

# **Преимственность наследственности в ряду поколений**

**Вегетативное размножение и значение митоза в передаче наследственной информации**

**Половое размножение и значение мейоза в передаче наследственной информации**

**Спорогенез и гаметогенез**

**Формирование мужских и женских половых клеток**

**Оплодотворение**

**Апомиксис, партенокарпия и партеноспермия**

# Вегетативное размножение

- В основе размножения всех живых организмов лежит универсальный процесс – **деление клетки**.
- Виды вегетативного размножения растений – прививка, корневыми отпрысками, укоренение черенков, отводками, отдельными почками, отдельными клетками и тканями.
- При вегетативном размножении из группы соматических клеток путем многократного деления воспроизводится целый организм, который полностью походит на исходную особь

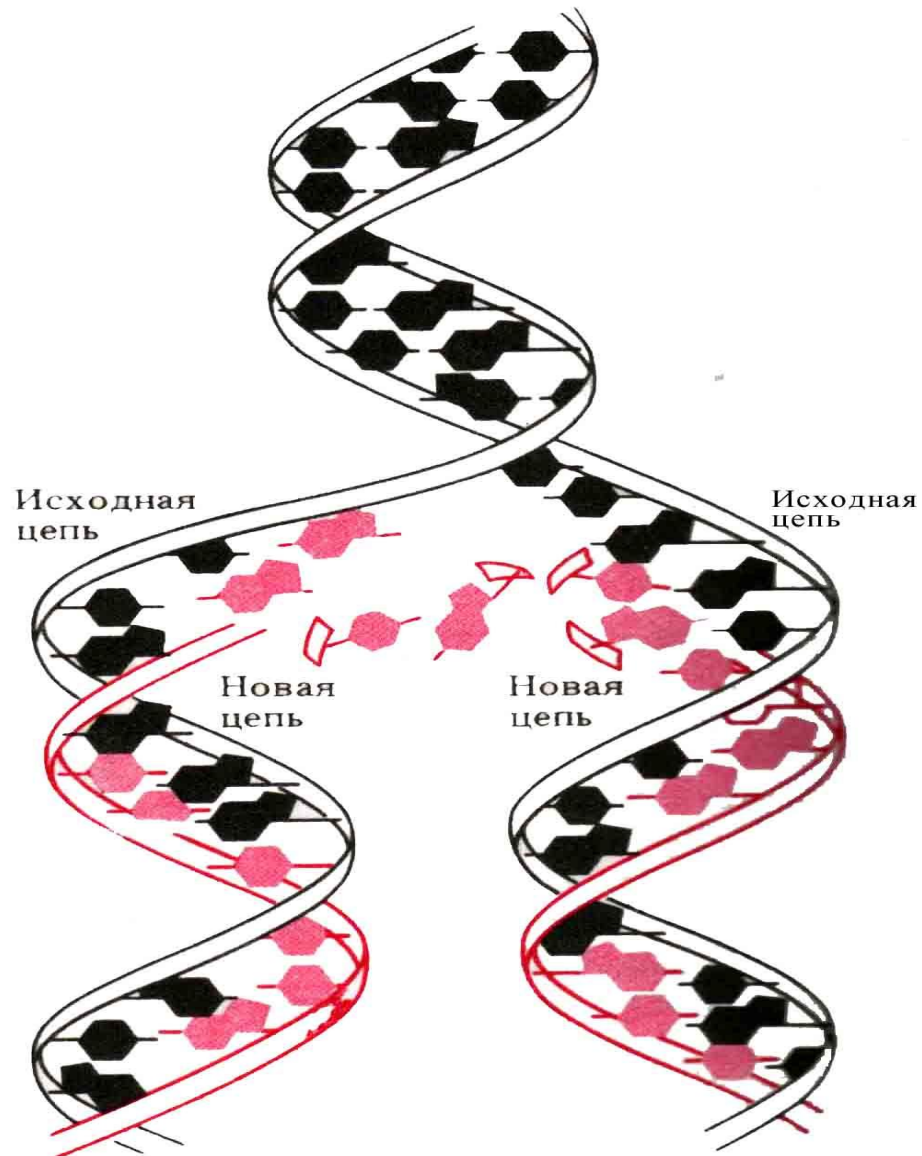
# МИТОЗ

- В соматических клетках любого организма содержится полный набор хромосом, свойственный данному виду и включающий всю наследственную программу
- Передача наследственности из поколения в поколение без изменения передается при вегетативном размножении благодаря клеточному делению, главным в котором является митоз – не прямое деление клеточного ядра

# Стадии митоза

- Митоз включает четыре стадии – профазу, метафазу, анафазу и телофазу
- Между двумя последовательными делениями ядро находится в стадии интерфазы
- Главный процесс в интерфазе – удвоение молекул ДНК или редупликация ДНК

# Репликация ДНК



# Стадии митоза

- **Профаза** – ядро заметно увеличивается, в нем заметны двойные нити хромосом, скрепленные центромерой. Они сильно спирализуются и становятся видимыми
- **Метафаза** – хромосомы достигают максимальной спирализации и располагаются в центре ядра, образуя так званую метафазную пластинку

# Стадии митоза

- **Анафаза** – центромеры делятся и каждая из двух хроматид отходит к противоположным полюсам клетки
- **Телофаза** - хромосомы раскручиваются и превращаются в хроматиновые нити. Образуется оболочка ядра и само ядро с ядрышком

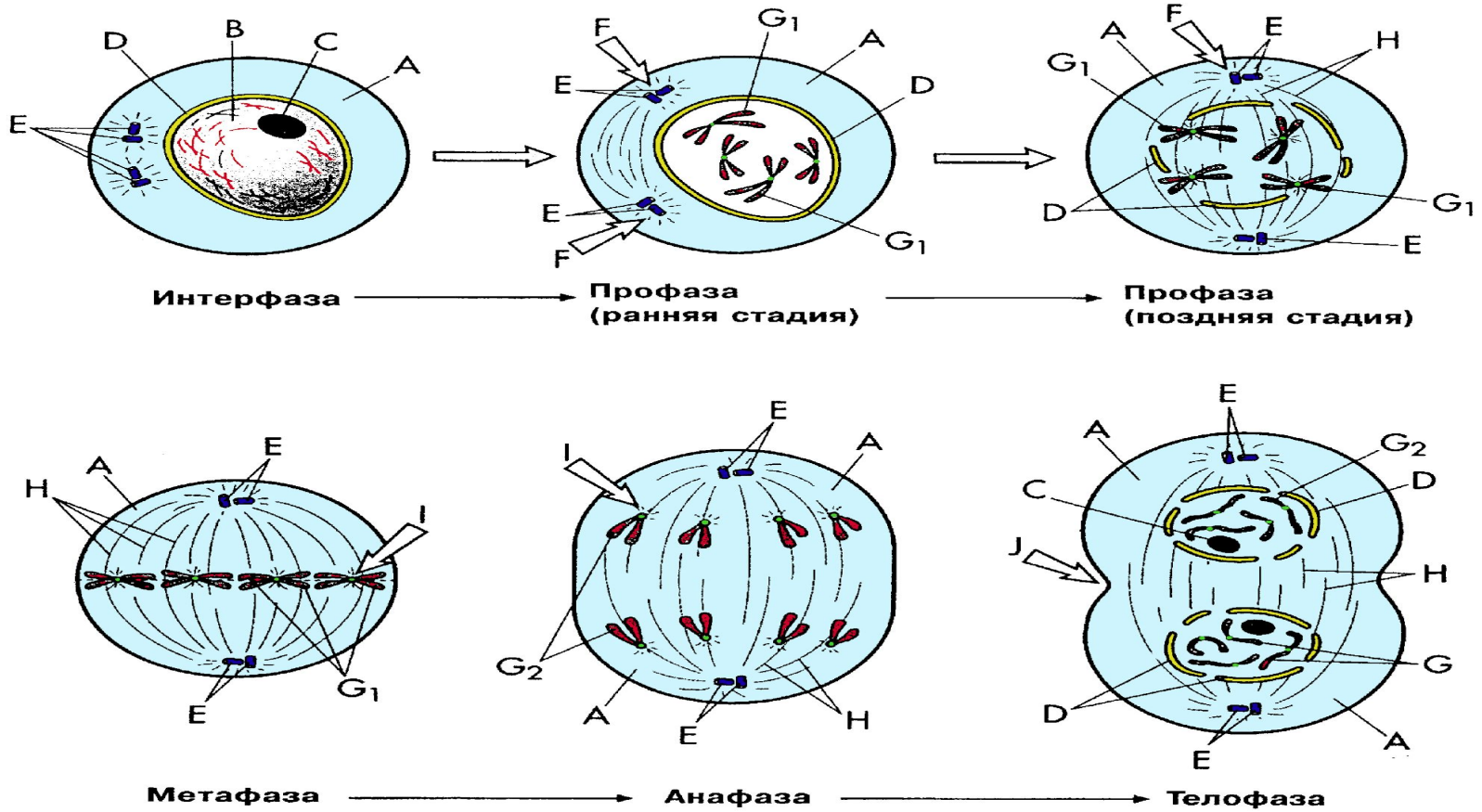
# Результат митоза

- В результате митоза при росте организма вновь образующиеся соматические клетки получают полный набор хромосом, содержащий наследственную программу.
- При вегетативном размножении из одной клетки с полным набором хромосом возникают две клетки с таким же набором хромосом
- Благодаря этому сохраняется полная преемственность наследственности при вегетативном размножении



# Схема митоза

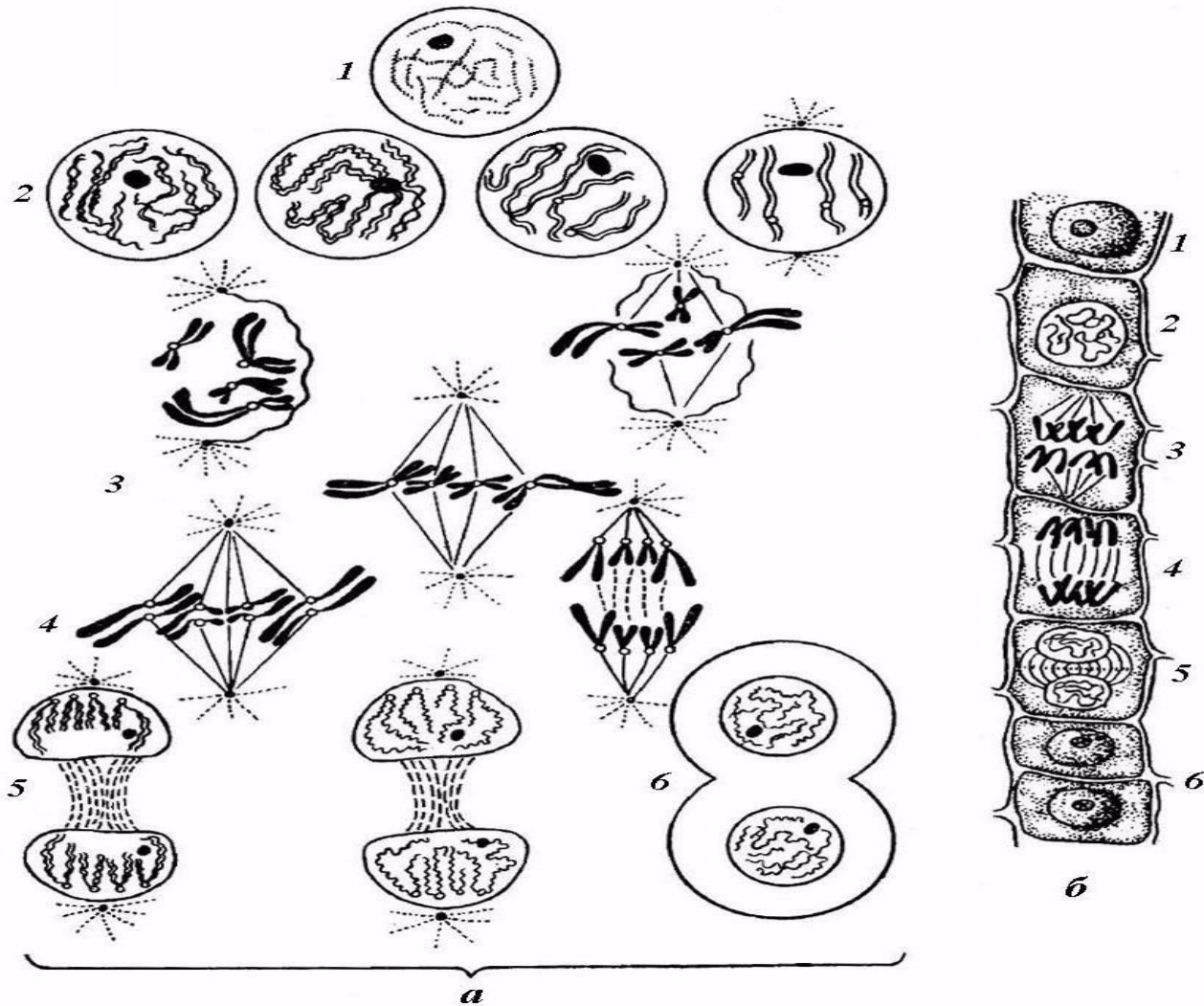
## МИТОЗ



### Митоз

Цитоплазма .....	A	Центриоли .....	E	Нити веретена .....	H
Ядро (хроматин) .....	B	Астеры .....	F	Кинетохор .....	I
Ядрышко .....	C	Хроматиды .....	G <sub>1</sub>	Перемычка .....	J
Нуклеарная мембрана ..	D	Хромосомы .....	G <sub>2</sub>		

# Схема митоза



# Половое размножение

- При половом размножении организмы на определенном этапе своего развития формируют специальные мужские и женские половые клетки, которые объединяясь образуют исходную клетку - **зиготу**. Из зиготы в процессе клеточного деления формируется новый организм
- **Преимущества полового размножения** – оно обеспечивает большую численность потомства; увеличивает наследственную изменчивость

# Половое размножение

- Половой процесс размножения предусматривает образование мужских и женских половых клеток. Это специализированные клетки, которые содержат а два раза меньше хромосом, т.е. **гаплоидный набор**.
- В формировании половых клеток существенная роль принадлежит механизму, обеспечивающему уменьшение числа хромосом в этих клетках. Он заключается в особом типе клеточного деления, который называется **мейозом**.

# Мейоз

- Мейоз включает два последовательных деления ядра.
- Первое заключается в уменьшении числа хромосом вдвое и называется **редукционным**
- Второе сходно с митозом и называется **эквационным**

# Стадии мейоза

- В **профазе I** гомологичные хромосомы притягиваются друг к другу и соединяются по всей длине, образуя биваленты. Этот процесс называется **конъюгацией гомологичных хромосом**. Каждый бивалент состоит из четырех хроматид.
- Очень часто несестринские хроматиды перекрещиваются между собой. В местах их перекреста могут происходить обмены генами. Это явление носит название **кроссинговера**.

# Стадии мейоза

- В **метафазе I** видны хромосомы, образующие веретено деления; с полюса клетки можно рассмотреть биваленты и сосчитать их число. Гомологичные хромосомы своими центромерами направлены к противоположным полюсам клетки

# Стадии мейоза

- В **стадии анафазы I** хромосомы расходятся к противоположным полюсам, в результате чего их число в будущих дочерних ядрах уменьшается вдвое. При этом очень важно, что отцовская и материнская хромосомы каждой гомологичной пары могут отходить к любому из двух полюсов, подчиняясь случаю. Каждая пара ведет себя независимо от других пар хромосом
- Каждая хромосома остается двойной: сестринские хроматиды все это время держатся вместе благодаря общей центромере



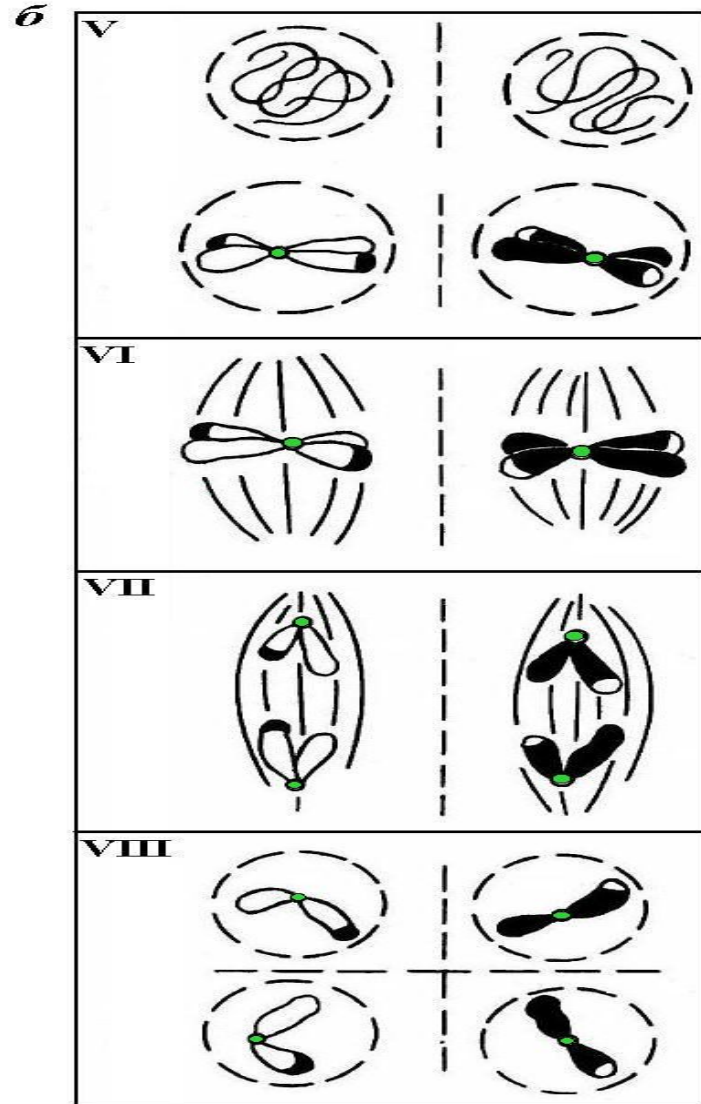
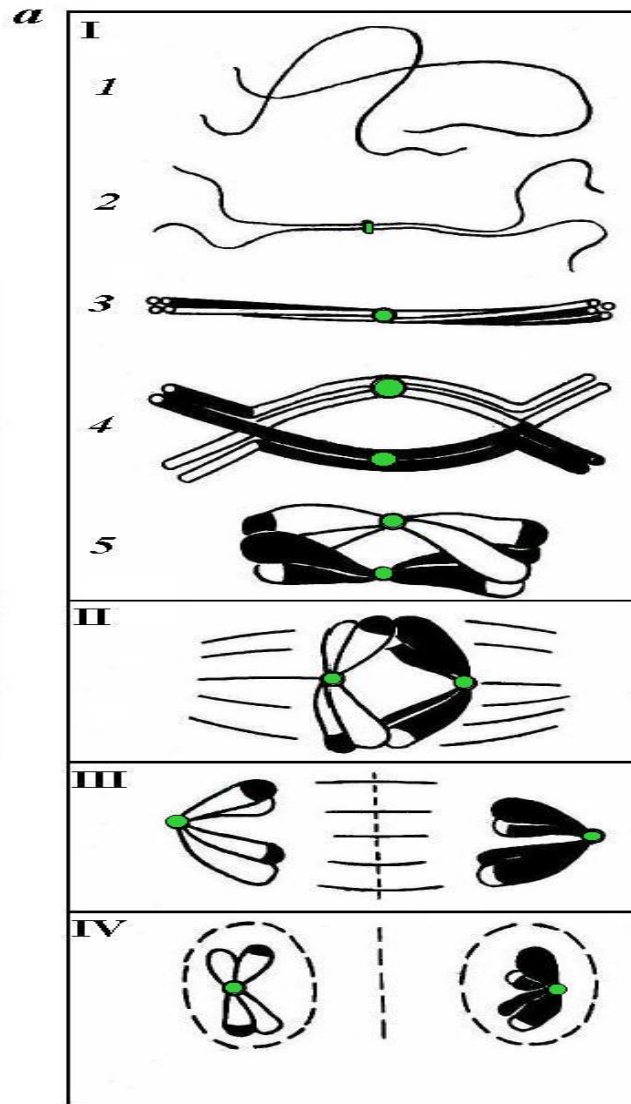
# Стадии мейоза

- В **телофазе I** внутри клетки видны два ядра, более мелкие по размеру, чем исходные с гаплоидным набором хромосом
- В результате **первого редукционного деления** образуются два ядра с половинным гаплоидным числом хромосом

# Второе эквационное деление

- При **втором делении** каждое дочернее ядро вновь делится, но уже митотически, с сохранением во вновь образовавшихся дочерних ядрах гаплоидных наборов хромосом
- В итоге **мейоза** из одной материнской клетки с диплоидным набором хромосом образуются четыре клетки с половинным (гаплоидным) набором хромосом

# Схема мейоза



# Спорогенез и гаметогенез

- Процесс формирования половых клеток подразделяется на два этапа:
- первый этап называется спорогенезом, он включает мейоз и заканчивается образованием гаплоидных клеток – спор;
- второй этап называется гаметогенезом, из спор через ряд митотических делений образуются зрелые половые клетки

# Спорогенез и гаметогенез

- Мужские половые клетки образуются в пыльцевых зернах - микроспорах, поэтому процесс их образования складывается из микроспорогенеза и микрогаметогенеза.
- Женские половые клетки образуются в зародышевых мешках – макроспорах, поэтому процесс их образования складывается из макроспорогенеза и макрогаметогенеза

# Формирование мужских половых клеток. Микроспорогенез.

- В субэпидермальной ткани молодого пыльника обособляется спорогенная ткань – археспорий
- Каждая его клетка после ряда митотических делений становится материнской
- Материнская клетка проходит все стадии мейоза и каждая из них дает по четыре клетки с гаплоидным набором хромосом
- Они располагаются вместе и называются тетрадами
- Вскоре тетрады распадаются на отдельные клетки - микроспоры, у них образуется внутренняя и наружная оболочка. На этом микроспорогенез заканчивается

# Микрогаметогенез

- Ядро каждой микроспоры делится митотически и образуются две клетки: вегетативная и генеративная
- Вегетативная клетка больше не делится, она увеличивается в размерах и накапливает питательные вещества, которые используются для вторичного деления генеративной клетки и роста пыльцевой трубочки
- Генеративная клетка делится вторично и образуются две клетки, которые и являются зрелыми половыми клетками - спермиями

# **Формирование женских половых клеток. Макроспорогенез**

- **В молодой семязпочке обособляется одна архиспориальная клетка.**
- **Архиспориальная клетка проходит все стадии мейоза, в результате которого образуется тетрада гаплоидных клеток – спор.**
- **В дальнейшем продолжает развиваться только одна из четырех клеток, остальные разрушаются**



# Макрогаметогенез у лиственных

- Оставшаяся клетка растет, превращаясь в зародышевый мешок - макроспору.
- Ядро макроспоры делится трижды митотическим путем, образуя восемь наследственно одинаковых гаплоидных ядер.
- Эти ядра обособляются в отдельные клетки
- Одна из них становится яйцеклеткой - женской половой клеткой
- Две другие называются синергидами

# Макрогаметогенез у лиственных

- Еще две клетки объединяются своими ядрами и образуют центральную клетку зародышевого мешка с диплоидным набором хромосом
- Остальные три клетки располагаются в другом конце зародышевого мешка и называются антиподами

# Макрогаметогенез у хвойных

- Оставшаяся одна из четырех клеток интенсивно делится митотически и образует многоклеточный бесцветный эндосперм, содержащий запасные питательные вещества для будущего зародыша
- Следовательно, у хвойных эндосперм возникает до оплодотворения и не зависит от него. Его клетки содержат гаплоидный набор хромосом.
- На вершине эндосперма, обращенной к пыльнику, формируются архегонии, которые имеют по одной яйцеклетке

# Оплодотворение у лиственных

- **Оплодотворение или сингамия – процесс соединения гаплоидных мужской и женской половых клеток и образование исходной клетки – зиготы с диплоидным набором хромосом.**
- **Зрелое пыльцевое зерно, попав на рыльце пестика, прорастает, образуется пыльцевая трубочка, которая проникает внутрь завязи.**

# Оплодотворение у лиственных

- Пыльцевая трубочка достигает яйцевого аппарата – яйцеклетки и двух синергид – и лопается.
- Один из спермиев внедряется в яйцеклетку и их ядра сливаются
- Этот процесс является главным в оплодотворении у растений, так как в возникшей зиготе восстанавливается диплоидный набор хромосом.
- Из зиготы развивается зародыш семени

# Оплодотворение у лиственных

- Второй спермий сливается с диплоидным ядром центральной клетки зародышевого мешка.
- В результате образуется триплоидный эндосперм
- Процесс двойного оплодотворения был открыт русским ученым С.Г. Новашиным в 1898 г и характерен только для лиственных.

# Оплодотворение у хвойных

- У хвойных зрелое пыльцевое зерно, попав на пыльцеход семязпочки, прорастает пыльцевой трубкой, которая растет по направлению к архегониям.
- Достигнув архегония, пыльцевая трубка лопаются и один из спермиев сливается с гаплоидным ядром яйцеклетки.
- Происходит оплодотворение, возникает зигота, из которой развивается зародыш.
- Зародыш со всех сторон окружен эндоспермом, который снабжает его питательными веществами при прорастании.

# Результат оплодотворения

- Таким образом, в результате оплодотворения осуществляется важное генетическое явление, необходимое для существования вида – восстановление диплоидного набора хромосом, т.е. парности гомологичных хромосом, и, следовательно, объединение в одном индивидууме наследственных свойств материнского и отцовского организмов.



# Апомиксис

- **Апомиксис – развитие зародыша из неоплодотворенной яйцеклетки или из других элементов зародышевого мешка**
- **При апомиксисе в клетках зародыша будут находиться лишь материнские хромосомы, содержащие наследственную программу только материнского организма**

# Варианты апомиксиса

- **Партеногенез – возникновение зародыша из неоплодотворенной яйцеклетки**
- **Апогамия – зародыш образуется из синергиды или антиподы (апогамия бывает только у листовенных).**
- **Апоспория – в семяпочке отсутствует макроспорогенез, а зародышевый мешок развивается из вегетативной диплоидной клетки. Из диплоидной клетки развивается также зародыш.**

# Использование апомиксиса

- Апомиксис используется для сохранения у потомства материнской наследственности, особенно для тех пород, которые не размножаются вегетативным путем
- Партенокарпия – образование плодов без семян
- Партеноспермия – образование семян без зародыша
- Причина партенокарпии и партеноспермии – неблагоприятные погодные условия в период образования половых клеток или во время опыления

# Закономерности наследования

- **Взаимодействие аллельных генов.**
- **Взаимодействие неаллеломорфных генов.**
- **Сцепленное наследование.**  
**Кроссинговер**

## **Основные положения**

- **Наследственные признаки обусловлены генами.**
- **Гены – отдельные участки ДНК хромосом**
- **Локус – место расположения гена на хромосоме**
- **В каждой паре гомологичных хромосом содержатся два родственных гена, которые отвечают за развитие одного признака**
- **Локусы родственных генов расположены в одинаковых местах гомологичных хромосом**

## Основные положения

- Аллель – это один ген из пары находящийся в сходном локусе и контролирующей развитие альтернативных признаков. Аллелем называется еще форма состояния гена
- Взаимодействие генов, находящихся в одинаковых локусах гомологичных хромосом, называется аллельным или аллеломорфным
- Гомозиготный организм – имеющий в одном и том же локусе гомологичных хромосом одинаковые по характеру действия гены (AA, aa, BB, vv)
- Гетерозиготный организм – имеющий в одном и том же локусе гомологичных хромосом разные по характеру действия гены (аллели) (Aa, Bv)

# Формы взаимодействия аллельных генов

- Полное доминирование
- Неполное доминирование
- Кодоминирование

# Полное доминирование

- Наблюдается когда закономерности наследования подчиняются законам Менделя, когда в фенотипе гетерозигот присутствует продукт одного гена
- При перекрестном опылении двух гомозиготных особей с генами  $AA$  и  $aa$  в первом гибридном поколении все растения по фенотипу будут одинаковы, а по генотипу будут гетерозиготными т.е. иметь гены  $Aa$ .



# Неполное доминирование

- Фенотип гетерозигот имеет среднее значение.
- При скрещивании белых и красных цветков у львиного зева получаем розовые цветки.
- Во втором гибридном поколении идет расщепление: одно красноцветковое растение, два с розовыми цветками и одно с белыми цветками.
- При этом наблюдается полное соответствие между фенотипом и генотипом – гомозиготы  $AA$  имеют красные цветки, гетерозиготы  $Aa$  – розовые и гомозиготы  $aa$  - белые

# Кодоминирование

- Взаимодействие аллельных генов, при котором у гетерозигот в фенотипе присутствует продукт обоих генов
- Примером кодоминирования является наследования у человека группы крови систем АВО. Группа крови контролируется серией множественных аллелей одного гена. Три аллели формируют шесть генотипов ОО – первая, АА или АО – вторая, ВВ или ВО – третья, АВ – четвертая группа крови.

# Взаимодействие неаллельных генов

- **Гены расположенные в разных локусах и ответственные за проявление одного гена называются неаллельными**
- **Плейотропия** – множественное действие гена, когда один ген ответственен за ряд фенотипических эффектов.
- **Полигенная детерминация** – совместное действие нескольких генов на один признак.
- **Типы взаимодействия: комплементарность, эпистаз, полимерия, модификация**

# Комплементарность

- Комплементарность. Комплементарные гены – обуславливающие при совместном сочетании новое фенотипическое проявление признака.
- Расщепление – 9:3:3:1, 9:7, 9:3:4, 9:6:1.
- 9:3:3:1 – каждый доминантный ген имеет самостоятельное фенотипическое проявление, сочетание в генотипе этих двух генов обуславливает новое фенотипическое проявление, а их отсутствие – не дает развитие признака.

# Комплементарность

- Например – ген А обуславливает развитие голубой окраски оперения волнистых попугайчиков, ген В – желтой, а попугайчики с генотипом А\_В\_ - имеют зеленую окраску, а с генотипом аавв – белую.

# Комплементарность

- 9:7 – доминантные и рецессивные аллели комплементарных генов не имеют самостоятельного фенотипического проявления.
- Например, пурпурная окраска венчика цветка у душистого горошка развивается только при совместном сочетании в генотипе доминантных генов А и В, во всех остальных случаях окраска отсутствует, и венчик оказывается белым.

# Комплементарность

- 9:3:4 – доминантные и рецессивные аллели комплементарных генов имеют самостоятельное фенотипическое проявление.
- Например окраска у кроликов определяется двумя комплементарными генами: А - наличие окраски, а – отсутствие, В - черная окраска, в- голубая окраска

# Комплементарность

- 9:6:1 – сочетание доминантных аллелей комплементарных генов обеспечивает формирование одного признака, сочетание рецессивных аллелей этих генов – другого, а наличие в генотипе только одного из доминантных генов – третьего.
- Например, тыквы с генотипом  $A\_V\_$  имеют дисковидную форму плода, с генотипом  $aavv$  – удлиненную, а с генотипом  $A\_vv$  или  $aaV\_$  – сферическую



# Эпистаз

- Эпистатическим называют такое взаимодействие неаллельных генов, при котором один из них подавляет действие другого.
- Ген, подавляющий действие другого неаллельного гена, называется супрессором или ингибитором, и обозначается I или S. Подавляемый ген называется гипостатическим
- Эпистаз может быть доминантным и рецессивным

# Эпистаз

- Доминантным эпистазом называют подавление действия гена доминантной аллелью другого гена.
- Расщепление: 13:3 – наблюдается в том случае, если доминантная аллель эпистатического гена не имеет своего фенотипического проявления, а лишь подавляет действие другого гена, в то время как его рецессивная аллель не влияет на проявление признака.

# Эпистаз

- Например – у некоторых пород кур наличие доминантного эпистатического гена подавляет развитие окраски оперения, при его отсутствии куры окрашены
- 12:3:1 – наблюдается в том случае, если гомозиготная по рецессивным признакам особь имеет особый фенотип.
- Например – от скрещивания двух гетерозиготных собак щенки с генотипом  $I\_aa$  – имеют белую окраску, а с генотипом  $iiA\_$  - черную, а с генотипом  $ii\ aa$  - коричневую

# Рецессивный эпистаз

- Взаимодействие неаллельных генов, при котором рецессивная аллель эпистатического гена в гомозиготном состоянии подавляет действие другого гена.
- При одинарном рецессивном эпистазае рецессивная аллель одного гена подавляет действие другого ( $aa$  подавляет  $B\_$ ).
- При двойном – рецессивная аллель каждого гена в гомозиготном состоянии подавляет действие доминантной аллели ( $aa$  подавляет  $B\_$ ,  $vv$  подавляет  $A\_$ ).
- Расщепление 9:3:4 или 9:7

# Полимерия

- Взаимодействие неаллельных генов, однозначно влияющих на развитие одного и того же признака
- Такие гены называются полимерными или множественными и обозначаются одинаковыми буквами с соответствующими индексом (A1, A2, A3)
- Чаще всего полимерные гены контролируют количественные признаки (высота, масса, и т. д.)

# Полимерия

- Полимерия может быть кумулятивной (суммирующей, аддитивной) и некумулятивной
- При кумулятивной полимерии степень проявления признака зависит от числа доминантных аллелей соответствующих полимерных генов.
- Например, чем больше доминантных аллелей генов, отвечающих за окраску кожи, содержится в генотипе человека, тем его кожа темнее.

# Полимерия

- При некумулятивной полимерии степень развития признака зависит не от количества доминантных аллелей, а лишь от их наличия в генотипе. Например, куры с генотипом  $a_1, a_2, a_3$ , имеют неоперенные ноги, во всех остальных случаях – ноги оперены
- **Модифицирующие гены** - гены, усиливающие или ослабляющие действие других генов.

# Сцепленное наследование

- **Сцепленное наследование** - явление совместного наследования генов, локализованных в одной хромосоме (Первый закон Т.Моргана).
- **Материальной основой сцепления генов является хромосома**
- **Гены, локализованные в одной хромосоме, наследуются совместно и образуют одну группу сцепления**



# Сцепленное наследование

- Количество групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом.
- Цис-положение – доминантные аллели находятся в одной из пары гомологичных хромосом, а рецессивные – в другой
- Транс-положение – доминантные и рецессивные аллели гена находятся в разных гомологичных хромосомах

# Сцепленное наследование

- Полное сцепление – если гены, относящиеся к одной группе сцепления, всегда наследуются вместе
- Неполное сцепление – если между генами, относящимися к одной группе сцепления возможна рекомбинация

# Кроссинговер

- Сцепление генов может нарушаться в процессе кроссинговера, что приводит к образованию рекомбинантных хромосом
- В зависимости от особенностей образования гамет, различают:
- Кроссоверные гаметы – гаметы с хромосомами, претерпевшими кроссинговер
- Некроссоверные гаметы – гаметы с хромосомами, образованными без кроссинговера

# Кроссинговер

- Вероятность возникновения перекреста между генами зависит от их расположения в хромосоме: чем дальше друг от друга расположены гены, тем выше вероятность перекреста между ними
- За единицу расстояния между генами, находящимися в одной хромосоме, принят 1 % кроссинговера.
- Величина кроссинговера зависит от силы сцепления между генами и соответствует проценту рекомбинантных особей от общего числа потомков, полученных при скрещивании

# Кроссинговер

- Единица расстояния между генами названа морганидой (в честь Т.Моргана)
- Процент кроссинговера между генами вычисляют по формуле
- $X = (a+b) \times 100 / p$
- Где X процент кроссинговера,
- a- число кроссоверных особей одного класса, b – число кроссоверных особей другого класса, p – общее число особей

# Кроссинговер

- Величина кроссинговера не превышает 50%, если она выше, то наблюдается свободное комбинирование (независимое наследование)
- Согласно хромосомной теории наследственности, гены в хромосоме располагаются линейно

# Генетическая карта хромосомы

- Схематическое изображение относительного положения генов, входящих в одну группу сцепления называется генетической картой хромосомы
- О положении гена в группе сцепления судят по проценту кроссинговера (количеству кроссоверных особей): чем больше процент кроссинговера или количество кроссоверных особей, тем дальше будут расположены анализирующие гены

# Особенности решения задач

- Задачи на сцепленное наследование решаются аналогично задачам на моно- и дигибридное скрещивание.
- Наследование генов локализованных в одной хромосоме не подчиняется законам Менделя
- При полном сцеплении особь, гетерозиготная по всем рассматриваемым признакам образует два типа гамет



# Особенности решения задач

- При неполном сцеплении происходит образование кроссоверных и некроссоверных гамет
- Количество некроссоверных гамет всегда больше, чем кроссоверных;
- Процентное соотношение кроссоверных и некроссоверных гамет зависит от расстояния между генами

# Особенности решения задач

- Если известно расстояние между генами (в процентах кроссинговера или морганидах), то количество кроссоверных гамет определенного типа можно вычислить по формуле
- $P = \% \text{ кроссинговера} / 2, (2)$
- Где  $P$  – количество кроссоверных гамет определенного типа;
- Если известно количество кроссоверных особей, то процент кроссинговера между генами вычисляют по формуле (1)