

4. Охарактеризуйте основные свойства модификаций, приведите примеры.

5. Какие статистические методы применяются для анализа изменчивости количественных признаков? Какое практическое значение имеет знание закономерностей модификационной изменчивости признаков живых организмов?

6\*. Если примулу, которая в обычных условиях имеет красные цветки, перенести в оранжерею с температурой 30—35 °С и повышенной влажностью, новые цветки на этом растении будут уже белыми. Если это растение вернуть в условия относительно низкой температуры (15—20 °С), оно вновь начинает цвести красными цветками. Чем это можно объяснить?

7\*. Как вы думаете, почему на птицефабриках световой день у кур-несушек искусственно продлевают до 20 ч, а у петушков-бройлеров — сокращают до 6 ч в сутки?



ИЗУЧЕНИЕ МОДИФИКАЦИОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
КОМНАТНЫХ РАСТЕНИЙ



## § 37. Генотипическая изменчивость

Выделяют два вида генотипической (наследственной) изменчивости: комбинативную и мутационную.

**Комбинативная изменчивость.** Из курса биологии 10-го класса вам известно, что для полового размножения характерно появление у родительских особей разнообразного потомства. Организмы нового поколения отличаются как от родительских форм, так и друг от друга. Главная причина этих различий заключается в том, что при половом размножении каждый потомок наследует уникальное сочетание генов своих родителей. Изменчивость, обусловленную возникновением у потомства новых сочетаний (комбинаций) родительских генов, называют **комбинативной**. Структура самих генов при этом не изменяется.

Источниками комбинативной изменчивости являются следующие процессы.

- Кроссинговер, происходящий в профазе I мейоза.
- Независимое расхождение гомологичных хромосом в анафазе I мейоза и сестринских хроматид (дочерних хромосом) в анафазе II.
- Случайное слияние гамет при оплодотворении.

Первые два процесса обеспечивают формирование гамет с разными комбинациями генов. Случайное слияние половых клеток приводит к образованию зигот с различными сочетаниями генов обоих родителей. В результате у потомков появляются новые комбинации родительских признаков, а также новые признаки, которых не было у родителей.

Примерами комбинативной изменчивости могут служить рождение детей с кровью I или IV группы у гетерозиготных родителей, имеющих кровь

II и III групп, или голубоглазого ребенка у кареглазых гетерозиготных отца и матери. При этом у потомков возникают новые признаки, отличные от родительских. Еще одним примером может быть появление мух с серым телом и зачаточными крыльями, с черным телом и нормальными крыльями при скрещивании дигетерозиготной дрозофилы (серое тело, нормальные крылья) с черным самцом, имеющим зачаточные крылья (см. рис. 79 на с. 177). В данном случае у потомства вследствие кроссинговера появляются новые сочетания признаков родителей.

Таким образом, комбинативная изменчивость является важным поставщиком разнообразия живых организмов.

**Мутационная изменчивость.** Причиной этого типа изменчивости являются **мутации** — наследуемые изменения генетического материала организмов: структуры отдельных генов, строения или количества хромосом. Процесс возникновения мутаций называется *мутагенезом*, а организмы, изменившие фенотип вследствие мутации, — *мутантами*.

Термин «мутация» впервые был предложен нидерландским ученым Х. де Фризом. Он охарактеризовал важнейшие свойства мутаций в труде, который вышел в 1903 г. под названием «Мутационная теория». Справедливость основных положений теории де Фриза была впоследствии подтверждена многочисленными исследованиями генетиков.

Согласно современным представлениям мутации (в отличие от модификаций) не развиваются постепенно, а *возникают внезапно*. Они *не образуют непрерывных рядов изменчивости и не имеют нормы реакции*. Мутации не носят массовый характер, а проявляются *индивидуально*. Важнейшим свойством мутаций является их *неопределенность*. Это значит, что при мутагенезе может измениться любой элемент наследственного материала клетки (ген, хромосома, хромосомный набор), причем нельзя достоверно предсказать, какие именно генетические структуры будут затронуты, каким образом произойдут изменения и к каким последствиям это приведет. Поскольку мутации сопровождаются изменением генотипа организмов, они способны *передаваться по наследству*.

Факторы, вызывающие появление мутаций, называют **мутагенными факторами** или **мутагенами**. В зависимости от природы различают физические, химические и биологические мутагены. *Физическими* мутагенами являются различные виды излучений (гамма-, рентгеновское, ультрафиолетовое и др.), очень высокая или низкая температура и т. п. К *химическим* мутагенам относятся разнообразные вещества, например колхицин, формальдегид, нитриты, компоненты табачного дыма, некоторые пищевые добавки, пестициды и лекарственные препараты. Примерами *биологических* мутагенов могут быть вирусы.

Существуют различные подходы к классификации мутаций. Рассмотрим некоторые из них.

- По типу мутировавших клеток выделяют генеративные и соматические мутации. **Генеративными** называют мутации, возникающие в половых клетках. Эти мутации передаются потомству при половом размножении. **Соматические** мутации происходят в соматических клетках. Такие мутации могут передаваться по наследству путем вегетативного размножения и проявляться у самой особи-мутанта. При делении мутировавшей клетки соматическая мутация передается дочерним. Поэтому чем раньше в ходе индивидуального развития возникает такая мутация, тем большую часть организма она затрагивает. Результатами проявления соматических мутаций могут быть, например, наличие прядей волос без меланина или разный цвет глаз у человека (рис. 90), появление побега с белыми ягодами на кусте черной смородины и т. п.

- По уровню изменения генетического материала мутации бывают генными, хромосомными и геномными.

**Генные мутации** — это изменения нуклеотидной последовательности ДНК в пределах одного гена вследствие *замены*, *выпадения* или *вставки* нуклеотидов. Генные мутации — самый распространенный тип мутаций и источник появления новых аллелей. Изменения порядка нуклеотидов в составе генов воспроизводятся в структуре соответствующих мРНК и в большинстве случаев ведут к изменению аминокислотной последовательности белков, кодируемых данными генами.

Так, у человека замена определенного нуклеотида в гене, кодирующем цепь гемоглобина, приводит к замене в этом белке одной аминокислоты (глутаминовой) на другую (валин). Изменение структуры гемоглобина ведет к тому, что эритроциты вместо дисковидной формы приобретают серповидную и теряют способность к транспорту кислорода (рис. 91). Это заболевание называется *серповидноклеточной анемией*.



Рис. 90. Глаза разного цвета у человека



Рис. 91. Эритроциты человека нормальной и серповидной формы

Ген, определяющий форму эритроцитов у больных серповидноклеточной анемией, является рецессивным. Он кодирует особый, аномальный тип гемоглобина — так называемый гемоглобин S. У гетерозиготных носителей гена серповидноклеточной анемии в эритроцитах присутствует как нормальный гемоглобин, так и гемоглобин S. Заболевание при этом не развивается. Интересно то, что гемоглобин S обуславливает устойчивость эритроцитов к заражению малярийным плазмодием. Поэтому в регионах Земли, где распространена малярия, гетерозиготные носители дефектного гена имеют определенное преимущество перед гомозиготными людьми. В отличие от рецессивных гомозиготных людей они не страдают серповидноклеточной анемией и одновременно являются невосприимчивыми к малярии, которой могут болеть люди, гомозиготные по доминантному гену.

**Хромосомные мутации** — это изменения строения хромосом. Изменения нормальной структуры одной хромосомы (или двух гомологичных) относят к внутривхромосомным мутациям. Перестройки, в которые были вовлечены нехомологичные хромосомы, называют межхромосомными мутациями.

Примерами *внутрихромосомных* мутаций могут быть: выпадение участка хромосомы — *делеция*, двукратный или многократный повтор фрагмента хромосомы — *дупликация*, поворот участка хромосомы на  $180^\circ$  — *инверсия*. К *межхромосомным* мутациям относится обмен участками между двумя нехомологичными хромосомами — *транслокация* (рис. 92).

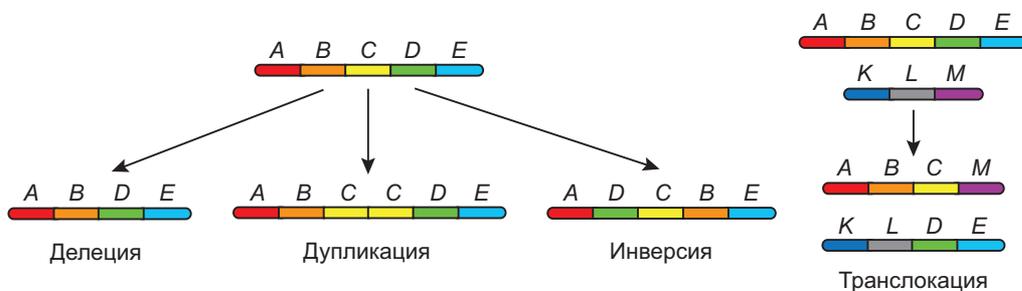


Рис. 92. Схемы хромосомных мутаций

**Геномные мутации** приводят к изменению количества хромосом в клетках. Среди мутаций такого типа можно выделить гетероплоидию и полиплоидию (рис. 93).

*Гетероплоидия* — это изменение числа хромосом, не кратное гаплоидному набору. В результате таких мутаций может наблюдаться, например, отсутствие в кариотипе одной из хромосом — *моносомия* ( $2n - 1$ ) или пары гомологичных хромосом — *нуллисомия* ( $2n - 2$ ), или наличие в наборе

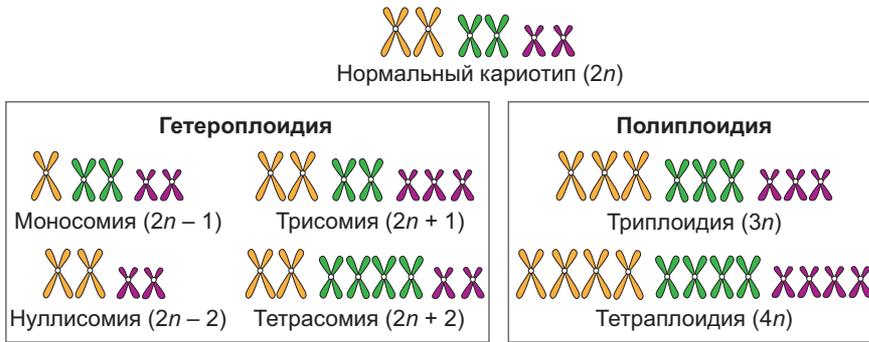


Рис. 93. Схемы геномных мутаций

лишних гомологичных хромосом — *полисомия*. Примерами последней могут служить *трисомия* ( $2n + 1$ ), *тетрасомия* ( $2n + 2$ ), *пентасомия* ( $2n + 3$ ) и т. д.

*Полиплоидия* — это увеличение количества хромосом, кратное гаплоидному набору. В зависимости от того, сколько гаплоидных наборов хромосом содержится в клетках, различают *триплоидию* ( $3n$ ), *тетраплоидию* ( $4n$ ), *пентаплоидию* ( $5n$ ), *гексаплоидию* ( $6n$ ) и т. д. Полиплоидия распространена преимущественно среди растений. Полиплоидные растения обычно имеют более крупные вегетативные и генеративные органы, чем у диплоидных форм, отличаются повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам среды.

**Значение генотипической изменчивости.** Наследственная (генотипическая) изменчивость является главной причиной поразительного разнообразия живых организмов на Земле. Способствуя появлению новых наследственных признаков и их сочетаний, мутационная и комбинативная изменчивость обуславливают возникновение индивидуальных отличий между особями. Это лежит в основе выживания и размножения одних организмов, более адаптированных к условиям окружающей среды, и гибели других, менее приспособленных. Иными словами, наследственная изменчивость предоставляет материал для естественного отбора, обеспечивая эволюцию живой природы.

В то же время мутационная и комбинативная изменчивость способствуют возникновению у организмов таких признаков и их комбинаций, которые используются человеком при выведении новых пород животных, сортов растений и штаммов микроорганизмов. Следовательно, генотипическая изменчивость играет исключительно важную роль в селекционной работе.



К генотипической (наследственной) изменчивости относятся комбинативная и мутационная. Комбинативная изменчивость обусловлена возникновением у потомства новых сочетаний родительских генов. Источниками комбинативной изменчивости являются кроссинговер и независимое расхождение хромосом в мейозе, случайное слияние гамет при оплодотворении. Причиной мутационной изменчивости являются наследуемые изменения генетического материала организмов — мутации. Они возникают внезапно, не образуют непрерывных рядов изменчивости, не имеют нормы реакции, являются неопределенными (непредсказуемыми) и проявляются индивидуально. По типу мутировавших клеток различают генеративные и соматические мутации, по уровню изменения генетического материала — генные, хромосомные и геномные. Наследственная изменчивость составляет материал для естественного отбора, обеспечивая эволюцию живой природы, и играет важнейшую роль в селекционной практике.



1. Что представляет собой комбинативная изменчивость? Приведите примеры. Назовите источники комбинативной изменчивости.
2. Дайте определение понятий «мутация», «мутагенез», «мутаген». На какие группы принято делить мутагены? Приведите примеры.
3. Чем соматические мутации отличаются от генеративных?
4. Охарактеризуйте основные типы генных, хромосомных и геномных мутаций.
5. В чем заключается сходство комбинативной и мутационной изменчивости? В чем состоит различие между этими видами изменчивости? Чем мутационная изменчивость отличается от модификационной?
6. У пшеницы-однозернянки гаметы содержат по 7 хромосом. Сколько хромосом содержится в соматических клетках мутантов пшеницы-однозернянки, если к возникновению мутантной формы привела нуллисомия? Моносомия? Триплоидия? Трисомия? Тетраплоидия? Тетрасомия?
- 7\*. Черная окраска шерсти у кошек доминирует над рыжей, гетерозиготные кошки обладают черепаховой окраской — черные пятна чередуются с рыжими. Гены, контролирующие цвет шерсти, расположены в X-хромосоме. Теоретически коты, т. е. самцы, с черепаховой окраской не должно быть (почему?), однако иногда они рождаются. Как объяснить это явление? Как вы считаете, какие еще особенности, кроме необычной окраски, характерны для черепаховых котов?

## § 38. Изучение наследственности и изменчивости человека

Основные закономерности наследственности и изменчивости, установленные для живых организмов, носят универсальный характер, а значит, применимы и к человеку. Однако как объект генетических исследований человек имеет свою специфику. Так, для человека характерны медленная