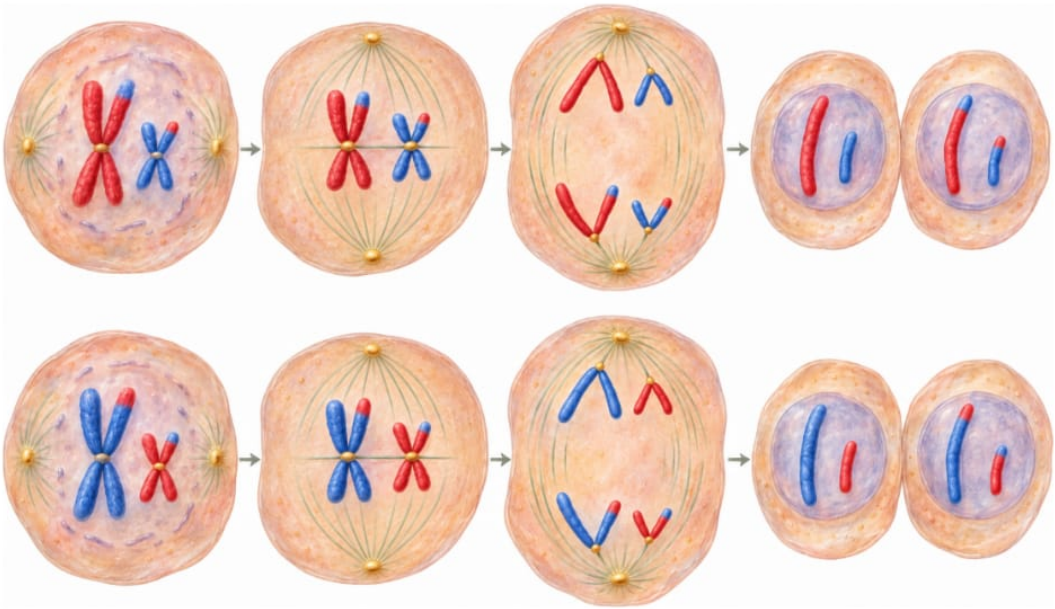
Конъюгация и кроссинговер: несестринские хроматиды гомологов обмениваются участками - так возникают новые сочетания генов.

Мейоз II

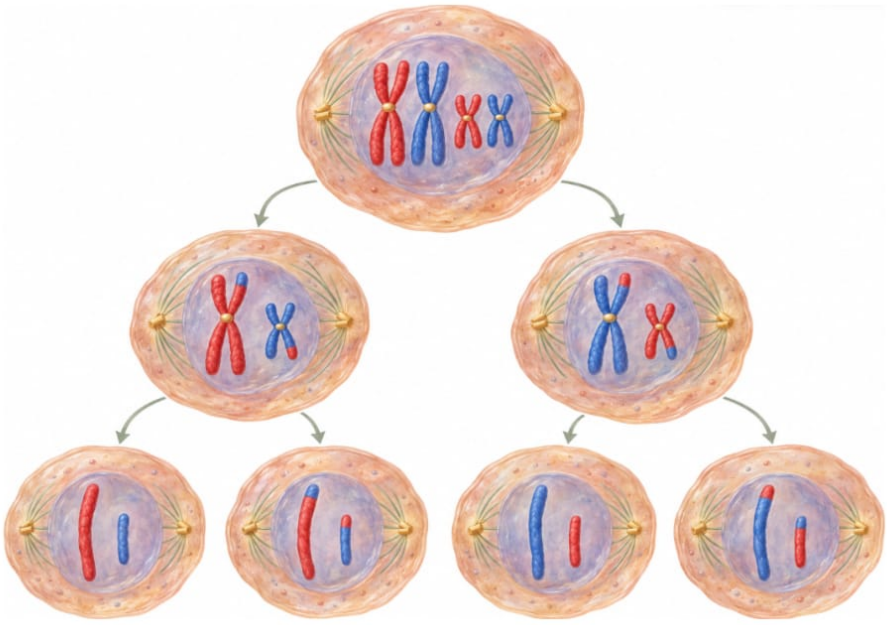
Идёт в обеих клетках сразу, по механизму - как митоз гаплоидной клетки.

1. **Профаза II (n2c).** Хромосомы спирализуются, ядрышко и ядерная оболочка разрушаются, образуется веретено деления.
2. **Метафаза II (n2c).** Негомологичные двухроматидные хромосомы выстраиваются по экватору в одну линию; нити веретена прикрепляются к центромерам с двух сторон.

3. **Анафаза II (2n2c в клетке, nc у каждого полюса).** Центромеры делятся, сестринские хроматиды расходятся к полюсам и становятся самостоятельными хромосомами. Число хромосом теперь равно числу молекул ДНК.
4. **Телофаза II (nc в каждой клетке).** Хромосомы деспирализуются, формируются ядра, идёт цитокинез. Итог всего мейоза - четыре гаплоидные клетки nc.



Мейоз II идёт как митоз гаплоидной клетки: n2c, в анафазе II расходятся хроматиды, итог - четыре клетки nc.



Из одной клетки 2n4c - две клетки n2c после мейоза I и четыре разные клетки nc после мейоза II.

Значение мейоза

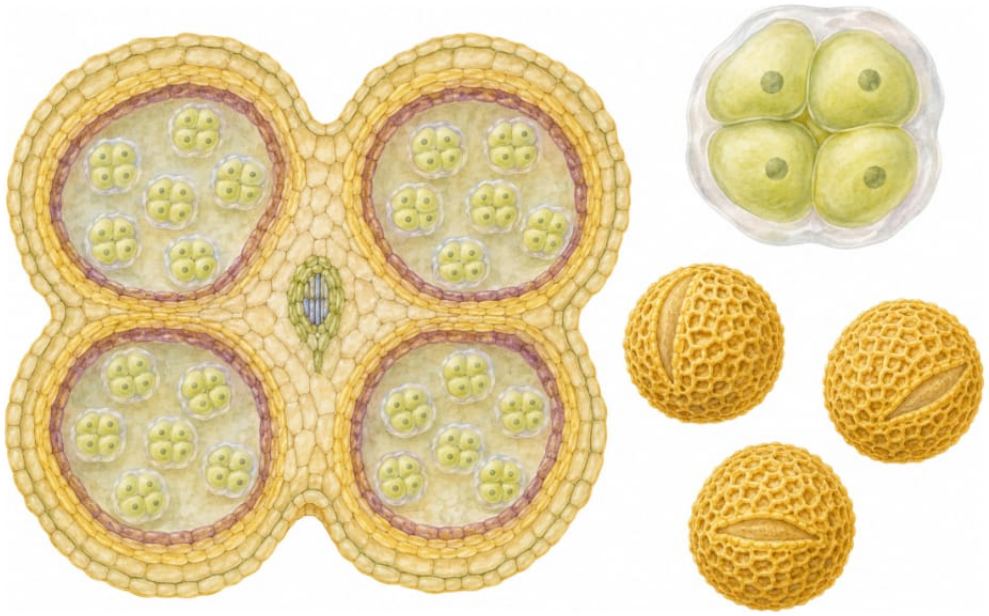
- Поддерживает постоянное число хромосом **из поколения в поколение**: гаметы гаплоидны, и после оплодотворения диплоидный набор восстанавливается.
- Основа комбинативной изменчивости: кроссинговер в профазе I и независимое расхождение гомологичных хромосом в анафазе I дают новые сочетания генов.
- У животных мейозом образуются гаметы, у растений - **споры**.



Гаметы человека - результат мейоза: яйцеклетка и сперматозоиды гаплоидны (n). Ооцит до оплодотворения остановлен в метафазе II.

ЗАПОМНИ

У растений наоборот, чем привыкли думать про животных: **споры образуются мейозом** (из диплоидных клеток спорогенной ткани), а **гаметы - митозом** из клеток гаплоидного растения или пыльцевого зерна. Поэтому микроспора и пыльцевое зерно красной смородины несут одинаковый набор хромосом.



Мейоз у растений: в пыльнике из каждой материнской клетки образуются четыре гаплоидные микроспоры (тетрада), из них - пыльцевые зёрна.

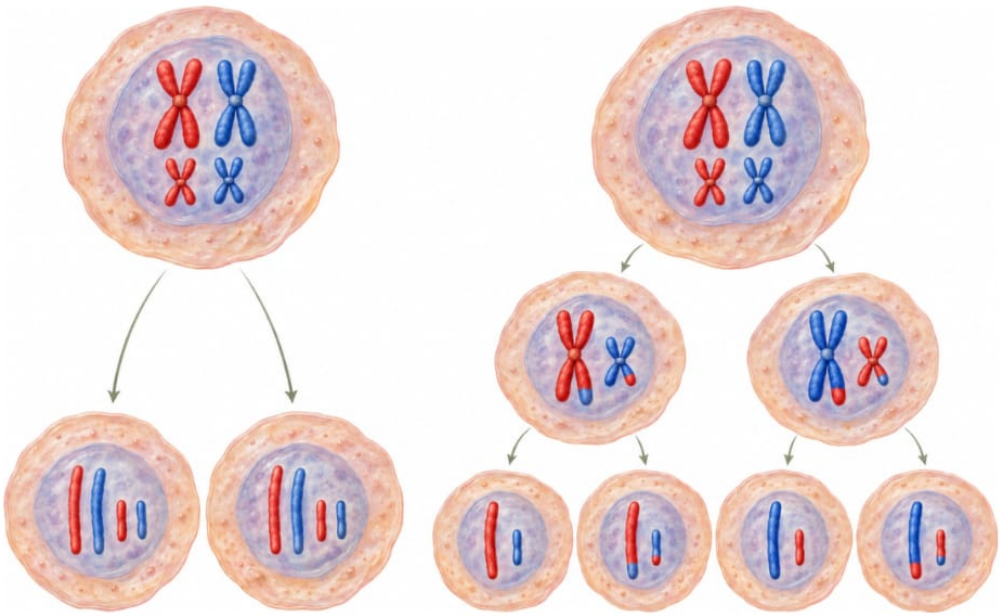
Формулы по фазам

Фаза	Митоз	Мейоз I	Мейоз II
Профаза	2n4c	2n4c	n2c
Метафаза	2n4c	2n4c	n2c
Анафаза (в клетке)	4n4c	2n4c	2n2c
Анафаза (у каждого полюса)	2n2c	n2c	nc
Телофаза (в каждой клетке)	2n2c	n2c	nc

Митоз и мейоз: отличия

	Митоз	Мейоз
Число делений	одно	два подряд, репликация - только перед первым
Конъюгация и кроссинговер	нет	есть, в профазе I
Метафаза	хромосомы по экватору в одну линию	в метафазе I биваленты в две линии
Анафаза	расходятся сестринские хроматиды	в анафазе I - гомологичные двухроматидные хромосомы, в анафазе II - хроматиды
Итог	2 клетки с набором материнской (2n2c из 2n2c)	4 гаплоидные клетки (nc)
Дочерние клетки генетически	идентичны материнской	различаются: новые сочетания генов

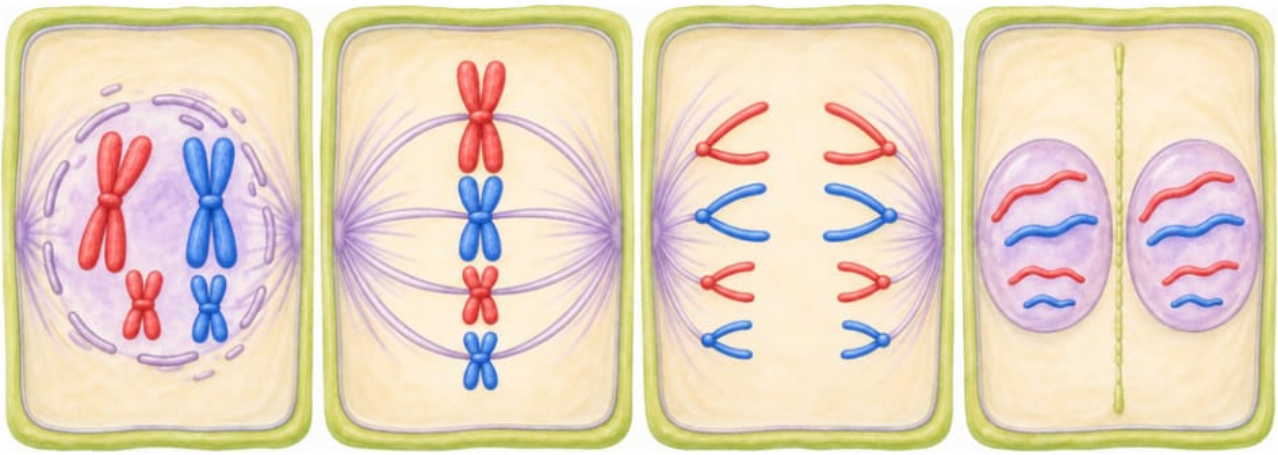
Роль	рост, регенерация, бесполое размножение	образование гамет у животных и спор у растений



Итог: митоз - одно деление, из клетки 2n4c две одинаковые клетки 2n2c; мейоз - два деления, четыре разные гаплоидные клетки nc.

Как отличить деление на рисунке

Сначала реши, **диплоидна ли клетка**: если у каждой хромосомы есть парная такого же размера и формы - набор 2n; если все хромосомы разные - набор n (значит, перед тобой митоз гаплоидной клетки или мейоз II).



Митоз в растительной клетке: центриолей нет, в телофазе вместо перетяжки посередине растёт клеточная пластинка.

- Разрушается ядро (пунктирная оболочка), хромосомы отдельные - **профаза митоза-**; гомологичные хромосомы сближены парами или перекрещены - **профаза мейоза I**.
- Хромосомы по экватору в одну линию - **метафаза митоза** (или метафаза II, если клетка гаплоидна); биваленты в две линии - **метафаза I**.

- К полюсам идут однохроматидные хромосомы (палочки) - **анафаза митоза** (или анафаза II); двухроматидные (буквы X) - **анафаза I**.
- Клетка-«восьмёрка» с двумя ядрами - телофаза; считай хромосомы и хроматиды, чтобы понять, какого деления.

Как это спрашивают на ЕГЭ

- **Линия 3 - счётная задача.** «В клетке, образованной мейозом, 4 хромосомы - сколько в соматической?» (вдвое больше), «сколько молекул ДНК перед митозом в конце интерфазы, если 32 хромосомы?» (вдвое больше - 64), «сколько аутосом в соматической клетке при 2n = 44?» (44 минус 2 половые = 42), «сколько X-хромосом в яйцеклетке?» (всегда 1). Помни: все соматические клетки одного организма (печени, матки, нейроны) несут одинаковый набор.
- **Линии 5-6 - рисунок или схема.** Схема клеточного цикла (найти период, где завершается подготовка к делению, - G2; где удваивается ДНК - S), микрофотография делящихся клеток (узнать фазу), рисунок бивалента (показать центромеру, хиазму, хроматиду). В соответствиях - распределить процессы по периодам и фазам: рост и синтез ДНК-полимеразы - G1, репликация - S, компактизация и расхождение - митоз, работа генов и ядрышко - интерфаза.
- **Линия 7 - выбор трёх из шести.** Что относится к интерфазе: рост клетки, синтез АТФ, репликация. Не относятся: веретено деления, цитокинез, кроссинговер, расхождение хромосом.
- **Линия 8 - последовательность.** Репликация → спирализация → разрушение ядерной оболочки → метафазная пластинка → расхождение → деспирализация. Для мейоза: конъюгация → кроссинговер → биваленты на экваторе → расхождение двухроматидных хромосом → ядра n2c → расхождение хроматид → ядра nc.
- **Линия 24 - рисунок с ошибками или объяснение.** Определить тип и фазу деления, объяснить, почему дочерние клетки идентичны или различны.
- **Линия 27 - задача на наборы хромосом и ДНК** по фазам (разбор ниже).

Ключевые слова: клеточный цикл, интерфаза, репликация, двухроматидная хромосома, веретено деления, метафазная пластинка, центромера, бивалент (тетрада), конъюгация, кроссинговер, редукция, интеркинез, кариокинез, цитокинез.

Ловушки

ЛОВУШКА ЕГЭ

В анафазе митоза - 4n4c. Центромеры разделились, и каждая хроматида считается самостоятельной хромосомой: хромосом 4n, молекул ДНК по-прежнему 4c. У каждого полюса при этом 2n2c.

ЛОВУШКА ЕГЭ

В анафазе I мейоза формула клетки не меняется - 2n4c. К полюсам расходятся целые двухроматидные хромосомы, центромеры не делятся. Редукция видна по полюсам: у каждого n2c.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Редукция происходит в первом делении мейоза, а не во втором. Мейоз II число хромосом не уменьшает: он разводит хроматиды, как митоз.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Перед мейозом II репликации нет. Между делениями - интеркинез, а хромосомы уже двухроматидные. ДНК в мейозе удваивается один раз - в интерфазе перед мейозом I.

ЛОВУШКА ЕГЭ

У растений споры образуются мейозом, а гаметы - митозом. Из микроспоры митозом развивается пыльцевое зерно, из мегаспоры - зародышевый мешок с яйцеклеткой. Набор хромосом при митозе не меняется: в пыльцевом зерне он такой же, как в микроспоре.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Веретено деления образуется в профазе, а не в метафазе. В метафазе его нити уже прикрепляются к центромерам: в митозе и мейозе II - с двух сторон, в метафазе I - с одной стороны к каждой хромосоме бивалента.

ЛОВУШКА ЕГЭ

Кроссинговер - не в интерфазе. Репликация (S-период) и рост - интерфаза; конъюгация и кроссинговер - профаза I мейоза.

Как писать ответ

Задача 27 на наборы хромосом и ДНК решается по алгоритму.

1. Определи, **какое деление и зачем**: у животных гаметы образуются мейозом; у растений мейозом образуются споры, а гаметы - митозом из гаплоидных клеток.
2. Запиши стартовый набор: соматическая клетка - 2n2c, после репликации в S-периоде - 2n4c.
3. Иди по фазам и следи за событием каждой фазы: до конца анафазы I - 2n4c; после первого деления - n2c; в анафазе II - 2n2c (хроматиды разошлись); после второго деления - nc.
4. Переведи буквы в числа задачи и **объясни каждую цифру**: почему ДНК вдвое больше (репликация, двухроматидные хромосомы), почему хромосом вдвое меньше (редукция - разошлись гомологичные), почему хромосом и ДНК поровну (разошлись сестринские хроматиды).

КАК ПИСАТЬ ОТВЕТ

В соматической клетке ржи 14 хромосом. Определи число хромосом и молекул ДНК при образовании спор в метафазе I и в анафазе II мейоза. Объясни результаты.

1. Споры у растений образуются из диплоидных клеток спорогенной ткани путём мейоза.
2. В метафазе I: 14 хромосом, 28 молекул ДНК (набор 2n4c).
3. Перед мейозом в S-периоде интерфазы ДНК реплицировалась, хромосомы стали двухроматидными, поэтому молекул ДНК вдвое больше, чем хромосом.
4. В анафазе II: 14 хромосом, 14 молекул ДНК (набор 2n2c).
5. После редукционного мейоза I клетки гаплоидные (7 двухроматидных хромосом, n2c); в анафазе II центромеры делятся, сестринские хроматиды расходятся к полюсам и становятся самостоятельными хромосомами - поэтому число хромосом равно числу молекул ДНК.

КАК ПИСАТЬ ОТВЕТ

Почему дочерние клетки после митоза генетически идентичны материнской, а после мейоза - различаются?

1. Перед митозом ДНК реплицируется: каждая хромосома состоит из двух одинаковых сестринских хроматид.
2. В анафазе митоза сестринские хроматиды расходятся по одной в каждую дочернюю клетку - обе клетки получают полную копию генетической информации материнской клетки.
3. В мейозе в профазе I происходит кроссинговер - хромосомы обмениваются участками, а в анафазе I гомологичные хромосомы расходятся независимо друг от друга.
4. Поэтому гаметы (споры) несут разные сочетания генов - возникает комбинативная изменчивость.

Проверь себя

1. Какой набор хромосом и ДНК в метафазе митоза и почему?

Ответ: 2n4c: ДНК удвоилась ещё в S-периоде интерфазы, поэтому все хромосомы двухроматидные, а их число не менялось.

2. Из клетки спорогенной ткани с 20 хромосомами образовалась спора. Сколько в ней хромосом?

Ответ: 10: споры у растений образуются мейозом, а он уменьшает число хромосом вдвое.

3. Чем бивалент отличается от двухроматидной хромосомы?

Ответ: Бивалент - это две конъюгировавшие гомологичные хромосомы, то есть четыре хроматиды. Двухроматидная хромосома - одна хромосома из двух сестринских хроматид.

4. Почему в анафазе I мейоза формула остаётся 2n4c, а в анафазе митоза становится 4n4c?

Ответ: В анафазе I расходятся целые двухроматидные хромосомы - их число в клетке не меняется. В анафазе митоза центромеры делятся, и каждая хроматида считается самостоятельной хромосомой.

5. В какой период интерфазы удваивается ДНК и что при этом происходит с хромосомами?

Ответ: В синтетический (S): к каждой хроматиде достраивается сестринская, хромосомы становятся двухроматидными, набор - 2n4c.

ЗАДАНИЯ ПО ТЕМЕ

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

© 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.