



Хромосомная теория Г. Моргана и сцепленное наследование

Как гены связаны
с хромосомами и почему
признаки наследуются вместе?



Почему работа Моргана изменила генетику

Законы Менделя уже описывали наследование, а поведение хромосом было видно под микроскопом. Морган связал эти два уровня, показав, что признаки могут наследоваться не независимо, а как группы, закреплённые в определённых хромосомах.



Основные положения хромосомной теории

1

Гены в хромосомах

Наследственные факторы не существуют абстрактно: они локализованы в хромосомах. Это сделало наследственность материальной и наблюдаемой, а не только вычисляемой по результатам скрещиваний.

2

Линейное расположение

Гены расположены в хромосоме последовательно, один за другим, и занимают определённые локусы. Поэтому порядок генов имеет значение и влияет на то, как признаки передаются потомкам.

3

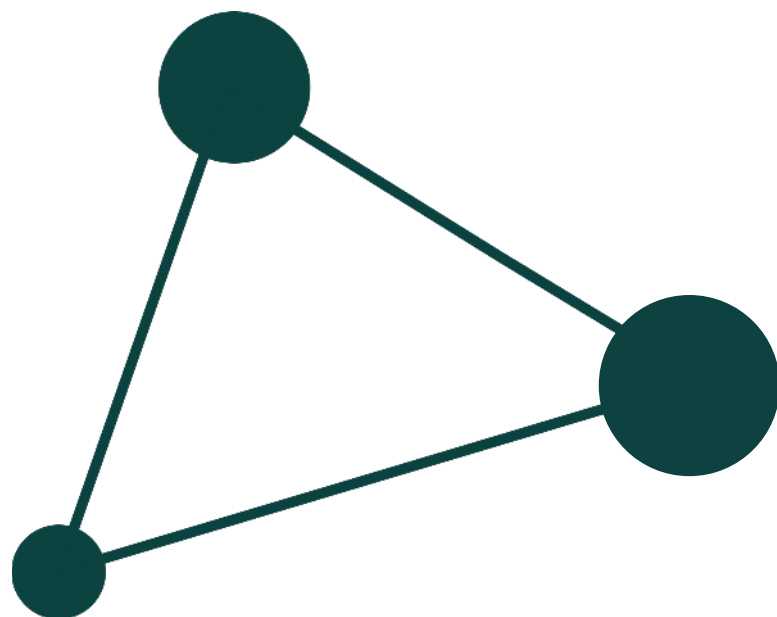
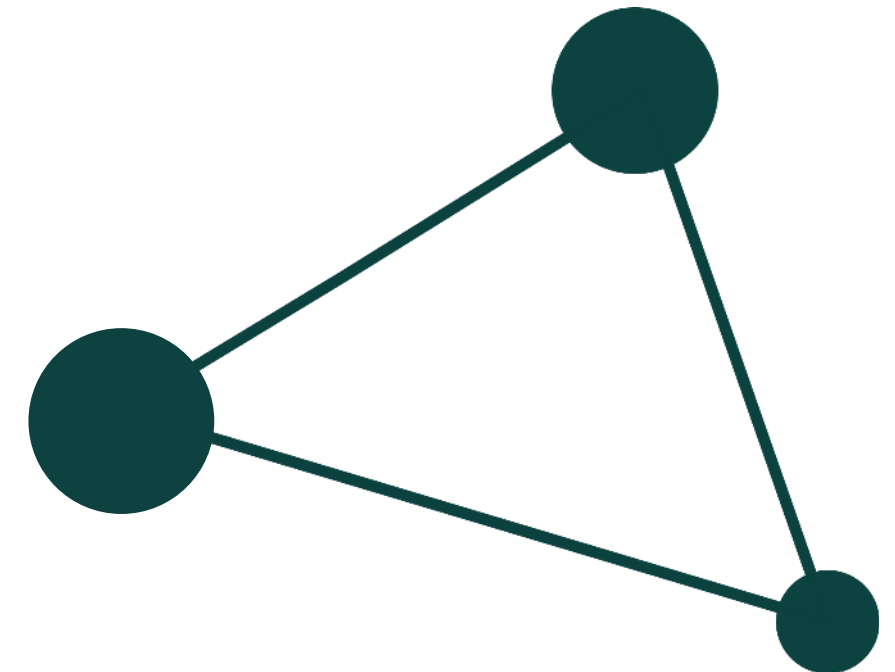
Аллели и гомологичные хромосомы

Аллели одного гена находятся в одинаковых участках гомологичных хромосом. Такое соответствие объясняет, почему при мейозе наследственная информация распределяется между гаметам упорядоченно.

4

Группы сцепления

Каждая хромосома образует группу сцепления генов, которые чаще наследуются совместно. Именно это свойство помогает понять отклонения от простых менделевских соотношений.



Дрозофила как основной объект исследований

● Короткий цикл

Drosophila melanogaster быстро даёт потомство: полный цикл развития занимает примерно 10–14 дней. Это позволяет за короткое время получать несколько поколений и проверять результаты скрещиваний.

● Много потомков

Одна самка производит большое число особей, поэтому легко получить статистически надёжные данные. Для генетики это особенно важно, потому что выводы строятся на частотах признаков.

● Видимые мутации

У дрозофилы хорошо различимы наследуемые признаки, например цвет глаз, форма крыльев и окраска тела. Такие различия удобно учитывать при анализе потомства без сложных приборов.

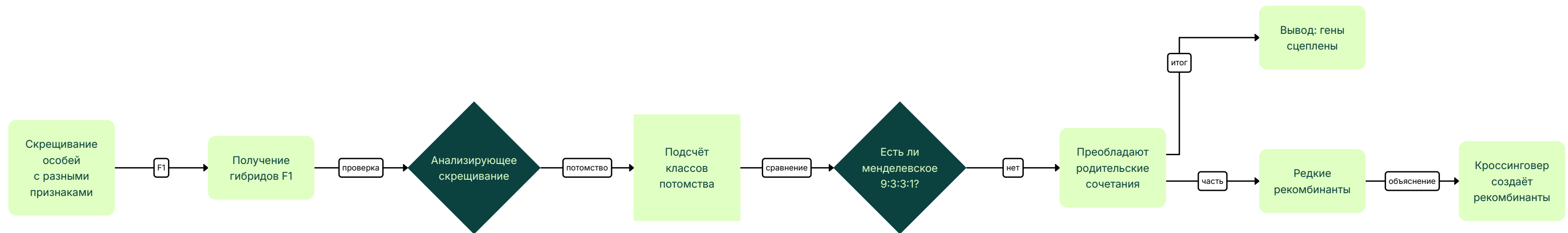
● Удобство эксперимента

У вида легко различать самцов и самок, а содержание в лаборатории не требует сложных условий. Поэтому дрозофила стала классическим организмом для проверки генетических гипотез.



Как были доказаны сцепление и кроссинговер

Последовательность скрещиваний и анализа потомства в опытах Моргана



Сцепление генов и его биологический СМЫСЛ

6

1

Совместное наследование

Сцепление означает, что гены, расположенные в одной хромосоме, обычно передаются вместе. Поэтому определённые сочетания признаков сохраняются в потомстве чаще, чем можно ожидать по независимому наследованию.

2

Роль расстояния

Чем ближе гены друг к другу, тем меньше вероятность, что кроссинговер разделит их. Дальние гены разъединяются чаще, поэтому сцепление между ними оказывается менее устойчивым.

3

Неполное сцепление

Полное сцепление встречается редко, потому что в мейозе хромосомы способны обмениваться участками. Из-за этого появляются рекомбинантные комбинации, которые расширяют разнообразие потомства.

Типы наследования и их признаки

Тип	Потомство	Причина	Значение
Независимое	Свободные комбинации	Разные хромосомы	Соответствует Менделю
Сцепленное	Передаются вместе	Одна хромосома	Выявляет группы сцепления
Неполное	Родительские и новые	Кроссинговер	Даёт рекомбинанты
Рекомбинация	Новые сочетания	Обмен участками	Помогает картированию

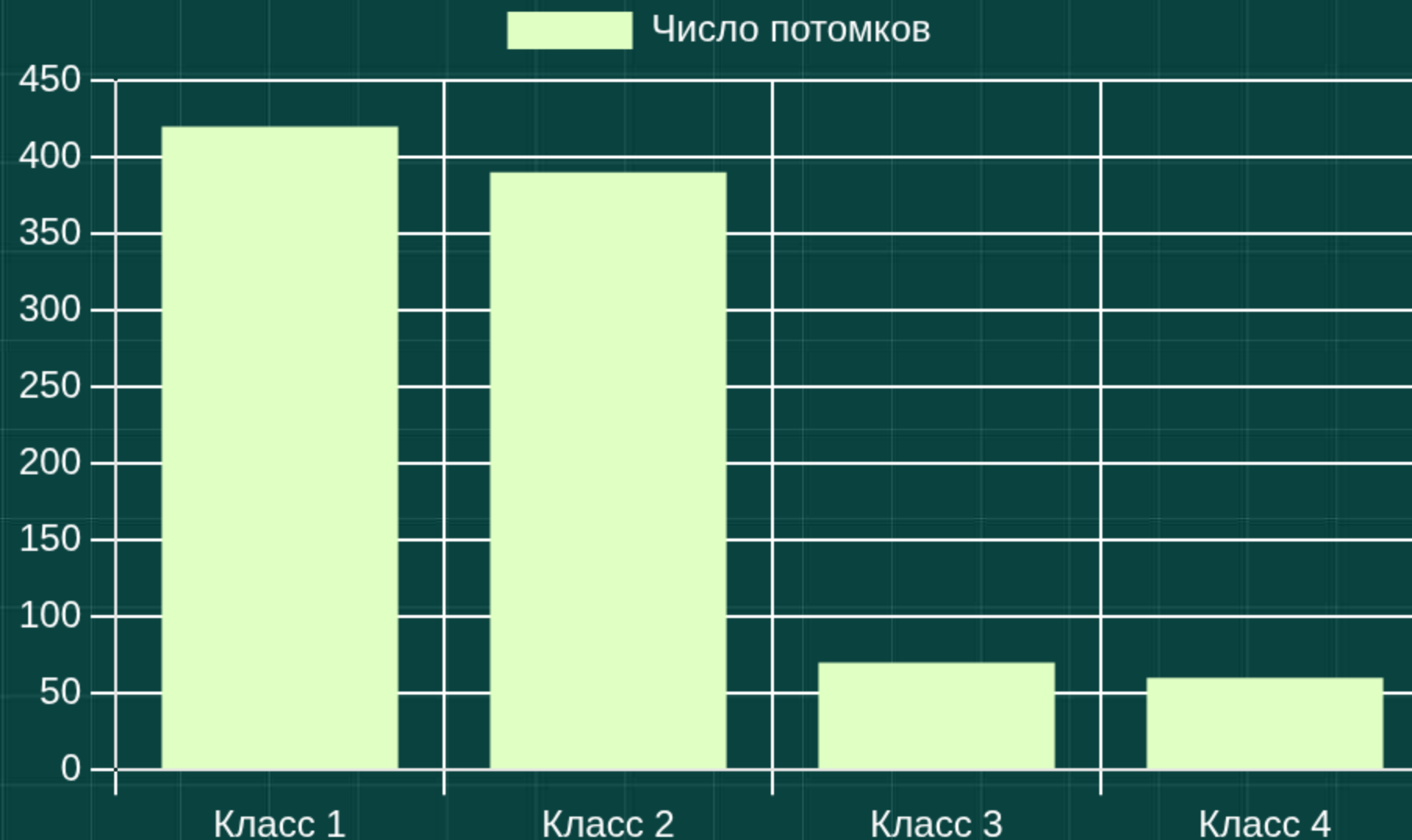
Сравнение показывает, что характер расщепления в потомстве зависит от расположения генов и частоты кроссинговера.

Отклонения от менделевских соотношений объясняются не случайностью, а положением генов в хромосомах и возможностью кроссинговера.



Обобщение положений хромосомной теории Г. Моргана

Родительские и рекомбинантные классы потомства



На диаграмме видна типичная картина анализирующего скрещивания: основные классы резко преобладают над редкими вариантами.

Преобладание двух классов подтверждает сцепление генов, а меньшая доля рекомбинантов указывает на неполный разрыв сцепления кроссинговером.



Схематические данные для иллюстрации анализирующего скрещивания

Кроссинговер как причина рекомбинации



Профаза I

Кроссинговер происходит в профазе I мейоза, когда гомологичные хромосомы тесно сближаются. Именно в этот момент становится возможен обмен участками между ними.



Обмен участками

После обмена появляются новые сочетания аллелей, которых не было у родителей. Такие сочетания называют рекомбинантными и используют для анализа наследования признаков.



Зависимость от расстояния

Чем дальше друг от друга расположены гены, тем выше вероятность, что кроссинговер разделит их. Поэтому частота рекомбинации отражает относительную удалённость локусов.

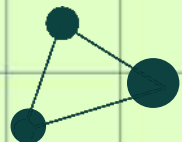


Основа картирования

Сравнение частоты рекомбинации позволило строить генетические карты. Они показывают порядок генов в хромосоме и помогают изучать наследование без прямого измерения ДНК.

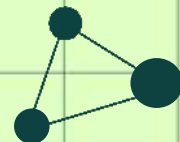
Генетическая карта хромосомы

10



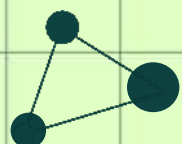
Порядок генов

Генетическая карта показывает, какие гены расположены в хромосоме и в каком порядке они следуют друг за другом. Это важнее, чем просто знать их названия.



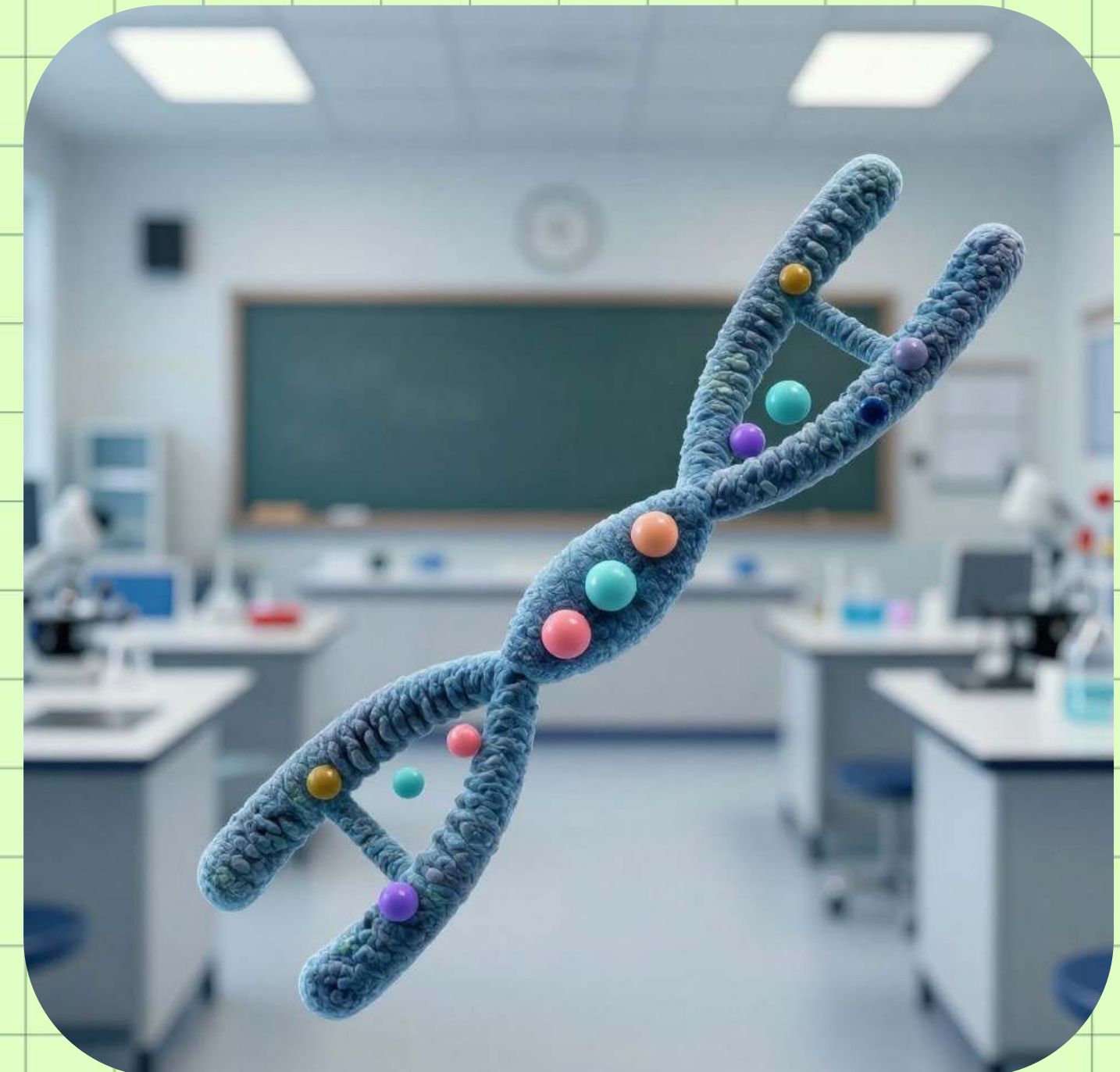
Единица расстояния

За основу берут частоту кроссинговера: 1% рекомбинации приблизительно соответствует 1 сантиморганиде. Так получают относительные расстояния между локусами, удобные для сравнения.



Вероятность, а не длина

Карта не измеряет физическую длину молекулы ДНК. Она отражает вероятность того, что два гена будут разделены при мейозе, и потому имеет вероятностный смысл.



Основные термины хромосомной теории

Термин	Значение	Биологический смысл
Локус	Место гена	Положение на хромосоме
Аллель	Вариант гена	Разнообразие признаков
Группа сцепления	Гены одной хромосомы	Наследуются вместе
Кроссинговер	Обмен участками	Даёт рекомбинации

Ключевые понятия, через которые описывают локализацию генов, их совместное наследование и рекомбинацию.

Каждый термин описывает отдельное звено механизма наследования: от положения гена до появления новых сочетаний признаков.



Хромосомная теория наследственности; классическая генетика Г. Моргана

Число групп сцепления совпадает с числом хромосом в гаплоидном наборе: это напрямую связывает кариотип и организацию наследственной информации.

Кариотип человека; данные классической цитогенетики



23

группы сцепления известно у человека, что соответствует гаплоидному числу хромосом

Связь между расстоянием генов и частотой рекомбинации



График отражает общий принцип: чем дальше расположены гены, тем выше вероятность их разделения при кроссинговере, но рост не бесконечен.

Частота рекомбинации служит индикатором расстояния между генами лишь до предела 50%, после которого дополнительные обмены уже не увеличивают наблюдаемое значение.



Классическая генетика; зависимость частоты кроссинговера от расстояния между генами

Этапы изучения сцепления с полом

Наблюдение признака

В опытах с дрозофилой был обнаружен признак белых глаз, который распределялся не одинаково у самцов и самок и сразу привлёк внимание генетиков.

Связь с X-хромосомой

Анализ скрещиваний показал, что ген признака связан с X-хромосомой, поэтому у самцов он проявлялся чаще, чем у самок.

Расширение теории

Это открытие подтвердило, что сцепление может касаться не только аутосом, но и половых хромосом, уточнив хромосомную теорию наследственности.

Как работы Моргана изменили генетику



Дрозофила как лаборатория наследственности

Небольшая мушка с коротким жизненным циклом стала идеальным объектом для строгих опытов. На её признаках — цвете глаз, форме крыльев, окраске тела — удобно было проверять наследование и видеть закономерности, скрытые в больших популяциях.



От наблюдений к доказательству

Серия скрещиваний показала, что гены не «смешиваются» случайно, а занимают определённые места в хромосомах. Так появились первые убедительные аргументы в пользу материальной основы наследственности и связи генетики с цитологией.

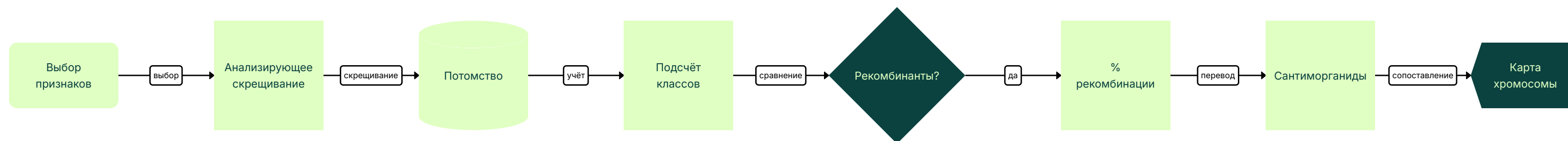


Школа, изменившая науку

Работы Моргана и его сотрудников в 1910–1915 годах создали язык классической генетики: сцепление, кроссинговер, генетическая карта. Эти идеи быстро вышли за пределы одной лаборатории и повлияли на селекцию и медицину.

Определение расстояния между генами

Схема показывает, как по потомству анализирующего скрещивания рассчитывают частоту рекомбинации и строят генетическую карту.



Почему частота рекомбинации не превышает 50%



На диаграмме показан рост рекомбинации при увеличении расстояния между генами; для очень удалённых участков наблюдаемое значение выходит на плато.

Предел 50% возникает потому, что множественные кроссинговеры могут восстанавливать родительские сочетания и скрывать часть реальных обменов.



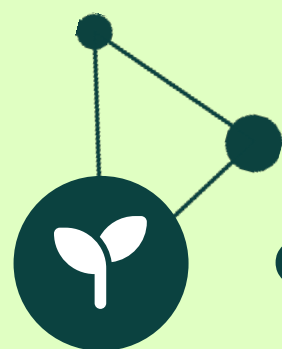
Независимое и сцепленное наследование: сравнение

Критерий	Независимое	Сцепленное
Расположение генов	Разные хромосомы	Одна хромосома
Потомство	Свободные комбинации	Родительские классы
Кроссинговер	Не влияет	Разрывает сцепление
Рекомбинанты	Обычно много	Мало

Сопоставление двух механизмов помогает понять, почему одни признаки комбинируются свободно, а другие передаются совместно.

Главное различие определяется не самим признаком, а положением генов в хромосомах и возможностью их разделения кроссинговером.

Практическое значение хромосомной теории



Селекция

Теория помогает подбирать родительские формы и прогнозировать сочетания признаков у потомства, что особенно важно в растениеводстве и животноводстве.



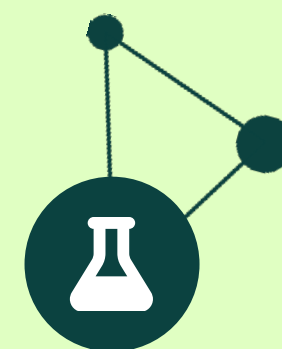
Генетическое картирование

По частоте рекомбинации определяют относительное положение генов, строят карты хромосом и изучают организацию наследственного материала у разных видов.



Медицинская генетика

Хромосомный подход позволяет объяснять наследование некоторых заболеваний, выявлять сцепленные гены и точнее оценивать риск передачи признаков.



Экспериментальная база

Работы Моргана показали, что наследственность можно изучать на строгих опытах и количественном анализе, а не только на описательных наблюдениях.



Главный вывод хромосомной теории

Морган показал, что наследственность имеет материальную основу: гены расположены в хромосомах, а их поведение в мейозе объясняет сцепление, рекомбинацию и новые сочетания признаков.