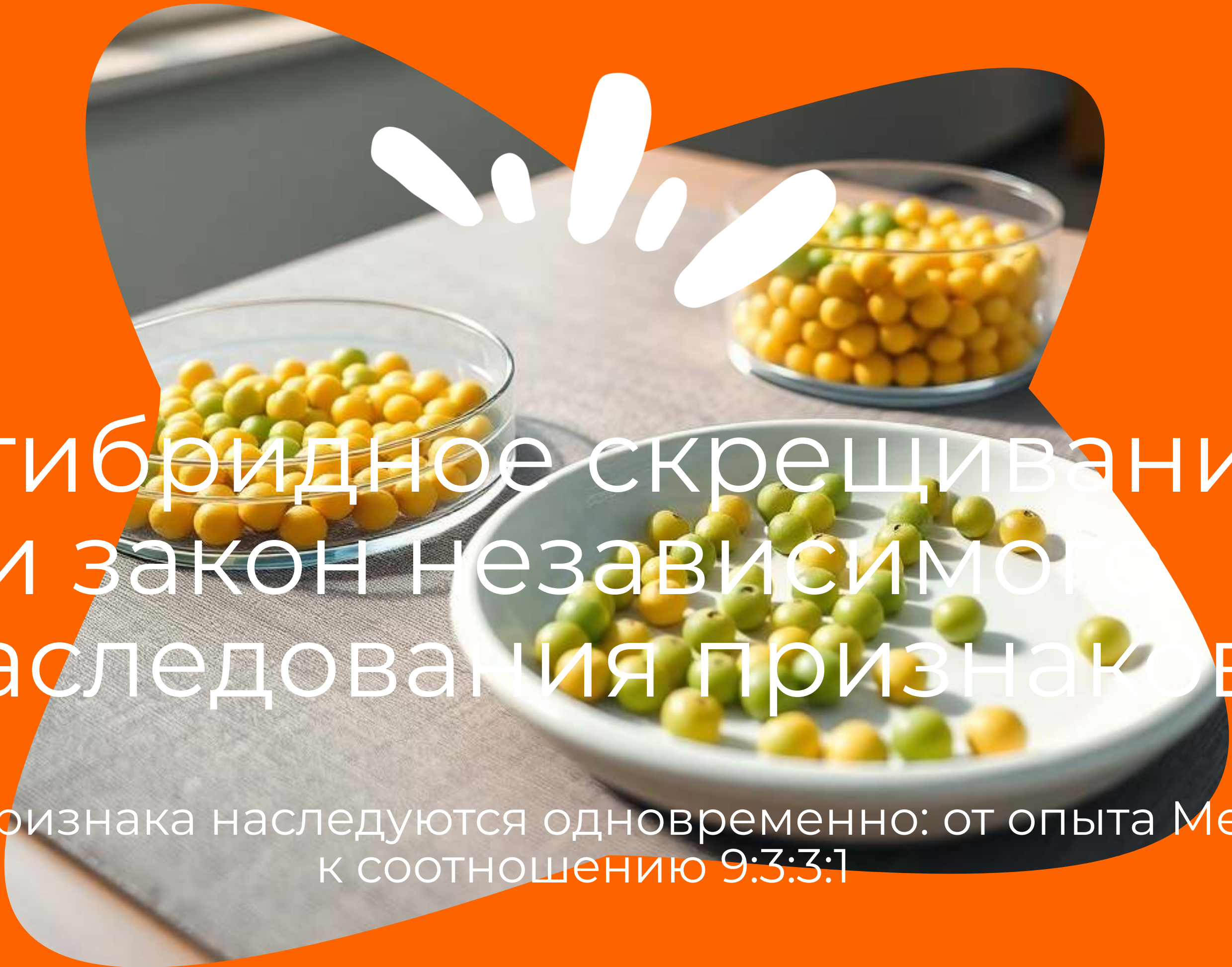




Дигибридное скрещивание и закон Независимого наследования признаков

Как два признака наследуются одновременно: от опыта Менделя
к соотношению 9:3:3:1

Мендель и рождение генетики

Опыты Грегора Менделя с горохом показали, что признаки передаются не «смешиваясь», а через отдельные наследственные факторы. Именно его работы заложили основы классической генетики и научного изучения наследования.



Сущность дигибридного скрещивания

Два признака сразу

В дигибридном скрещивании анализируют наследование двух пар альтернативных признаков одновременно, чтобы увидеть, как они проявляются по отдельности и в сочетании друг с другом.

Разные аллельные пары

Каждый признак контролируется собственной парой аллелей, поэтому при записи скрещивания удобно отслеживать сразу две генетические системы и сравнивать их поведение в потомстве.

Пример на горохе

У гороха классическими признаками служат форма семян и их окраска: гладкие или морщинистые, жёлтые или зелёные. На таких объектах закономерности особенно наглядны.

Анализ потомства

Если родители различаются по двум признакам, состав потомков помогает понять, наследуются ли эти признаки независимо или между ними есть связь, влияющая на распределение вариантов.

Генотипы, аллели и фенотипы в двух признаках

Буквенная запись

01

Для одного признака обычно используют пару букв А и а, для второго — В и в. Такая запись позволяет компактно фиксировать генотип и быстро сравнивать варианты скрещивания.

Доминантность

02

Доминантный аллель проявляется уже в гетерозиготе, а рецессивный признак становится заметным только тогда, когда соответствующий аллель представлен в обеих копиях.

Генотип и внешний вид

03

Фенотип определяется сочетанием аллелей в каждой паре и может включать любой из доминантных или рецессивных вариантов двух признаков одновременно.

Комбинации признаков

04

При анализе важно рассматривать не один признак отдельно, а их сочетание, потому что именно оно определяет итоговую фенотипическую картину потомства.

Фенотип	Доля	Обозначение
оба доминантные	9	A_B_
первый дом., второй рец.	3	A_bb
первый рец., второй дом.	3	aaB_
оба рецессивные	1	aabb

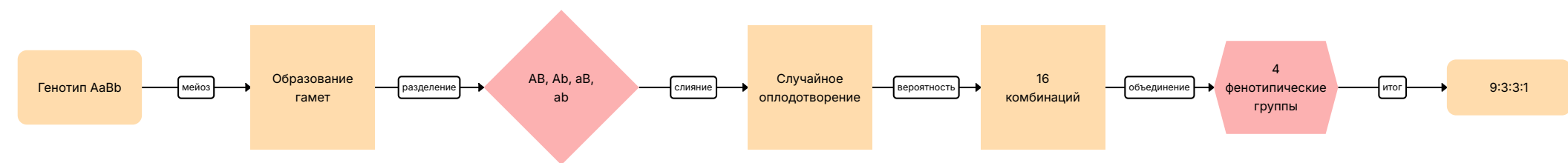
Скрещивание AaBb × AaBb и фенотипы потомства

Решётка Пеннета показывает все 16 сочетаний гамет и позволяет сразу увидеть фенотипические группы потомства.

При независимом наследовании возникают четыре фенотипические группы в отношении 9:3:3:1.

Как формируется соотношение 9:3:3:1

Последовательность событий
от мейоза до фенотипического
результата в потомстве

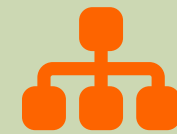


Цитологическая основа закона независимого наследования



Разные хромосомы

Если гены расположены в разных парах гомологичных хромосом, аллели одной пары не влияют на расхождение другой пары. Поэтому наборы аллелей в гаметах формируются независимо.



Ориентация в метафазе I

На метафазе I мейоза хромосомные пары выстраиваются у экватора клетки случайно. Эта случайность создаёт множество сочетаний, которые затем могут попасть в разные гаметы.



Расхождение в анафазе I

В анафазе I гомологичные хромосомы расходятся к полюсам клетки, а вместе с ними разделяются и аллели. Так формируются генетически разные половые клетки.



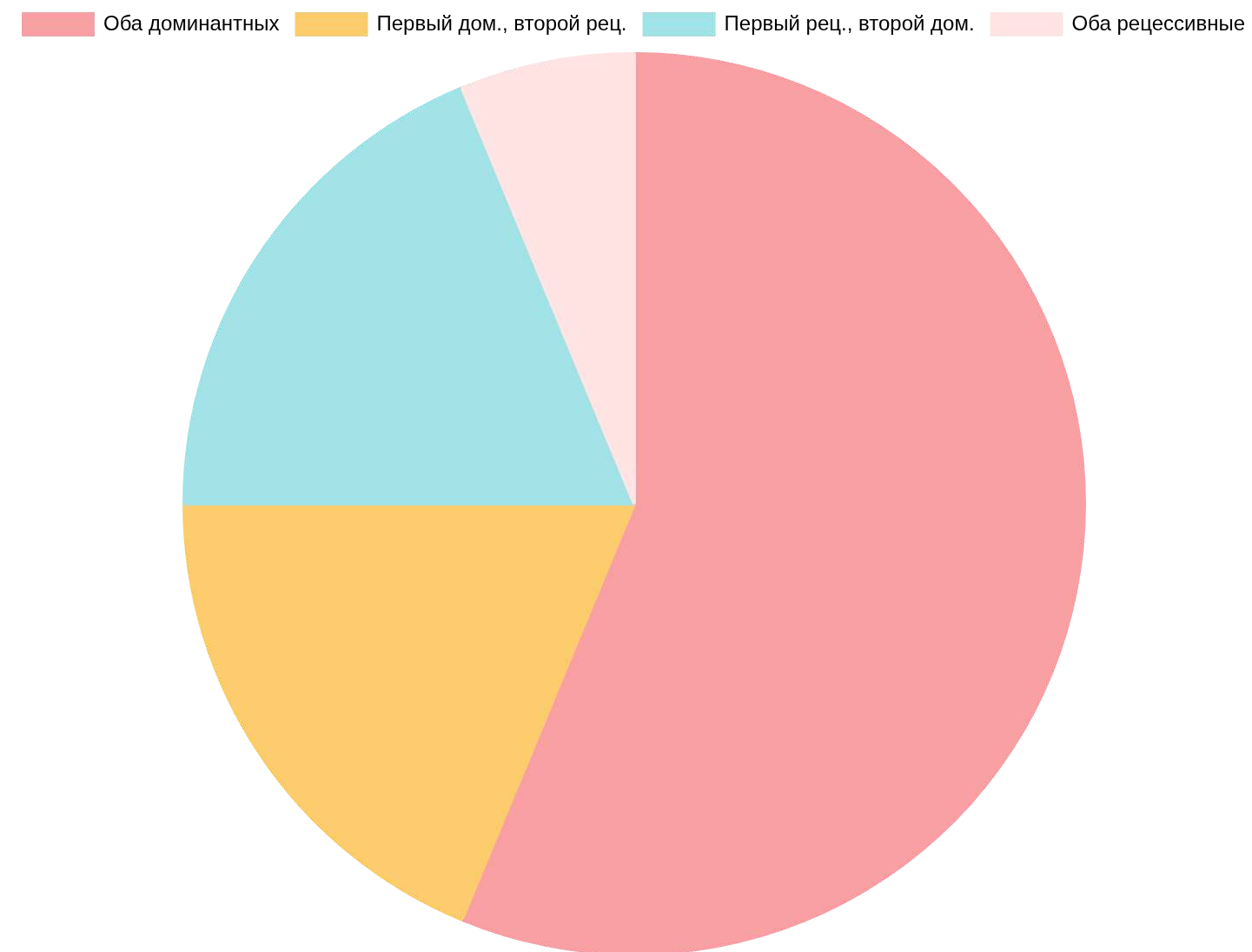
Разные комбинации

Именно цитологические события мейоза объясняют, почему у потомства появляются различные сочетания признаков. Независимость расхождения делает возможным классическое менделевское распределение.

Вероятности фенотипов во втором поколении

Доли рассчитаны для скрещивания $AaBb \times AaBb$ при полном доминировании и независимом наследовании двух признаков.

Самая большая группа — потомки с двумя доминантными признаками; редчайшая — с двумя рецессивными.



Теоретическое распределение для дигибридного скрещивания $AaBb \times AaBb$.

Решётка Пеннета как способ анализа комбинаций

Все варианты сразу

Решётка 4×4 позволяет записать все 16 возможных сочетаний гамет в одном месте и увидеть, как из них складываются генотипы потомков.

Удобство подсчёта

Каждая клетка таблицы соответствует одному варианту зиготы, поэтому метод помогает быстро подсчитать соотношения генотипов и фенотипов без пропуска редких комбинаций.

Связь с задачами

При решении школьных задач решётка Пеннета делает ход рассуждений прозрачным: от гамет родителей к их случайному слиянию и затем к итоговому распределению потомства.



Когда закон независимого наследования не выполняется полностью

01

Сцепление генов

Если гены находятся близко друг к другу в одной хромосоме, они чаще переходят в гаметы вместе. В таком случае наблюдается сцепленное наследование, а не полная независимость.

Роль кроссинговера

В профазе I мейоза кроссинговер может разрывать сцепление и создавать рекомбинантные комбинации. Чем дальше гены друг от друга, тем выше вероятность такого обмена участками.

02

03

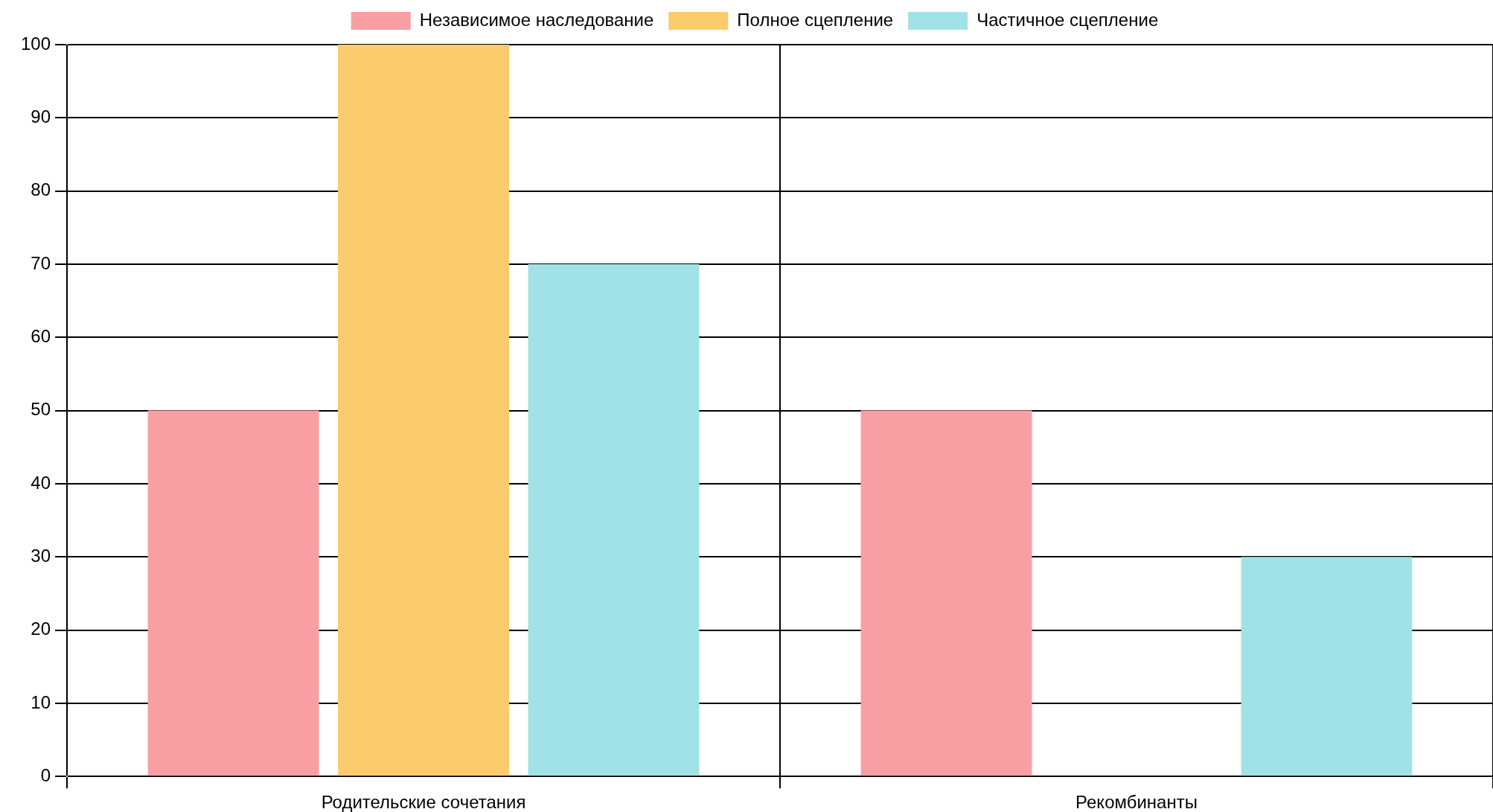
Отклонения от модели

Из-за сцепления, кроссинговера, малого числа потомков или необычного доминирования реальные результаты скрещивания могут заметно отличаться от классического соотношения 9:3:3:1.

Независимое наследование и сцепление генов: сравнение

Сравнение показывает, что решающим становится расстояние между генами и вероятность кроссинговера в мейозе.

Чем слабее сцепление, тем больше рекомбинантных комбинаций и тем ближе результат к менделевскому распределению.



Обобщение по классической генетике; условная схема для сравнения типов наследования.

16

комбинаций в решётке Пеннета достаточно, чтобы увидеть закономерность при полном доминировании и независимом расхождении аллелей.

Именно столько сочетаний рассматривают при скрещивании $AaBb \times AaBb$; при большем числе потомков теоретическое соотношение проявляется надёжнее.

Решётка Пеннета для дигибридного скрещивания $AaBb \times AaBb$.

Основные фенотипические группы потомства

Таблица показывает четыре устойчивые фенотипические группы и их вклад в классическое расщепление.

Все фенотипы возникают закономерно, а суммарное отношение повторяет пропорцию 9:3:3:1.

Группа	Доля
Оба доминантных	9
Первый доминантный	3
Второй доминантный	3
Оба рецессивных	1

Практическое значение дигибридного анализа



Селекция растений

Помогает заранее оценивать, какие сочетания признаков появятся у потомства, и отбирать линии с нужной окраской, формой плодов или семян для дальнейшего разведения.



Селекция животных

Позволяет прогнозировать передачу двух признаков сразу, например окраски и структуры шерсти, что особенно важно при подборе родительских пар с заданными качествами.



Оценка вероятностей

Даёт возможность рассчитывать долю потомков с нужным фенотипом без полного анализа каждого потомка, что экономит время в учебных и исследовательских задачах.



Анализ изменчивости

Используется как модель для изучения наследственной изменчивости и проверки того, как расположение генов влияет на сочетание признаков в поколениях.

Классический опыт Менделя на горохе



Горох как удобная модель

Мендель выбрал посевной горох, потому что у него легко наблюдать альтернативные признаки и удобно контролировать самоопыление. На таком объекте было проще проследить, как два признака наследуются одновременно и не смешиваются в потомстве.



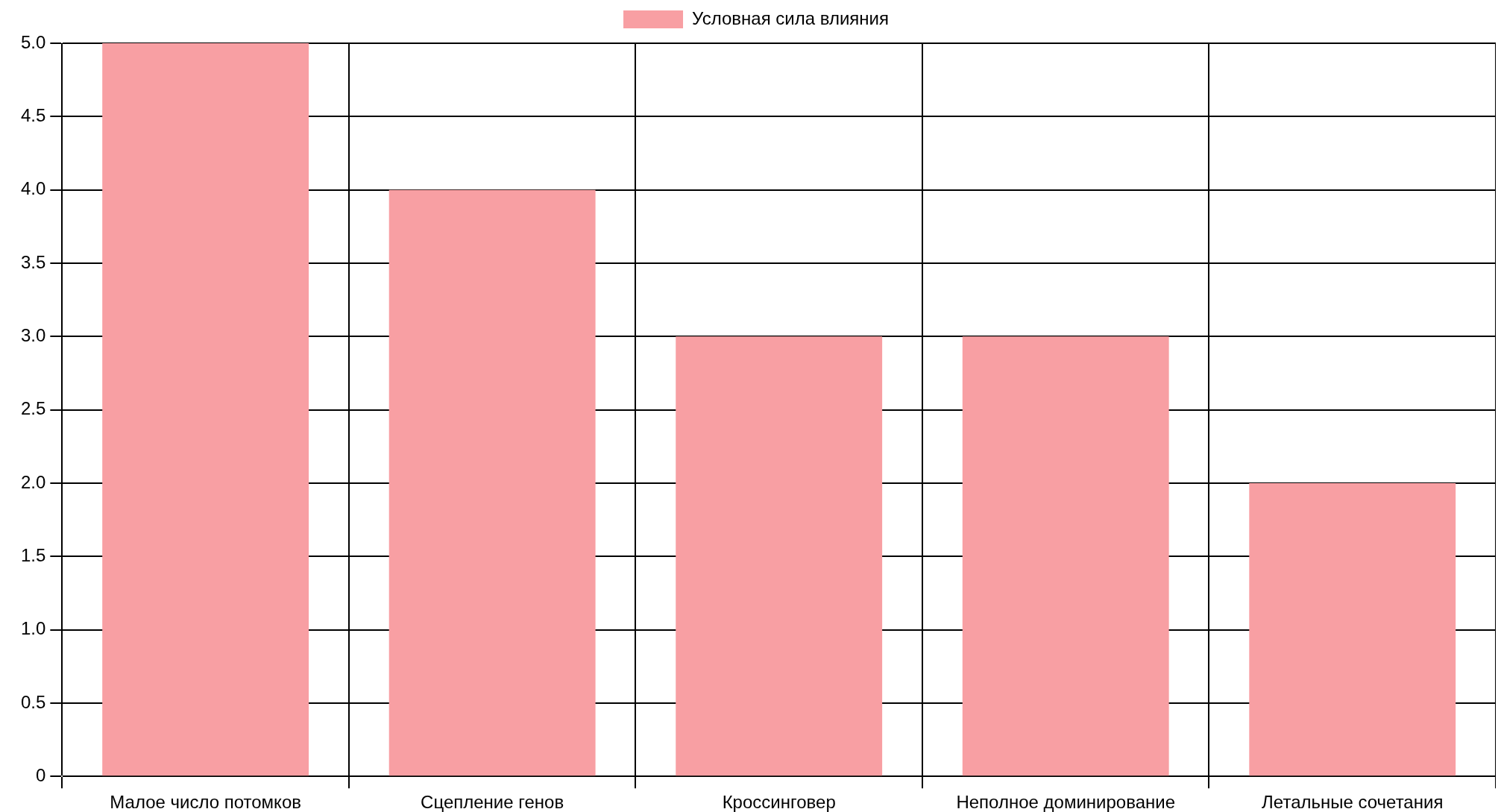
Четыре варианта семян

В потомстве исследователь увидел семена с разными сочетаниями формы и окраски: гладкие жёлтые, морщинистые жёлтые, гладкие зелёные и морщинистые зелёные. Это наблюдение показало, что признаки могут распределяться независимо, если гены не связаны сцеплением.

Почему результаты могут отличаться от теоретических

Диаграмма использует условную шкалу, чтобы показать, какие факторы чаще всего уводят наблюдаемое расщепление от классической модели.

Отклонения связаны не с ошибкой закона, а с тем, что его условия выполняются не всегда полностью.



Обобщение факторов, влияющих на расщепление в дигибридном скрещивании; условная визуализация.

Алгоритм решения задач на дигибридное скрещивание

Определить признаки

01

Сначала устанавливают, какие альтернативные признаки рассматриваются, и записывают доминантные и рецессивные аллели для каждого гена в условии задачи.

Записать генотипы

02

Затем определяют генотипы родителей и перечисляют все возможные типы гамет, которые они могут образовать при мейозе с учётом закона расхождения аллелей.

Построить комбинации

03

После этого составляют решётку Пеннета или используют правило умножения вероятностей, чтобы получить все сочетания генотипов потомства без пропусков.

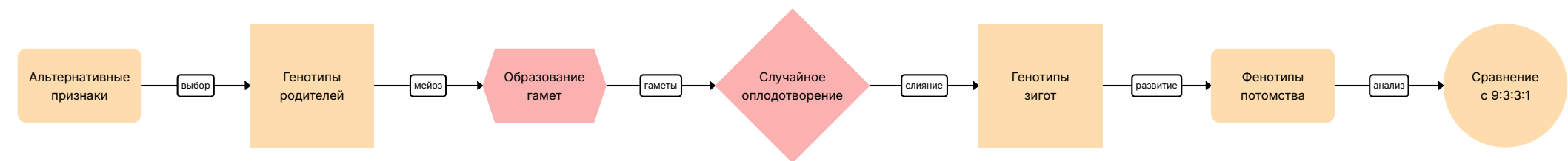
Подсчитать результат

04

В конце группируют потомков по фенотипам, сравнивают полученное распределение с ожидаемым и делают вывод о независимом наследовании или сцеплении генов.

Путь от родительских генотипов к фенотипам потомства

Последовательность отражает
связь мейоза, оплодотворения
и проявления признаков
в потомстве.



Главные выводы по теме

Независимое распределение

Аллели разных генов могут попадать в гаметы независимо друг от друга, если гены расположены в разных хромосомах или достаточно далеко друг от друга.

Роль мейоза

Именно поведение хромосом в мейозе создаёт основу для новых сочетаний признаков и объясняет, почему наследование подчиняется вероятностным законам.

Классическое расщепление

Соотношение 9:3:3:1 возникает при полном доминировании и отсутствии сцепления, поэтому служит удобным ориентиром для учебных задач.

Причины отклонений

Если гены сцеплены, происходит кроссинговер или нарушаются условия классической модели, фенотипические группы распределяются иначе, чем в менделевском опыте.

Закон независимого наследования: ключ к пониманию комбинаций признаков

Закон независимого наследования объясняет, как из двух пар аллелей возникают разные фенотипы потомства и почему в классическом опыте Менделя проявляется соотношение 9:3:3:1.