

Дигибридное скрещивание: наследование двух признаков

Как наследуются два признака
одновременно?



От опытов Менделя к школьной генетике

Тема опирается на опыты Грегора Менделя с горохом и показывает, что наследование идёт дискретно. Именно здесь становятся понятны независимое наследование, сцепление генов и роль мейоза в передаче признаков потомству.



Что называют дигибридным скрещиванием

Два признака

Дигибридным называют скрещивание организмов, различающихся сразу по двум парам альтернативных признаков, которые изучают одновременно, чтобы проследить их совместную передачу потомству.

Разные генотипы, разные фенотипы

Один и тот же внешний признак может скрывать несколько генотипических вариантов. Поэтому в задачах важно различать наследственную основу и наблюдаемый фенотип.

Две пары аллелей

В записях используют обозначения вроде A/a и B/b. Каждая пара рассматривается отдельно, но итоговый анализ показывает, как обе системы наследуются вместе.

Примеры из биологии

Классические примеры — форма и окраска семян гороха, окраска и длина шерсти у животных, а также форма и цвет плодов у растений.



Условия классической менделевской модели

1 Полное доминирование

Классическая схема предполагает, что в обеих парах один аллель полностью подавляет проявление другого, поэтому фенотипы распределяются чётко по альтернативным вариантам.

2 Независимое наследование

Гены должны находиться в разных хромосомах или достаточно далеко друг от друга, чтобы их сочетания формировались независимо при образовании гамет.

3 Четыре типа гамет

У дигетерозиготы $AaBb$ в мейозе образуются гаметы AB , Ab , aB и ab . Все они возникают с равной вероятностью при отсутствии сцепления.

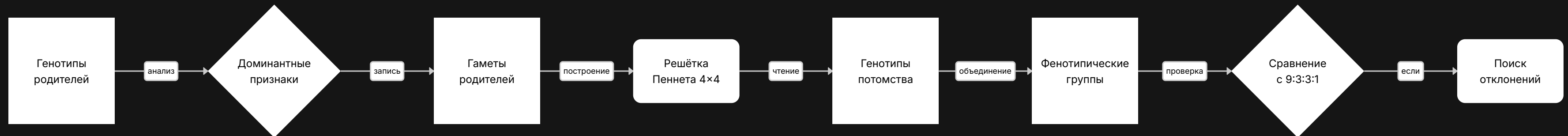
4 Закон чистоты гамет

Каждая гамета получает только один аллель из каждой пары, поэтому наследственный материал не смешивается и может быть точно просчитан по вероятности.



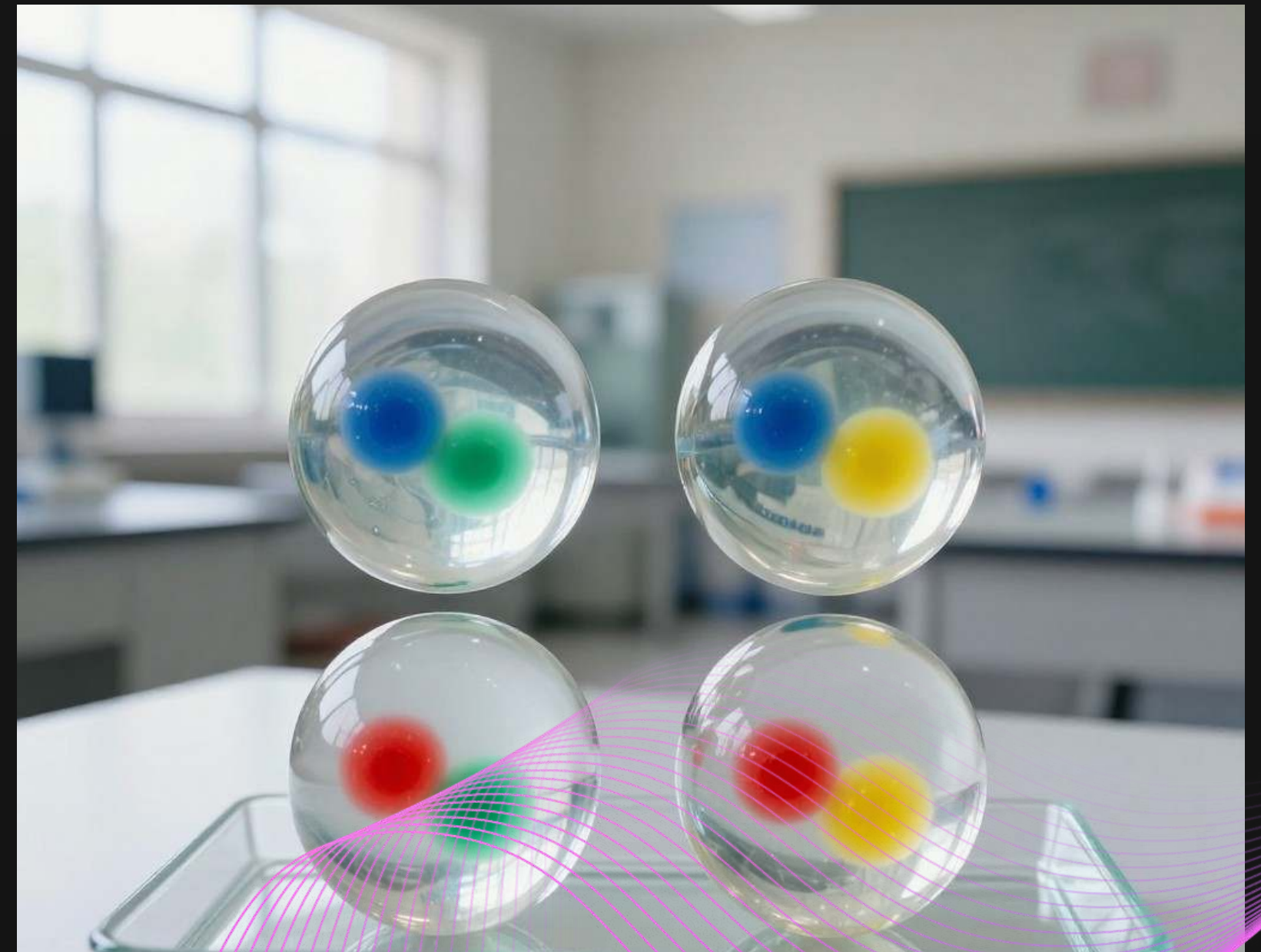
Как решают задачи на дигибридное скрещивание

Последовательность анализа от генотипов родителей до проверки расщепления потомства



Гаметы дигетерозиготы и закон чистоты гамет

- 1 Исходный генотип**
Для генотипа $AaBb$ каждый родительский набор аллелей содержит по два варианта признака, но в гамету попадает только один из каждого набора.
- 2 Четыре комбинации**
При независимом расхождении хромосом образуются гаметы AB , Ab , aB и ab . Это даёт полный набор возможных сочетаний для последующего скрещивания.
- 3 Равные доли**
Если гены наследуются независимо, каждая гамета встречается с вероятностью 25%. Такое равенство лежит в основе классических вероятностных расчётов.
- 4 Почему это важно**
Закон чистоты гамет объясняет, почему потомство можно предсказать заранее: каждая гамета несёт лишь один аллель из пары, а не оба сразу.

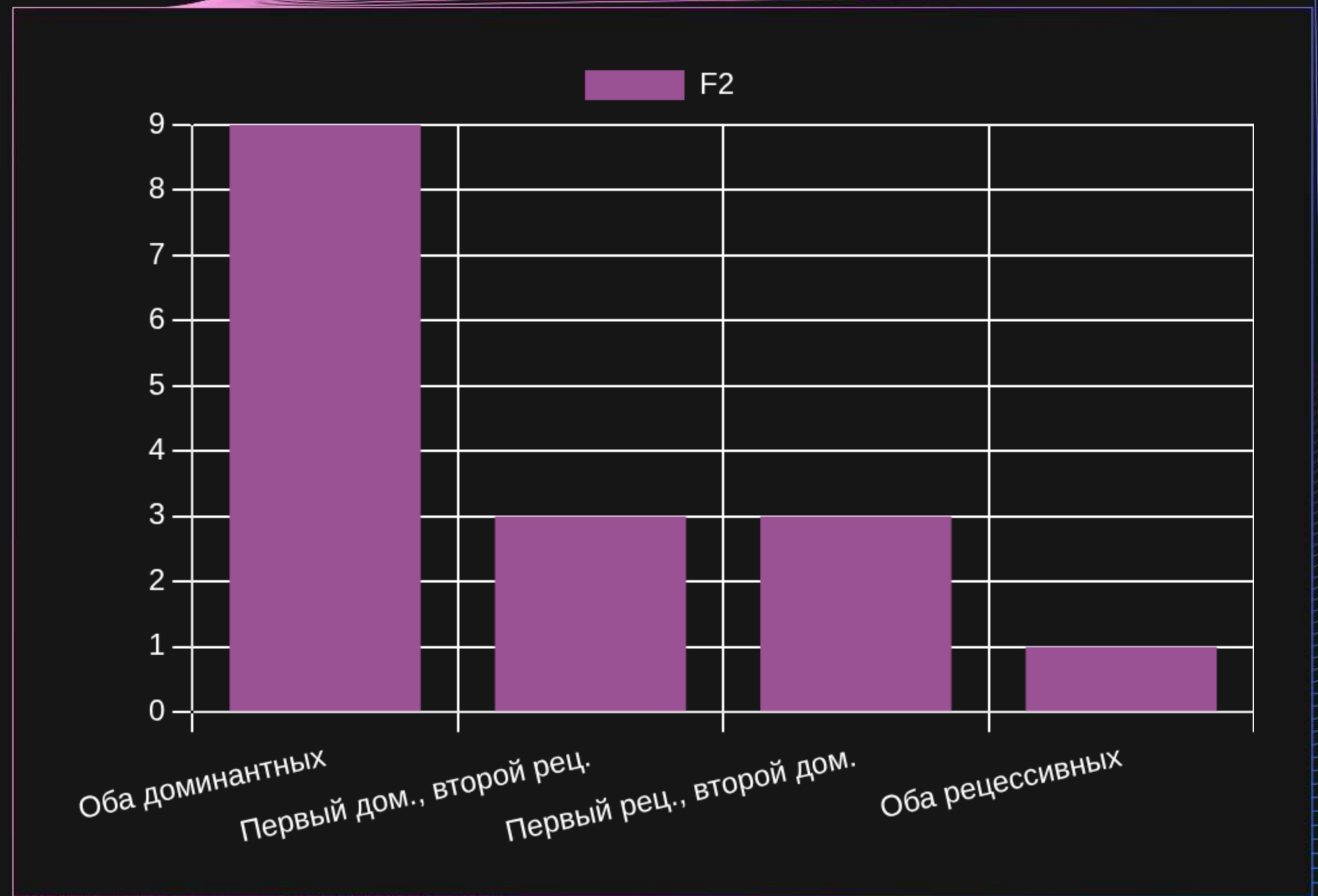


Фенотипическое расщепление в F₂

Для потомства дигетерозигот при полном доминировании и независимом наследовании распределение фенотипов фиксируется по четырём классам.

Диаграмма подтверждает классическое соотношение 9:3:3:1, возникающее как произведение вероятностей для двух независимых признаков.

Классическая схема дигибридного скрещивания Менделя



Решётка Пеннета для $AaBb \times AaBb$



Шестнадцать клеток — один полный сценарий

Решётка Пеннета показывает все сочетания гамет AB , Ab , aB и ab в 16 ячейках. Каждая клетка соответствует отдельному генотипу потомка и помогает увидеть, как из одинаковых фенотипов складываются разные наследственные варианты.



Одна таблица — несколько генотипов

В результате появляются $AABV$, $AABb$, $AaBV$, $AaBb$, $AAbb$, $aaBV$, $Aabb$, $aaBb$ и $aabb$. Схема наглядно демонстрирует, что внешний облик не всегда позволяет однозначно определить генотип, особенно при доминантном фенотипе.

Генотипы, частоты и фенотипы потомства

Генотип	Частота	Фенотип
AABB	1/16	оба дом.
AABb	2/16	оба дом.
AaBb	4/16	оба дом.
AAbb	1/16	1 дом., 2 рец.
aaBB	1/16	1 рец., 2 дом.
aabb	1/16	оба рец.

— Таблица показывает, как разные генотипы могут давать одинаковый фенотип и почему для анализа потомства важны не только признаки, но и вероятности их сочетаний.

Разные генотипы могут соответствовать одному фенотипу; поэтому по внешнему виду нельзя всегда точно восстановить наследственную комбинацию.

Классическая схема Менделя



16

вариантов образуется
при сочетании двух
независимых пар
аллелей в потомстве
дигетерозигот.

Классическая схема строится
на перемножении
вероятностей для двух
признаков, каждый
из которых даёт
расщепление 3:1. Поэтому
итоговое распределение
выражается через
шестнадцать
равновероятных сочетаний.

*Теория вероятностей
в классической генетике*

Анализирующее дигибридное скрещивание

1 Схема проверки

Анализирующее скрещивание проводят, когда нужно установить неизвестный генотип особи с доминантным фенотипом. Исследуемый организм скрещивают с рецессивной формой $aabb$ и наблюдают состав потомства.

2 Четыре фенотипа

Если особь является дигетерозиготой $AaBb$, в потомстве появляются четыре фенотипические группы. Их соотношение отражает набор гамет исследуемого организма и позволяет восстановить его генотип.

3 Признак дигетерозиготы

При независимом наследовании и отсутствии сцепления классы потомков обычно представлены примерно поровну. Такое распределение указывает, что у родительской особи были аллели A , a , B и b .

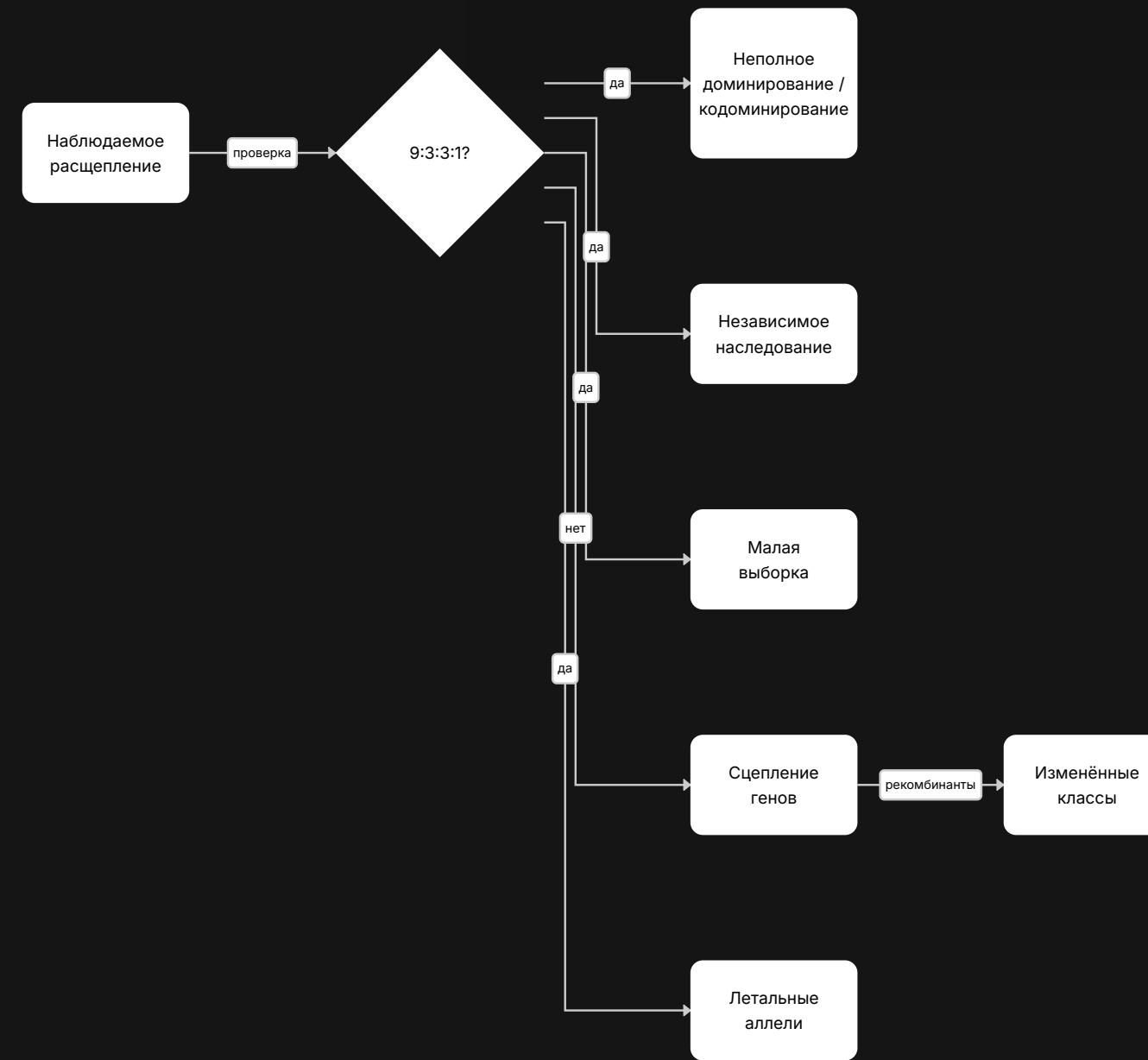
4 Практическое значение

Метод широко используют в генетическом анализе и селекции. Он помогает проверить скрытый генотип особей с доминантным проявлением признаков и отобрать носителей нужных наследственных сочетаний.



Когда расщепление отклоняется от 9:3:3:1

Причины расхождения между теоретическим и наблюдаемым распределением потомства при дигибридном скрещивании



Сцепление генов и кроссинговер

Сцепление

Гены, расположенные в одной хромосоме, чаще передаются вместе, чем независимо. Поэтому комбинации аллелей, унаследованные от родителей, встречаются в потомстве чаще, чем новые сочетания.

Расстояние между генами

Частота рекомбинации показывает, насколько часто кроссинговер разрывает сцепление. Чем выше этот показатель, тем дальше гены расположены друг от друга на хромосоме и тем слабее их сцепление.



Кроссинговер

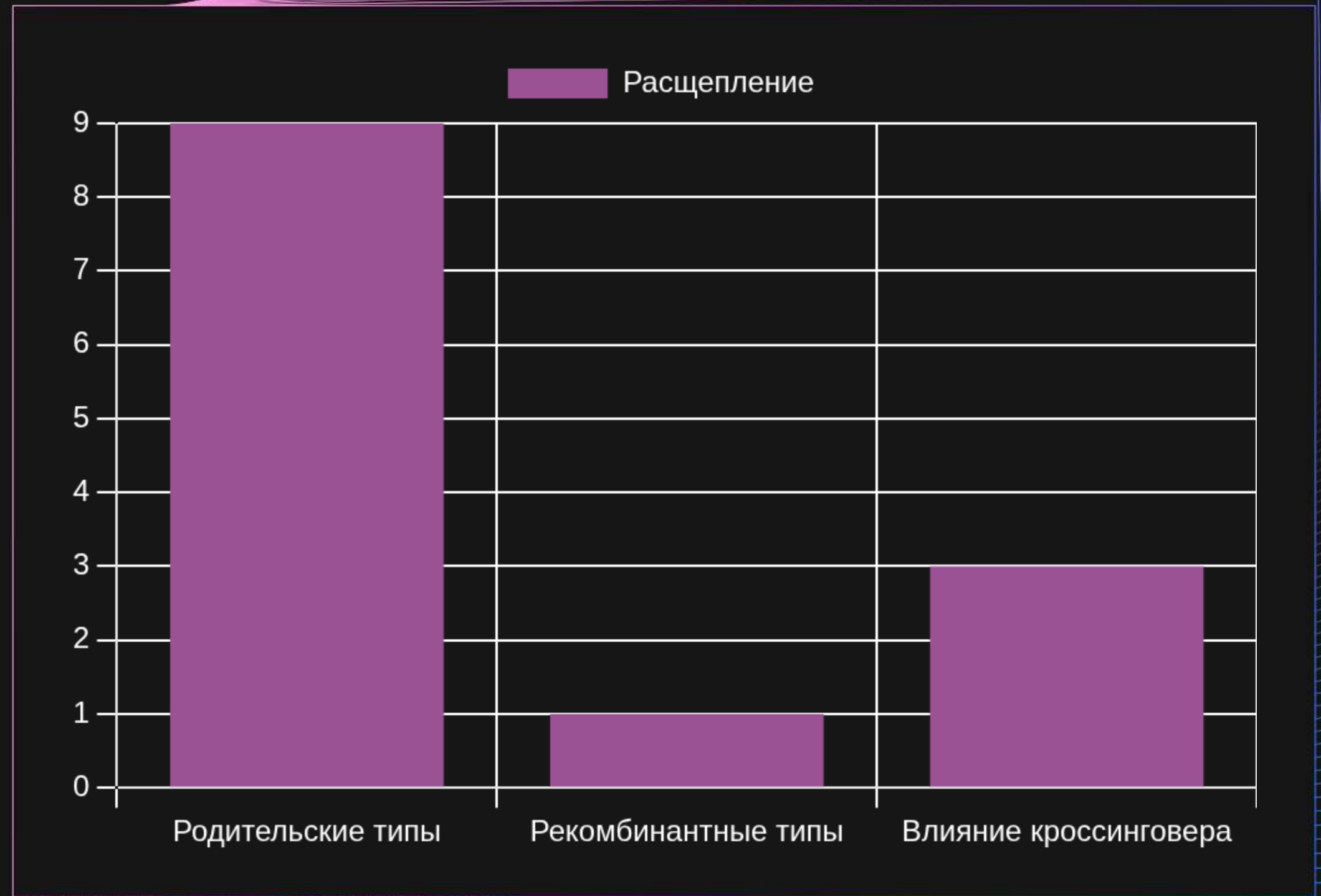
В профазе I мейоза гомологичные хромосомы обмениваются участками. Этот обмен создаёт рекомбинантные комбинации генов и объясняет появление потомков с новыми сочетаниями признаков.

Ожидаемое и наблюдаемое расщепление при сцеплении

При независимом наследовании все четыре фенотипические группы должны быть сопоставимы с теорией Менделя. Сцепление смещает баланс в пользу родительских сочетаний.

Если доля родительских типов заметно выше, чем у рекомбинантов, вероятно сцепление генов и частичный кроссинговер.

Классическая менделевская модель и хромосомная теория наследственности



Примеры дигибридных признаков в биологии

Горох Менделя

Классический объект — горох, у которого удобно наблюдать форму и окраску семян, а также другие чётко различимые альтернативные признаки. Именно такие пары легли в основу первых генетических закономерностей.

Растения

В школьных задачах часто используют окраску, форму и длину органов растений, потому что эти признаки легко различить и описать двумя вариантами без сложных измерений или субъективной оценки.

Животные

У животных в качестве примеров берут окраску шерсти, длину шерсти, форму гребня или другие внешние признаки. Они хорошо подходят для анализа наследования сразу двух характеристик.

Удобство моделей

Такие признаки важны ещё и потому, что позволяют наглядно сравнивать доминантные и рецессивные варианты. Это делает решение задач более понятным и проверяемым на практике.



Типовые обозначения в генетических задачах

Признак	Доминантный	Рецессивный	Генотипы
Форма семян	B	b	BB, Bb, bb
Окраска семян	A	a	AA, Aa, aa
Два признака	A/B	a/b	AABB, AaBb, aabb

В генетических задачах важно заранее договориться о буквенных обозначениях признаков и аллелей. Это снижает риск ошибки при записи генотипов и анализе потомства.

Заглавные буквы обозначают доминантные аллели, строчные — рецессивные; корректная символика помогает безошибочно строить схемы скрещивания.

Школьная генетика, классическая менделевская запись

Пошаговый алгоритм решения задачи

1 Определить признаки

Сначала выделяют два признака и устанавливают, какой вариант для каждого является доминантным, а какой рецессивным. Без этого невозможно правильно записать исходные генотипы и интерпретировать потомство.

2 Записать родителей

Затем фиксируют генотипы родительских особей и выписывают все возможные гаметы. На этом этапе важно учесть закон чистоты гамет и не смешивать аллели в одной гамете.

3 Построить решётку

После этого составляют решётку Пеннета 4×4 , где комбинируют гаметы обоих родителей. Таблица показывает все варианты зигот и позволяет быстро увидеть распределение генотипов.

4 Сгруппировать потомство

Полученные генотипы объединяют в фенотипические классы и подсчитывают их частоты. Затем сравнивают результат с ожидаемым соотношением $9:3:3:1$ при полном доминировании и независимом наследовании.

5 Проверить отклонения

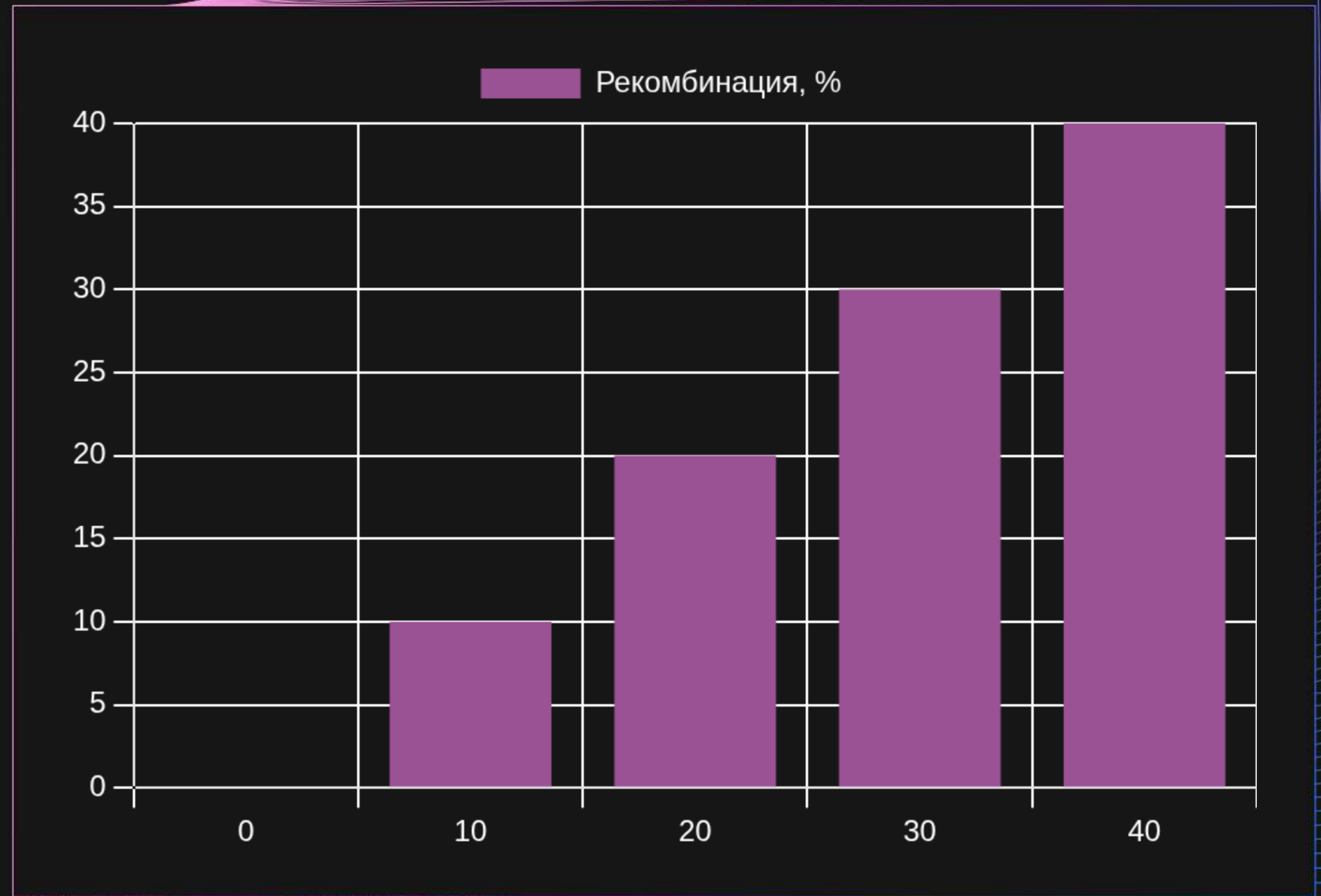
Если наблюдаемое распределение заметно отличается от теоретического, проверяют сцепление генов, неполное доминирование, кодоминирование или влияние случайной ошибки выборки. Так находят причину расхождения.

Частота рекомбинации как показатель расстояния между генами

Рекомбинантные потомки возникают только при кроссинговере, поэтому их доля служит практической мерой расстояния между генами и помогает строить генетические карты.

Чем выше процент рекомбинации, тем дальше гены расположены друг от друга; значение 1% соответствует 1 сантиморганиде.

Хромосомная теория наследственности; школьная генетическая карта



Практическая значимость дигибридного скрещивания

1 Прогноз потомства

Метод позволяет заранее оценить, какие сочетания признаков могут появиться у потомков, и определить вероятность нужного фенотипа. Это особенно важно при анализе нескольких наследственных характеристик одновременно.

2 Селекция

В селекционной работе дигибридное скрещивание помогает отбирать потомков с полезными комбинациями признаков. Так можно ускорить получение линий с нужными хозяйственно ценными свойствами.

3 Медицинская генетика

В медицинской генетике анализ нескольких признаков одновременно позволяет лучше понимать наследование семейных особенностей и оценивать вероятность их совместного проявления у потомков.

4 Проверка сцепления

Если результаты скрещивания не совпадают с ожидаемой схемой, это даёт основание подозревать сцепление генов или кроссинговер. Значит, метод работает и как инструмент проверки гипотез.



Дигибридное скрещивание: от схемы к пониманию наследственности

Дигибридное скрещивание показывает, как наследуются две пары признаков одновременно, и помогает проверить закон независимого наследования. Оно связывает расчёты с реальной структурой хромосом и делает генетику наглядной.