



Урок 39. Сцепление генов и рекомбинация

Часть 1. Материалы ученика

Практическая биология · 9 класс

Урок 39 из 45 · 45 минут · Модуль «Генетика человека»

Уровень: начинающий исследователь.

Программа: <https://schoolotzyv.ru/blog/prakticheskaya-biologiya-9-klass-programma>

Уточните, что объединяет число 80, и исправьте вывод.

Результат урока: Определить фазу сцепления, вычислить частоту рекомбинации и объяснить ограничения генетической карты.

01. Проблемная ситуация

0–5 минут. Из 400 потомков 80 рекомбинантны. Ученик написал «каждая рекомбинантная гамета встречается в 20%». Уточните, что объединяет число 80, и исправьте вывод.

02. Понятия и разобранный пример

5–14 минут: 4 минуты на понятия, 3 на пример, 2 на объяснение способа партнёру.

Как устроена модель

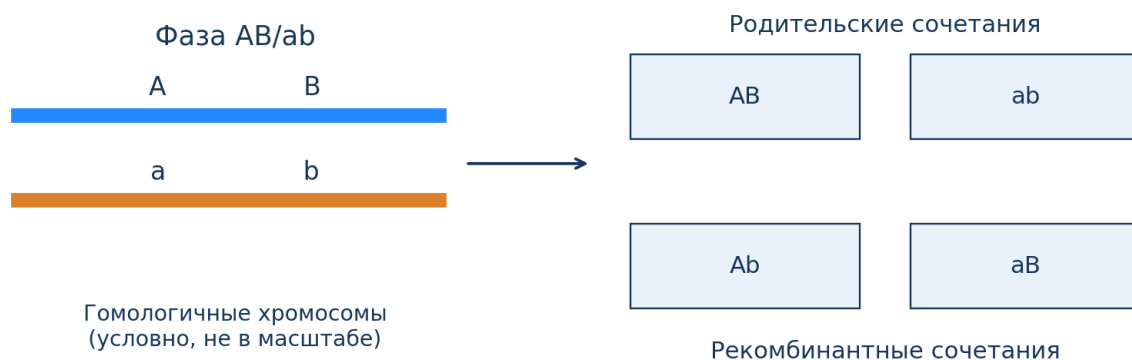
Сцепленные локусы расположены в одной хромосоме. Запись AB/ab показывает фазу: A и B на одном гомологе, а и b — на другом. Запись AaBb сама по себе фазу не показывает. При кроссинговере возможен обмен участками между несестринскими хроматидами гомологичных хромосом.

В анализирующем скрещивании AB/ab × ab/ab генотип потомка раскрывает гамету первого родителя. Родительские сочетания здесь AB и ab, рекомбинантные — Ab и aB. Для другой фазы Ab/aB категории поменяются. Сначала определяют фазу, затем считают рекомбинанты.

Частота рекомбинации r — доля рекомбинантных потомков в информативной серии. В простой симметричной модели каждая родительская гамета имеет вероятность $(1-r)/2$, рекомбинантная — $r/2$. Для близких локусов 1% приблизительно соответствует 1 сантиморгану; это генетическое расстояние, не число пар оснований. Многократные обмены ограничивают точность.

Работайте по подписям и масштабу; рисунки условные и не заменяют запись реального наблюдения.

Пример: 84 AB, 76 ab, 22 Ab, 18 aB, всего 200. Рекомбинанты 40; $r=40/200=0,20=20\%$. Приближённое расстояние 20 сМ. Модель ожидает AB и ab по 40%, Ab и aB по 10%; наблюдения не обязаны совпадать попарно.



Фаза AB/ab и четыре типа гамет; родительские AB/ab и рекомбинантные Ab/aB различены цветом и подписями.



03. Практика 1. Проверяем материал

Анализ данных в паре

14–25 минут. В паре: 2 минуты прочитайте данные, 6 минут выполните расчёты или сопоставление, 3 минуты проверьте объяснения друг друга. Данные вымышлены, кроме явно указанных сведений об ископаемых видах.

Объект или случай	Данные	Условие
AB	162 потомка	Родительская гамета
ab	158 потомков	Родительская гамета
Ab	41 потомок	Рекомбинантная
aB	39 потомков	Рекомбинантная

Найдите общее число, число рекомбинантов и r . Рассчитайте модельные вероятности четырёх гамет и ожидаемые числа в такой же серии. Сравните наблюдение с ожиданием, назовите единицу приблизительного генетического расстояния. Результат: расчёт и четыре пары «наблюдение/ожидание».

04. Практика 2. Перенос способа

Новая задача

25–33 минуты. В новой серии фаза Ab/aB. Потомки Ab=90, aB=86, AB=12, ab=12. Какие классы теперь рекомбинантные? Найдите r и вероятности гамет в симметричной модели. Объясните, почему нельзя автоматически считать сочетание AB родительским.

05. Обсуждение и границы вывода

33–40 минут. Два локуса дают около 50% рекомбинантов. Обязательно ли они на разных хромосомах? Сравните гипотезы «разные хромосомы» и «далеко друг от друга на одной».

06. Индивидуальная проверка

40–45 минут. При AB/ab, $r=0,10$ и анализирующем скрещивании найдите $P(Ab)$ и ожидаемое число Ab среди 600.



Часть 2. Ответы и материалы учителя

Практика 1: разбор и критерии

Всего 400, рекомбинантов 80, $r=0,20$. Вероятности 0,40; 0,40; 0,10; 0,10. Ожидаются 160, 160, 40, 40. Отклонения +2, -2, +1, -1. Приблизительно 20 сМ, не 20 пар оснований. Суммы — 1 балл, r — 1, четыре ожидания — 1, единица и ограничение — 1.

Практика 2: разбор и критерии

Рекомбинанты АВ и аb: 24 из 200, $r=0,12$. Ab и aB по 0,44, АВ и ab по 0,06. Категория зависит от исходного расположения аллелей, а не от больших букв. Классы — 1 балл, r и вероятности — 1, объяснение — 1.

Обсуждение: возможный вывод

По такой доле различить гипотезы нельзя: частые обмены между далёкими локусами могут делать наследование похожим на независимое. Нужны дополнительные маркеры или сведения о хромосомах. Доля рекомбинантов не является прямым измерением физического расстояния.

Индивидуальная проверка: ответ и критерии

$P(Ab)=r/2=0,05$; ожидаются 30. Деление на два нужно, потому что r объединяет два рекомбинантных класса. По баллу за вероятность, число и объяснение — 3.

Учителю: подготовка и план на 45 минут

На пару: ученические страницы PDF, карандаши двух цветов, линейка, калькулятор. Схемы, таблицы, определения и условия включены в урок. Работа только на бумаге. Не собирать образцы, личные генетические и медицинские сведения или родословные учеников. Не проводить опыты с мутагенами. Не делать выводов о здоровье, родстве или способностях людей. Интернет, регистрация и аккаунты детям не нужны.

Уровень — начинающий исследователь, 9 класс. Предпосылки: ген, аллель, генотип и фенотип; доли и проценты; чтение таблиц и схем. В паре один описывает, второй проверяет, затем меняются. Все изображения и числовые серии учебные; работу по ним не выдавать за проведённый опыт. Подготовка и печать выполняются до урока; разборы открываются после самостоятельной попытки. При затруднении учитель разбирает первую строку вместе с классом, остальные учащиеся выполняют самостоятельно.

Минуты	Работа	Результат
0–5	Проблема	Вопрос и первое решение
5–14	Понятия и пример	Способ проверки
14–25	Практика 1	Готовый продукт и проверка
25–33	Практика 2	Перенос способа
33–40	Обсуждение	Аргумент и ограничение
40–45	Индивидуальная проверка	Самостоятельный ответ



07. Соответствие исходной программе

Пункт программы	Действие ученика	Проверяемый результат
16.1. Генетика человека	Сцепление генов и рекомбинация	Определить фазу сцепления, вычислить частоту рекомбинации и объяснить ограничения генетической карты.
Решение задач и работа с моделями	Обосновать решение по данным	Ответ содержит данные и ход рассуждения
Границы научного вывода	Указать недостающие сведения	Модель не выдаётся за диагноз или точную родословную видов

Источники и права на изображения

Исходная программа курса

<https://schoolotzyv.ru/blog/prakticheskaya-biologiya-9-klass-programma>

Научная справка: 13-1-chromosomal-theory-and-genetic-linkage

<https://openstax.org/books/biology-2e/pages/13-1-chromosomal-theory-and-genetic-linkage>

Тексты, задания, учебные данные и схемы разработаны для портала «Школы России». Числовые серии — учебные модели, не результаты проведённых классом опытов. Схемы авторские, не копии микрофотографий; сторонние изображения не используются. Фактические сведения сверены по указанным источникам 19.10.2026. Материалы полностью даны, переход по внешним ссылкам ученику не требуется.