

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова
Кафедра морфологии

ГЕНЕТИКА С ОСНОВАМИ СЕЛЕКЦИИ

Практикум

Ярославль
ЯрГУ
2020

УДК 575+631.522/524(076.5)
ББК Е047я73
Г34

*Рекомендовано
Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного издания. План 2020 года*

Рецензент
кафедра морфологии ЯрГУ

Составитель
М. И. Ковалева

Генетика с основами селекции : практикум
Г34 / сост. М. И. Ковалева ; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Деми-
дова. — Ярославль : ЯрГУ, 2020. — 64 с.

В практикуме представлены задачи базового и повышенного уровня сложности, методические материалы, рекомендации к изучению различных разделов генетики, таких как «Молекулярные и цитологические основы наследственности», «Законы Г. Менделя», «Хромосомная теория наследственности» и «Генетические процессы в популяции», контрольные вопросы для подготовки к занятиям.

Предназначен для студентов, изучающих дисциплину «Генетика и селекция».

УДК 575+631.522/524(076.5)
ББК Е047я73

© ЯрГУ, 2020

Генетическая символика и номенклатура

Генетика является фундаментальной научной дисциплиной, изучающей основные свойства живых организмов — наследственность и изменчивость. Они неразрывно связаны между собой. На современном этапе научных достижений и развития технологий генетика переросла из научного направления в систему знаний, являющуюся основой формирования мировоззрения современного биолога.

В генетике используется следующая символика:

× — скрещивание

♀ — женский пол (астрономический символ Венеры)

♂ — мужской пол (астрономический символ Марса)

> — доминирование (математический знак «больше»)

P — родительские организмы (от лат. *parenta* — родители)

F — поколения (от лат. *fili* — дети)

Цифровой индекс при этом соответствует порядковому номеру поколения. Так, F₁ — потомство первого поколения, F₂ — потомство второго поколения (внуки), F₃ — потомство третьего поколения (правнуки) и т. д.

При записи скрещиваний генотип женского рода пишется первым.

Основные принципы генетической номенклатуры:

1. Для обозначения генов в большинстве случаев употребляются слова (буквы) английского языка (реже латинского или греческого). Гены обозначаются исходя из производимого ими эффекта. Эффекты генов описываются при сравнении мутантного штамма со стандартным (так называемым штаммом дикого типа). Такой аллель может обозначаться дополнительно индексом + (например: w⁺) или просто знаком «+».

2. Название генов принято сокращать, образуя символ гена. Название сокращается до одной — четырех букв. В генетике бактерий и дрожжей рекомендуется употреблять символы из трех букв. Символы генов принято писать *курсивом*.

Примеры обозначения генов аспергилла:

aa — amino acid uptake

ad — adenine requiring

amd — acetamidase regulation

arg — arginine requiring

aps — anucleate primary sterigmata

У дрозофилы: мутация «белые глаза» у дрозофилы обозначается английским словом «*white*» (белый), символ гена — *w*. Мутация «черное тело» — «*black*». Символ гена — *b*.

3. Доминантные гены всегда обозначаются заглавными буквами (A, B, C, D), а рецессивные строчными (a, b, c, d). Если имеется серия множественных аллелей, то её гены отображают буквой с цифрами или буквенными индексами.

4. Для генов, имеющих одинаковое или сходное проявление, но расположенных в разных локусах, принято использовать одинаковое название, но с буквенными (номенклатура бактерий, а также аспергилла) или цифровыми (номенклатура дрожжей, нейроспоры) индексами. Так, разные гены потребности в гистидине кишечной палочки имеют обозначения *hisA* — *hisH*, *hisI*, *hisO*, дрожжей — *his1* — *his7*.

5. Мутантное состояние гена по отношению к состоянию дикого типа может быть либо рецессивным, либо доминантным. В первом случае символ пишут строчными буквами, во втором — заглавными или заглавной пишется первая буква символа (нейроспора). Так, гены биосинтеза фосфатаз у дрожжей обозначают *pho2* и *PH082*: первый символ обозначает, что мутантное состояние рецессивно, второй — доминантно.

6. Буквенные индексы, приписываемые сверху символа гена, традиционно употребляются лишь при обозначении генов устойчивости (*R*) и чувствительности (*S*). Так, гены устойчивости дрожжей к канаванину и солям меди — аллели дикого типа *CAN^S1*, *cup^S1*, и мутантные *can^R1*, *CUP^R1* (соответственно первая рецессивна, вторая доминантна).

7. Существуют и применяются три способа обозначения генотипа диплоидов:

а) *AaBbCc*;

б) *A/a*, *B/b*, *C/c*. Доминантный ген можно обозначить знаком «+», тогда запись будет: *+/a*, *+/b*, *+/c*;

в) $\frac{A}{a} \frac{B}{b} \frac{C}{c}$ или $\frac{+}{a} \frac{+}{b} \frac{+}{c}$ или $\frac{AB}{ab} \frac{C}{c}$ (если гены сцеплены).

Здесь черточки изображают хромосомы, в которых находятся эти гены.

Пример записи генотипа:

$$\frac{+ \quad \textit{tyr1-2} \quad \textit{his7-1} \quad \textit{MATa} \quad \textit{CAN}^S1 \quad \textit{ura3-1} \quad + \quad \textit{his1}}{\textit{lys2-1} \quad \textit{tyr1-2} \quad \textit{his7-2} \quad \textit{MATa} \quad \textit{can}^R1 \quad \textit{ura3-13} \quad \textit{hom3} \quad +}$$

Этот штамм — ауксотроф по тирозину, гистидину, урацилу, чувствителен к канаванину; он гетерозиготен по генам *lys2*, *MAT* (тип спаривания), *CAN1*, *hom3*, *his1*, а в генах *his7* и *ura3* несет аллельные, но не идентичные мутации.

8. Описание фенотипов также сокращают, используя трехбуквенные символы со знаком "+" (дикий тип) и "-" (мутантный фенотип), причем первая буква пишется заглавной для различения этой записи и записи сокращенного обозначения генов. Кроме того, символ фенотипа не набирается курсивом. Примером может служить следующая запись фенотипа диплоидного штамма дрожжей, генотип которого был приведен выше:

Tyr⁻His⁻Ura⁻Can^SLys⁺Hom⁺

9. При составлении родословных используется следующая символика (рис. 1).

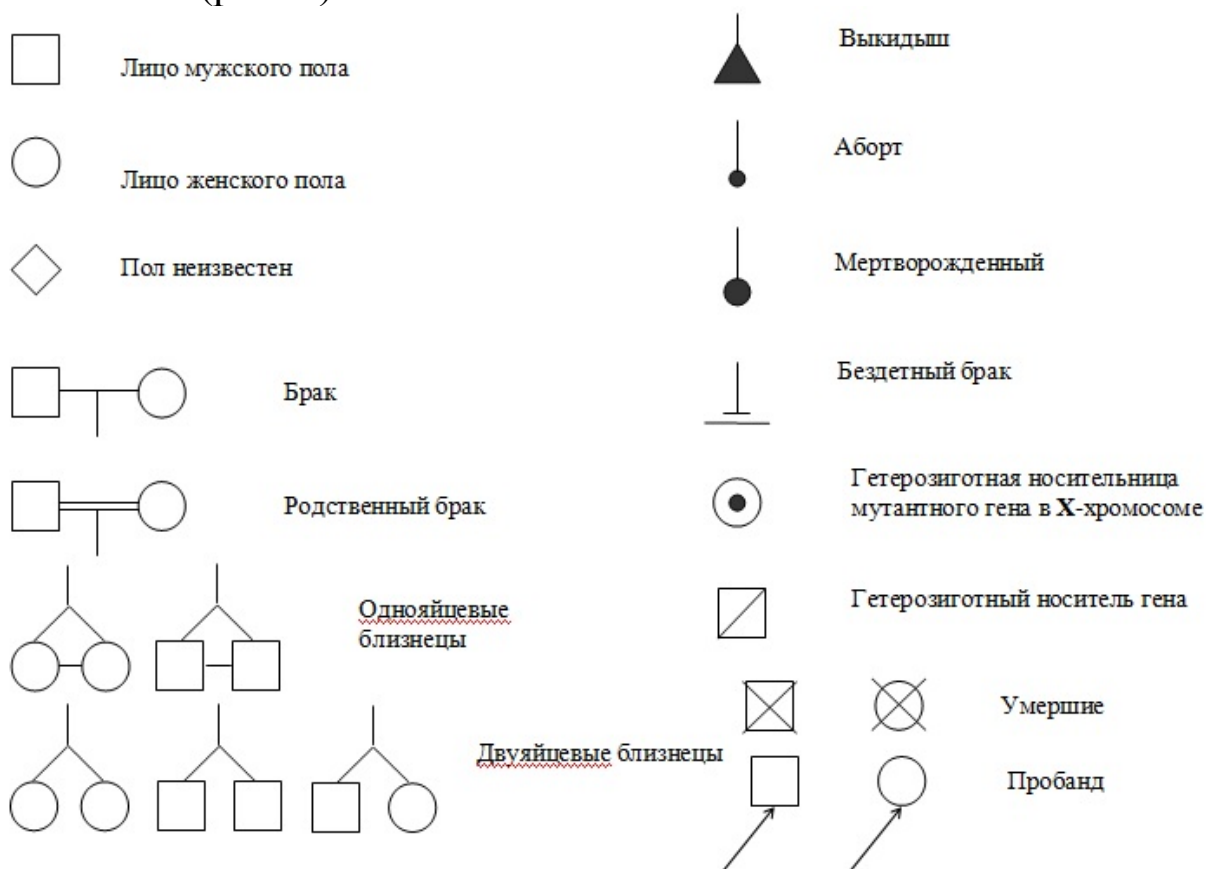


Рис. 1. Символы, используемые при составлении родословных

Список лабораторных работ

	Тема	Контроль
1	Молекулярные основы наследственности.	опрос, к. р.
2	Цитологические основы наследственности. Упаковка наследственного материала. Хромосомы. Деление клеток	опрос
3	Цитологические основы наследственности. Мейоз	опрос
4	Рекомбинация у эукариот. Гаметогенез у животных. Споро- и гаметогенез у растений	опрос, к. р.
5	Закономерности наследования при моногибридных скрещиваниях	опрос
6	Закономерности наследования при полигибридных скрещиваниях. Взаимодействие неаллельных генов	опрос, к. р.
7	Хромосомная теория наследственности. Генетическое определение пола. Сцепленное с полом наследование	опрос
8	Хромосомная теория наследственности. Сцепление генов и кроссинговер. Механизмы рекомбинации	опрос, к. р.
9	Генетические основы эволюции. Генетические процессы в популяциях	опрос

Подготовка к лабораторной работе

Для каждого занятия сформулированы контрольные вопросы для самостоятельной подготовки. Для подготовки к занятиям нужно использовать лекции, учебник, методические материалы, рекомендованные преподавателем. Теоретические знания необходимы для выполнения всех заданий на лабораторной работе.

Порядок оформления лабораторной работы

- Записать тему работы, дату.
- Записать название работы, предусмотренной методическими указаниями.
- Внимательно изучить порядок выполнения работы.

- Таблицы необходимо заполнить.
- Микроскопические препараты тщательно изучить под микроскопом, затем сделать записи в тетради. Тетрадь в данном случае выполняет роль лабораторного журнала. Запись должна содержать:
 - 1) название препарата,
 - 2) объект исследования (указать вид организма, орган)
 - 3) название красителя (окраска)
 - 4) увеличение, с которого сделан рисунок.
- Необходимо сделать аккуратный, точный рисунок (цветной).
- Согласно требованиям методических указаний сделать обозначения.
 - Решить задачи. Записать кратко, что дано, далее написать схему скрещивания и ответить на все вопросы. Записать ответ.
 - Сделать вывод о проделанной работе.

Занятие 1. Молекулярные основы наследственности

Контрольные вопросы

1. Химический состав нуклеиновых кислот.
2. Структура и генетическая роль ДНК.
3. Строение РНК. Типы РНК. Вторичная структура тРНК.
4. Хранение и реализация наследственной информации.
5. Генетический код и его свойства.
6. Репликация, транскрипция.
7. Созревание иРНК.
8. Трансляция.



Рис. 2. Схема передачи наследственной информации (для решения задач)

Работа 1

Решите задачи.

1. Какая последовательность правильно отражает путь реализации генетической информации? Выберите один правильный ответ:

- ген → иРНК → белок → признак,
- признак → белок → иРНК → ген → ДНК,
- иРНК → ген → белок → признак,
- ген → ДНК → признак → белок.

2. В одной цепи молекулы ДНК нуклеотиды расположены в такой последовательности: А Т Т Г Ц Ц Ц Г А Т А А Ц Г Ц Т А А Г Т ... Какова последовательность нуклеотидов в другой цепи этой молекулы?

3. В иРНК содержание аденина составляет 22 %, цитозина — 27 %, гуанина — 23 % и урацила — 28 %. Сколько процентов аденина содержится в участке ДНК, на котором был осуществлен синтез указанной иРНК?

4. Молекулярная масса молекулы ДНК равна 138 000. Сколько нуклеотидов содержится в каждой цепи ДНК по отдельности, если молекулярная масса одного нуклеотида равна 345?

5. Белок состоит из 130 аминокислот. Установите число нуклеотидов в иРНК и ДНК, кодирующих данный белок, и число молекул тРНК, которые необходимы для синтеза данного белка. Ответ поясните.

6. Белок состоит из 70 аминокислот. Установите, во сколько раз молекулярная масса участка гена, кодирующего данный белок, превышает молекулярную массу белка, если средняя молекулярная масса аминокислоты — 110, а нуклеотида — 300. Ответ поясните.

7. Какие изменения произойдут в строении белка, если в кодирующем его участке ДНК — ТААЦАААГААЦАААА — между 10-м и 11-м нуклеотидами включить цитозин, между 13-м и 14-м — включить тимин, а в конце цепи прибавить еще аденин?

8. Участок цепи белка вируса табачной мозаики состоит из следующих аминокислот:

серин — глицин — серин — изолейцин — треонин — пролин — серин.

В результате воздействия на иРНК азотистой кислотой цитозин РНК превращается в гуанин. Определите изменения в строении белка вируса после воздействия на иРНК азотистой кислотой. При этом имейте в виду, что положение в цепи серина может определять не только триплет УЦУ (указан в таблице генетического кода), но и триплет АГУ.

9. Начальный участок *цепи В* инсулина представлен следующими десятью аминокислотами: фенилаланин — валин — аспарагиновая кислота — глутамин — гистидин — лейцин — цистеин — глицин — серин — гистидин. Определите количественные

соотношения аденин+тимин и гуанин+цитозин в цепи ДНК, кодирующей этот участок инсулина.

10. Известно, что все виды РНК синтезируются на ДНК-матрице. Фрагмент молекулы ДНК, на которой синтезируется участок центральной петли тРНК, имеет следующую последовательность нуклеотидов: ЦГТАТГГЦГЦЦАТТ. Установите нуклеотидную последовательность участка тРНК, синтезируемого на данном фрагменте ДНК, третий триплет которого соответствует антикодону тРНК. Какие аминокислоты будет переносить эта тРНК в процессе биосинтеза белка? Ответ поясните.

11. Известно, что все виды РНК синтезируются на ДНК-матрице. Фрагмент молекулы ДНК, на которой синтезируется участок центральной петли тРНК, имеет следующую последовательность нуклеотидов (верхняя цепь смысловая, нижняя транскрибируемая).

5'-ЦГААГГТГАЦААТГТ-3'

3'-ГЦТТЦЦАЦГГТТАЦА-5'

Установите нуклеотидную последовательность участка тРНК, который синтезируется на данном фрагменте, обозначьте 5' и 3' концы этого фрагмента и определите аминокислоту, которую будет переносить эта тРНК в процессе биосинтеза белка, если третий триплет с 5' конца соответствует антикодону тРНК. Ответ поясните.

**Занятие 2. Цитологические основы
наследственности 1.
Упаковка наследственного материала.
Хромосомы. Деление клеток**

Контрольные вопросы

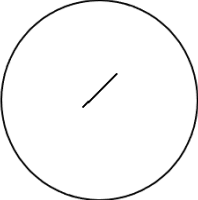
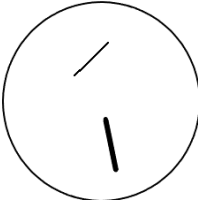
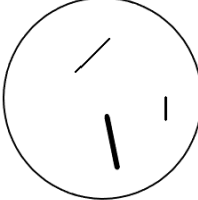
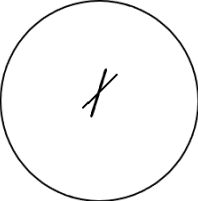
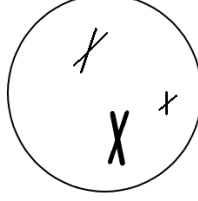
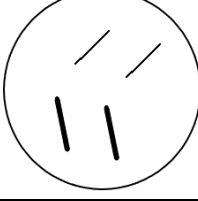
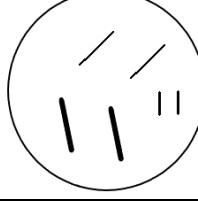
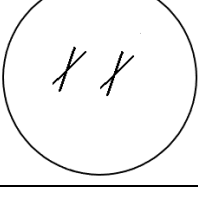
1. Организация генетического материала у вирусов.
2. Организация генетического материала у прокариот.
3. Организация ядра. Кариоплазма, хроматин, его типы.
4. Компактизации хроматина. Уровни упаковки ДНК. Организация хромосом. Типы хромосом. Кариотип.
5. Молекулярная структура основных элементов хромосомы.
6. Искусственные хромосомы.
7. Гигантские (политенные) хромосомы.
8. Жизненный цикл клетки. Периоды интерфазы, их характеристика.
9. Митоз. Морфологическая и генетическая характеристика фаз.
10. Генетический контроль митоза.
11. Биологическое значение митоза. Процессы, которые обеспечивает митоз в организме.
12. Типы митоза.
13. Отличие митоза в животной и растительной клетках.
14. Варианты нарушения митоза и их последствия.

Жизненный цикл клетки (митотический цикл) — это период существования клетки от момента её образования путем деления материнской до собственного деления или смерти.

Митоз — не прямое деление клетки. Является основным способом деления соматических клеток. В ходе митоза происходит ряд непрерывных морфологических, физиологических и генетических событий, делится на фазы: профаза → метафаза → анафаза → телофаза.

Работа 1

Изучите показатели генетической характеристики клетки. Заполните пустующие ячейки.

Число хромосом Ген. характеристика	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
1n 1c хромосомы однохроматидные до репликации			
1n 2c хромосомы двуххроматидные после репликации			
2n 2c хромосомы однохроматидные до репликации			
2n 4c хромосомы двуххроматидные после репликации			
3n 3c			
3n 6c			

Работа 2

Динамика генетических показателей

Составьте схему изменения (динамики) генетических показателей в ходе митоза для клеток с различными генетическими характеристиками: **1n1c**, **2n2c**, **3n3c**.

Изучите постоянные препараты.

Работа 3

Митоз (кариокинез) в растительной клетке (постоянный препарат, срез кончика корешка лука, окраска железный гематоксилин, увеличение 10•1•40).

Рассмотрите срез кончика корешка лука при малом увеличении микроскопа. Найдите участок, где расположены мелкие, почти квадратной формы клетки. Это зона деления корня (относится к меристематической ткани). Рост идет за счет размножения клеток путем митоза. Осторожно перемещая препарат на предметном столике, отыщите клетки, находящиеся в интерфазе и на разных стадиях деления: профазе, метафазе, анафазе и телофазе.

Зарисуйте клетки в интерфазе и на всех стадиях митоза. Обозначьте хроматин, хромосомы, ядро, ядрышки, ядерный сок, цитоплазму, клеточную оболочку. Запишите генетическую характеристику и число хромосом для каждой стадии (для лука $2n = 16$).

Работа 4

Митоз в животной клетке (дробление яйцеклетки лошадиной аскариды, постоянный препарат, окраска — железный гематоксилин, увеличение 10•1•40).

На малом увеличении микроскопа рассмотрите поперечный срез матки аскариды. Яйцеклетки окружены толстой гомогенной оболочкой оплодотворения. Она обычно отделена светлой полосой от делящейся зиготы. Первым этапом дробления является образование двух бластомеров. Деление клеток происходит митозом. Поставьте такую клетку в центр поля зрения и рассмотрите при увеличении объектива $\times 40$.

Митотический аппарат клетки на стадии метафазы образован центриолями и идущими от них ахроматиновыми нитями веретена деления. По экватору клетки расположены хромосомы, состоящие из двух хроматид. От центриолей к периферии отходят короткие тонкие нити, образующие «лучистое сияние» — центросферу.

Зарисуйте делящуюся яйцеклетку, обозначив хромосомы, центриоли, центросферу, ахроматиновое веретено, оболочку оплодотворения. Запишите генетическую характеристику и число хромосом для каждой стадии ($2n = 4$).

Работа 5

Митоз животной клетки (краевая зона печени аксолотля. Окраска — железный гематоксилин, увеличение 10•1•40).

Аксолотль — личинки мексиканской амбистомы **Ambystoma mexicanum**, способной размножаться.

На малом увеличении микроскопа рассмотрите срез печени, найдите краевую зону, где клетки активно делятся. Рассмотрите препарат при увеличении объектива х 40. Обратите внимание на форму делящейся клетки, развитие митотического аппарата, расположение хромосом в метафазе, способ цитотомии, частоту митозов.

Зарисуйте делящиеся клетки, обозначив стадии митоза, ядро, хроматин, хромосомы. Запишите генетическую характеристику и число хромосом для каждой стадии ($2n = 28$).

Работа 6

Политенные хромосомы слюнных желез личинки *Chironomus*

В клетках слюнных желез интерфазные хромосомы, благодаря многократной редупликации, без последующего расхождения элементарных хромосомных нитей, сильно увеличиваются в размерах и становятся видимыми. Такие хромосомы называют гигантскими, или полиненными (многонитчатыми). Такие клетки теряют способность к митозу.

Политенные хромосомы — крупные, неправильной формы неоднородные по строению. Они имеют вид лент различной длины, со вздутиями и поперечной исчерченностью.

Диски — темные участки более плотной спирализации хромонем (хромомеры), являющиеся сайтами генной экспрессии. Пуфы — характерные вздутия определенных дисков — образуются за счет локальной декомпатизации, связанной с активацией генов на этом участке (синтез РНК).

Зарисовать препарат при большом увеличении. Сначала изобразить контуры хромосом.

Работа 7

Рассмотрите постоянные препараты митоза в клетках корешков бобов, бластуле сига, инфузории, амитоз в клетках мочевого пузыря. Сделайте рисунки и обозначения.

Работа 8

Решите задачи.

1. Если предположить, что хромосомы несут наследственную информацию о признаках и свойствах организма, то какова будет информация в двух клетках, образованных путем митотического деления одной материнской?

2. В клетке животного диплоидный набор хромосом равен 34. Определите количество молекул ДНК перед митозом, на стадии анафазы и после митоза.

3. Во время аномального митоза в культуре ткани человека одна из коротких хромосом (№ 21) не разделилась, а целиком ушла в одну из дочерних клеток. Какие наборы хромосом будет нести каждая из дочерних клеток?

4. Во время митоза в культуре ткани человека произошла утеря одной хромосомы. Сколько хромосом будет в каждой из двух дочерних клеток?

5. В соматической клетке растения 16 хромосом. Одна из клеток вошла в митоз, но на стадии анафазы веретено деления было разрушено колхицином. Клетка выжила, закончила митоз. Определите количество хромосом и ДНК в этой клетке на всех стадиях следующего клеточного цикла.

6. Ходят слухи, что на планете Тау-Кита существует только бесполое размножение (почкование). Может ли идти на этой планете эволюция? Если может, то за счет каких процессов?

Занятие 3. Цитологические основы наследственности 2. Мейоз

Контрольные вопросы

1. Мейоз. Морфологическая и генетическая характеристика фаз.
2. Генетический контроль мейоза.
3. Генетическое значение мейоза. Процессы, обеспечивающие разнообразие генетического материала клеток (механизмы комбинативной изменчивости).
4. Типы мейоза. Нарушение мейоза.
5. Особенности мейоза полиплоидных клеток.

Изучите постоянные препараты.

Работа 1

Срез через пыльник лилии. Мейоз в материнских клетках пыльцы (постоянный препарат, окраска — гематоксилин, увеличение 10•1•40).

Изучите стадии 1 деления мейоза. Рассмотрите все этапы профазы: лептотена, зиготена, пахитена, диплотена, диакинез. Изучите метафазу, анафазу и телофазу 1 деления. Зарисуйте, обозначьте все элементы, дайте генетическую характеристику.

Изучите стадии 2 деления мейоза: профазу, метафазу, анафазу и телофазу. Зарисуйте, обозначьте все элементы, дайте генетическую характеристику.

Работа 2

Мейоз (деления созревания яйцеклетки лошадиной аскариды) (постоянный препарат, окраска — железный гематоксилин, увеличение 10•1•40).

Рассмотрите при малом увеличении микроскопа поперечный срез матки аскариды. Полость матки заполнена яйцеклетками, находящимися на разных стадиях развития в период созревания (ооцитами первого и второго порядка). Между яйцеклетками можно увидеть мелкие темноокрашенные сперматозоиды.

У аскариды оплодотворение происходит на стадии овоцита первого порядка. После проникновения сперматозоида яйцеклет-

ка покрывается толстой гомогенной оболочкой (оболочка оплодотворения), препятствующей проникновению других сперматозоидов, и вступает в первое деление мейоза. Для этой стадии характерно наличие в клетке тетрад (бивалентов гомологичных хромосом). Первое и второе деление завершаются выведением избытка хромосом в виде редукционных телец. Они видны в виде темных телец по периферии клетки.

Изучите несколько яйцеклеток при большом увеличении. Рассмотрите клетки на разных стадиях мейоза. Зарисуйте две любые фазы, обозначив основные структуры (оболочка оплодотворения, цитоплазматическая мембрана, цитоплазма, сперматозоиды, тетрады хромосом, редукционные тельца).

Работа 3.

Решите задачи.

1. Какие процессы в мейозе обеспечивают осуществление закона чистоты гамет?

2. В процессе мейоза одна из гомологичных хромосом человека не поделилась (нерасхождение). Сколько хромосом содержит каждая клетка, образовавшаяся в результате такого мейоза?

3. В клетке животного диплоидный набор хромосом равен 46. Определите количество молекул ДНК перед мейозом, после первого и после второго деления.

4. Клетка гонады перед мейозом имеет генотип aaBvCC. Напишите генотипы клеток: а) для всех стадий сперматогенеза; б) для всех стадий овогенеза.

5. Сколько бивалентов образуется в делящейся клетке клубники? голубя? кошки? крупного рогатого скота? сосны? яблони? моркови? ночной красавицы? кукурузы? человека?

6. Сколько хромосом идет к каждому полюсу в клетке человека в анафазе I, в анафазе II?

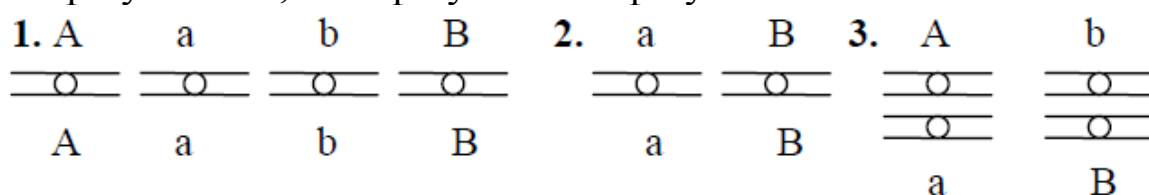
7. Можно ли сказать, что исходная и образовавшаяся в результате мейоза клетка отличаются только по числу хромосом?

8. Как, по вашему мнению, будут вести себя в мейозе X и Y хромосомы, имеющие разные размеры и форму?

9. Нарисуйте схему метафазной пластинки митоза и первого деления мейоза для клеток лошадиной аскариды (*Ascarus*

megalosephala) комара-пискуна (*Culex pipiens*), гороха посевного (*Pisum sativum*).

10. Какие из изображенных здесь фигур представляют собой метафазу митоза, метафазу I и метафазу II мейоза?



11. В приведенной таблице схематично отмечены процессы, которые обусловили образование разных типов гамет у особи, имеющей пару гомологичных хромосом (A и a). Заполните эту таблицу для организма, имеющего 2 пары хромосом, 3 пары хромосом.

Генотип	Aa	AaBb	AaBbCc
Фаза			
Интерфаза ранняя	A a		
Интерфаза поздняя	A a		
Метафаза I	A a		
Телофаза I	A a		
Телофаза II	A a A a		
Число типов гамет	2		

Занятие 4. Рекомбинация у эукариот. Гаметогенез у животных. Споро- и гаметогенез у растений

Контрольные вопросы

1. Типы размножения организмов. Преимущества и недостатки полового и бесполого размножения.
2. Рекомбинация у эукариот.
3. Гаметогенез и оплодотворение у животных, стадии. Отличие овогенеза от сперматогенеза.
4. Чередование гапло-и диплофазы в жизненном цикле растений.
5. Споро- и гаметогенез у растений. Сущность двойного оплодотворения.
6. Жизненные циклы растений разных отделов: водоросли, мохообразные, папоротникообразные, цветковые растения.
7. Рекомбинация у одноклеточных эукариот: грибы, простейшие, одноклеточные водоросли.
8. Нерегулярные типы полового размножения. Партеогенез. Типы партеогенеза.

Работа 1

Изучите и зарисуйте схему споро- и гаметогенеза у растений (рис. 3).

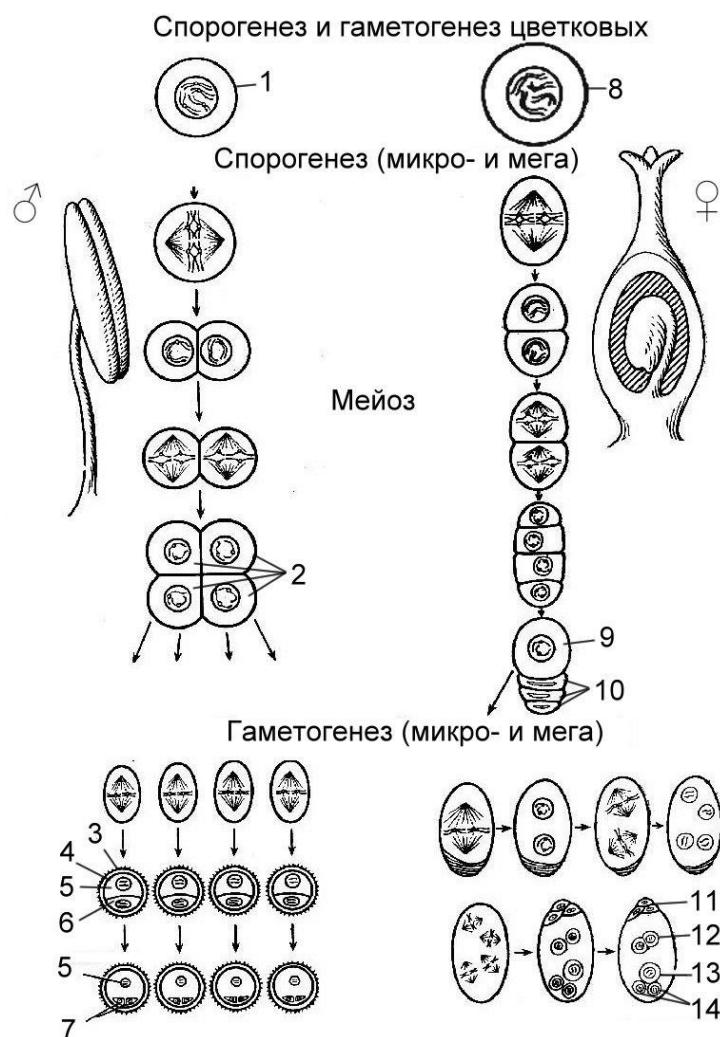


Рис. 3. Схема споро- и гаметогенеза высших растений

Обозначения:

- 1 — материнская клетка микроспоры; 2 — тетрада микроспор;
 3—4 — экзина и интина; 5 — вегетативная клетка; 6 — генеративная клетка; 7 — два спермия; 8 — материнская клетка мегаспоры;
 9 — мегаспора; 10 — три мегаспоры дегенерируют; 11 — антиподы;
 12 — клетки центрального ядра; 13 — яйцеклетка; 14 — синергиды

Изучите постоянные препараты.

Работа 2

Срез через пыльник (постоянный препарат, увеличение 10•1•40).

Рассмотрите срез пыльника. Пыльник состоит из двух половинок — тек, соединенных связником. Каждая из тек включает два гнезда (пыльцевые мешки). В пыльцевых мешках находятся

созревающие пыльцевые зерна, имеющие толстую скульптурированную оболочку. Найдите участок, где пыльца лежит монослоем. Рассмотрите внутреннее строение пыльцы на большом увеличении (х 40). В пыльцевом зерне из микроспоры развивается мужской гаметофит: после первого деления митозом образуются две гаплоидные клетки — вегетативная и генеративная. Первая образует при прорастании на пестике пыльцевую трубку. Генеративная клетка после митотического деления дает два спермия, оплодотворяющих яйцеклетку, и центральное ядро зародыша. Найдите пыльцевое зерно, в котором уже прошло первое деление споры. В видны два темных крупных ядра с ядрышками.

Зарисуйте несколько пыльцевых зерен, обозначьте оболочку, вегетативное и генеративное ядра гаметофита, а также их ядрышки.

Работа 3

Поперечный срез через завязь с семязачатками (постоянный препарат, увеличение 10•1•40).

Завязь у пролески состоит из трех плодолистиков, сросшихся боковыми стенками. Внутри каждого плодолистика развиваются два семязачатка (мegasпорангия). Снаружи семязачаток покрыт одним — двумя интегументами (покровами), которые на верхушке не смыкаются, образуя отверстие — микропиле, или пыльцевход. Внутри каждого семязачатка из микроспоры в результате трех митотических делений образуется зародышевый мешок (женский гаметофит). Выберите семязачаток, в котором полностью виден зародышевый мешок и рассмотрите на большом увеличении (х 40). На полюсе, ближайшем к микропиле, расположены три клетки: крупная в центре — яйцеклетка, по бокам синергиды. На противоположном полюсе три клетки — антиподы. В центре размещается вторичное ядро центральной клетки, которое образовалось в результате двух полярных ядер.

Зарисуйте семязачаток, обозначьте интегументы, микропиле, зародышевый мешок, яйцеклетку, синергиды, антиподы, центральное ядро.

Работа 4

Синкарион (стадия оплодотворения) у лошадиной аскариды (постоянный препарат, окраска — железный гематоксилин, увеличение 10•1•40).

При малом увеличении найдите яйца, в которых завершается процесс оплодотворения. В яйцах, завершивших период созревания, цитоплазма содержит два пронуклеуса. Это ядро яйцеклетки и ядро сперматозоида, каждое из которых имеет гаплоидный набор хромосом. Отличить мужской пронуклеус от женского на этой стадии пока не удаётся. В некоторых яйцах имеет место слияние пронуклеусов, их хромосомы объединены в общую метафазную фигуру, что свидетельствует о завершении внутренней фазы оплодотворения и переходе к первому митозу, которым начинается дробление. Зарисуйте яйцеклетку и обозначьте оболочку оплодотворения, цитоплазму, мужской и женский пронуклеусы.

Работа 5

Изучите постоянные препараты сперматогенеза у кузнечика, рака, мыши, кролика (постоянные препараты, увеличение 10•1•40).

Работа 6

Решите задачи.

1. Сколько типов гамет может образовывать сперматоцит I порядка у организма, для которого $2n = 2$, если в профазу I имел место один кроссинговер? Нарисуйте схему рассматриваемого процесса, изобразив гомологичные хромосомы разным цветом.

2. Гониальная клетка имеет генотип **ccDdEE**. Напишите генотипы клеток: а) для всех стадий сперматогенеза; б) для всех стадий овогенеза.

3. Нарисуйте схему овогенеза и сперматогенеза для дрозофилы (*Drosophyla melanogaster*).

4. Сколько яйцеклеток могут дать 500 овоцитов I порядка? 500 овоцитов II порядка? Ответ поясните схемой овогенеза.

5. Два брата — идентичных близнеца — женились на двух сестрах, которые также являются идентичными близнецами.

От каждого из этих браков родилось по одному ребенку — сыну. Будут ли эти мальчики похожи как идентичные близнецы?

6. В клетках кончика корешка лука 16 хромосом. Сколько хромосом содержит:

материнская клетка пыльца	эндосперм
микроспора	генеративное ядро
зародыш	мегаспора
яйцеклетка	ядро пыльцевой трубки

7. У растения в процессе микроспорогенеза образовалось 600 пыльцевых зерен. Сколько материнских клеток пыльца участвовало в их образовании?

8. Сколько типов ядер может быть в типичном восьмиядерном зародышевом мешке, если у исходной клетки $2n = 2$? $2n = 4$?

9. Растение имеет генотип ***AaBb***. Напишите, каким будет генотип яйцеклетки и центрального ядра. Ответ поясните, схематически изобразив все стадии мегаспоро- и мегагаметогенеза.

Занятие 5. Закономерности наследования при моногибридных скрещиваниях

Контрольные вопросы

1. Особенности объекта и метода в работе Г. Менделя.
2. I и II законы Грегора Менделя, их цитологическое обоснование.
3. Закон чистоты гамет, его цитологическое обоснование.
4. Условия соблюдения I и II закона Г. Менделя.
5. Типы скрещиваний. Возвратные и анализирующее скрещивание. Реципрокные скрещивания.
6. Взаимодействие аллельных генов. Множественный аллелизм.

Условия соблюдения I и II законов Г. Менделя:

- Исследуемые гены лежат в аутосомах.
- Полное доминирование.
- Полная пенетрантность.
- Равновероятное образование гибридом всех сортов гамет.
- Равновероятное оплодотворение.
- Равновероятная выживаемость зигот.

Работа 1

Решите задачи.

1. Напишите формулировку и цитологическое обоснование закона чистоты гамет.
2. Сколько и какие типы гамет образуются у особей:
 - а) с генотипом AA ;
 - б) с генотипом Aa ;
 - в) с генотипом aa .
3. Напишите вывод и формулировку I и II законов Менделя, используя в качестве примера любой придуманный вами признак.
4. У человека ген, определяющий карий цвет глаз (B), доминирует над геном, обуславливающим голубые глаза (b).

А. Какой цвет глаз может быть от брака голубоглазого мужчины и кареглазой женщины, в роду которой все были кареглазыми?

Б. Какова вероятность появления голубоглазого ребенка в браке голубоглазого мужчины и кареглазой женщины, мать которой была голубоглазой?

В. Может ли у кареглазых родителей родиться голубоглазый ребенок? Ответ поясните.

Г. Кареглазая женщина, у отца которой были голубые глаза, а у матери — карие, вышла замуж за голубоглазого мужчину, родители которого имели карие глаза. У них родился кареглазый ребенок. Определите генотипы всех указанных лиц.

5. У собак висячее ухо (H) доминирует над стоячим (h). Определите распределение по генотипу и фенотипу в F_1 от скрещивания двух собак с висячими ушами (рассмотрите все возможные варианты).

6. У ребенка на одной руке имеется 6 пальцев (доминантный признак), хотя оба его родителя нормальны по этому признаку. Как это можно объяснить?

7. У норки стандартный коричневый окрас меха (A) доминирует над голубым, алеутским, (a). Ферма, на которой имелись только коричневые норки, приобрела одного голубого самца. Как следует вести скрещивание, чтобы как можно быстрее и больше получить более дорогих голубых норок.

8. На рис. 4 представлена родословная рода, в котором встречалась наследственная аномалия — полидактилия (многопалость). Определите:

- доминантна или рецессивна эта аномалия;
- каковы генотипы членов этой семьи?

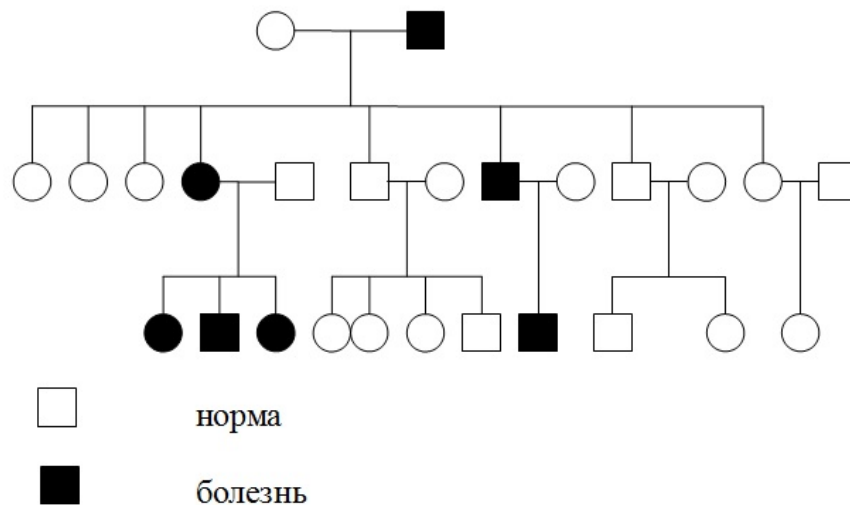
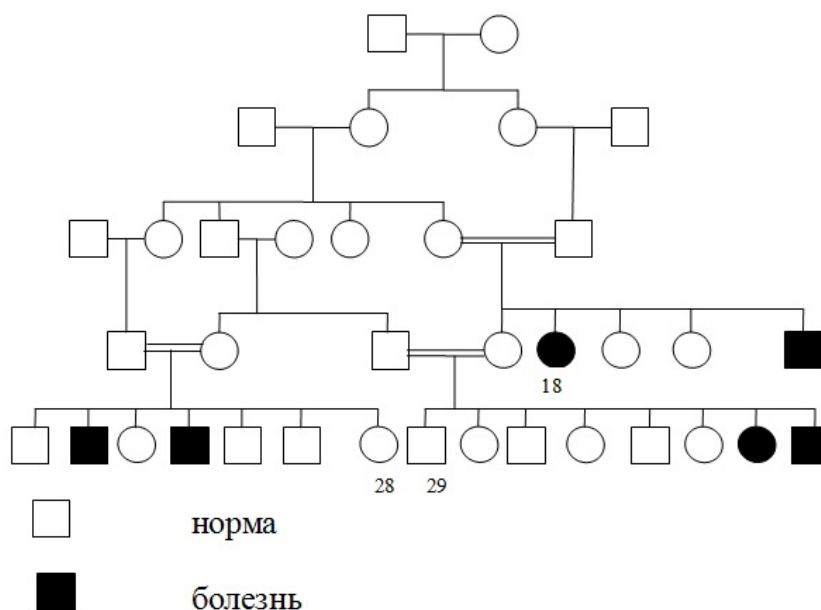


Рис. 4. Родословная рода, в котором встречалась полидактилия

в) какова вероятность появления больного ребенка от брака представителей рода № 28 и № 29.



10. Составьте родословную семьи со случаем диабета. Здоровые муж и жена (двоюродные сибсы) имеют больного ребенка. Мать мужа и отец жены (родные сибсы) здоровы. Брат мужа и две сестры жены здоровы. Общий дядя супругов тоже здоров. Их общая бабушка здорова, а дед страдал диабетом. Все родственники со стороны отца мужа (два дяди, двоюродная сестра, дед, бабушка) здоровы. Все родственники со стороны матери жены (тетка, двоюродный брат, дед и бабушка) здоровы. Составьте родословную этой семьи. Определите:

11. Здоровая женщина, отец которой страдал наследственной формой слепоты, выходит замуж за здорового мужчину. Какова вероятность рождения здорового ребенка в этом браке, если известно, что частота гетерозигот по этому гену составляет $1/50$.

12. Мендель скрещивал растения гороха, различающиеся по шести альтернативным признакам. В F_2 были получены следующие результаты, которые позволили Менделю установить распределение признаков по фенотипу 3:1.

Родители	Потомство
красные цветки × белые цветки	651 — с красными цветками 207 — с белыми цветками
гладкие семена × морщинистые семена	5474 — с гладкими семенами 1750 — с морщинистыми семенами
желтые семена × зеленые семена	6022 — с желтыми семенами 2001 — с зелеными семенами
окрашенные семенные оболочки × белые семенные оболочки	705 — с окрашенными семенными оболочками 224 — с белыми семенными оболочками
вздутые стручки × сморщенные стручки	882 — с вздутыми стручками 222 — со сморщенными стручками
зеленые стручки × желтые стручки	428 — с зелеными стручками 122 — с желтыми стручками

Определите, является ли расщепление 3:1 статистически достоверным для каждого из этих скрещиваний.

13. Джонс инбридировал (провел самоопыление, от англ. *inbreeding* от *in* «внутри» + *breeding* «разведение») 6 растений кукурузы и получил от каждого примерно по 25 семян. Некоторые семена дали зеленые растения, некоторые альбиносные:

- 1) 5 белых, 19 зеленых
- 2) 9 белых, 13 зеленых
- 3) 4 белых, 21 зеленых
- 4) 4 белых, 16 зеленых
- 5) 8 белых, 15 зеленых
- 6) 4 белых, 25 зеленых

Определите характер наследования альбинизма.

14. От скрещивания дрозофилы с серым телом и дрозофил с черным телом все потомство в F_1 имеет серое тело. При скрещивании мух F_1 между собой в F_2 появилось 1 199 серых и 385 черных

мух. Определите, как наследуется черная и серая окраска тела дрозофилы; проведите статистическую обработку результатов.

15. Проведите возвратное скрещивание гибридов с каждой из родительских форм (AA и aa). Какое из этих скрещиваний имеет большое практическое значение и почему?

16. Как можно установить, стала ли линия гороха генетически чистой в отношении какого-либо доминантного или рецессивного признака?

Как легче всего проверить, является ли петух с доминантным гороховидным гребнем гомо- или гетерозиготным (рецессивный признак — листовидный гребень)?

У кроликов пятнистая окраска шерсти (s) рецессивна по отношению к сплошной (S). Можно ли по потомству установить генотипы родителей:

а) если при скрещивании двух кроликов со сплошной окраской получено 12 крольчат со сплошной окраской;

б) если при скрещивании двух кроликов со сплошной окраской получено 9 одноцветных и 3 пятнистых крольчонка.

Кур с белой кожей (ген A) в некоторых странах покупают более охотно, чем кур с желтой кожей (ген a). Птицеферма имеет в стаде кур с желтой и белой кожей. Какие анализирующие скрещивания вы бы применили для того, чтобы элиминировать ген a из стада? Какого типа петухов и кур вы использовали бы в таких скрещиваниях? Как скоро стадо стало бы чистопородным в отношении гена A ?

У львиного зева красная окраска цветов (R) не полностью доминирует над белой окраской (r). Взаимодействие генов R и r дает розовую окраску цветов.

А. Определите окраску цветков в потомстве F_1 каждого из следующих скрещиваний:

$Rr \times Rr$; $RR \times Rr$; $rr \times RR$; $Rr \times rr$...

Б. Определите окраску цветков у потомства от возвратного скрещивания растения, полученного от гомозиготных родителей (3-е скрещивание).

17. При скрещивании пестрых кур получено 58 цыплят. Из них 13 белых, 15 черных и 30 пестрых. Как наследуется пестрая окраска? Можно ли путем многократного отбора в ряду поколений вывести нерасщепляющуюся линию пестрых кур?

18. Было проведено несколько скрещиваний растений редиса, различающихся по форме корнеплода. Получены следующие результаты:

Корнеплоды родителей	Корнеплоды потомства
длинный х овальный	159 длинных, 156 овальных
круглый х овальный	199 круглых, 201 овальных
овальный х овальный	119 круглых, 245 овальных, 127 длинных

Укажите генотипы всех растений. Каким будет потомство от самоопыления растений, имеющих длинный и круглый корнеплод? Соответствует ли полученное расщепление теоретически ожидаемому?

19. Какое расщепление по фенотипу следует ожидать в F_2 моногибридного скрещивания, если жизнеспособные женские гаметы образуются с частотой $0,4 A : 0,6 a$, а мужские — $0,8 A : 0,2 a$?

20. Какое расщепление по фенотипу следует ожидать в F_2 моногибридного скрещивания, если на ранних стадиях эмбрионального развития гибнет 20 % зигот Aa и 80 % зигот AA ?

21. У человека известен ряд наследственных заболеваний, которые вызывают гибель в раннем возрасте. Если эти болезни летальны, то почему они не элиминируются полностью из популяции?

22. У каракульских овец ген W определяет серую окраску смушка (ширази), ген w — черную. У гомозиготных по гену W ягнят отмечается аномалия пищеварительной системы (отсутствие рубца), и при переводе на грубый корм молодняк гибнет. Как вы бы предложили вести скрещивание, чтобы получить больше дорогого смушка и избежать потери молодняка?

23. У лисиц отмечена мутация платиновости, обуславливающая особенно красивый окрас меха. Обычно платиновые лисицы при разведении в себе дают как платиновое, так и серебристо-черное потомство в отношении 2:1. Как можно объяснить полученное расщепление? Как называются гены, подобные гену платиновости у лисиц?

24. Альбиносы у растений летальны, однако у многих видов они довольно часто проявляются (в виде проростков) в потомстве

нормальных растений. Если альбиносы гибнут, то почему они полностью не исчезают?

25. При скрещивании кошек, гетерозиготных по гену бесхвостости, получено 63 бесхвостых котенка и 27 с нормальными хвостами. Можно ли на основе этих данных прийти к выводу о летальности или нелетальности гена бесхвостости в гомозиготном состоянии? В каком направлении нужно вести селекцию, чтобы уменьшить долю нежелательных короткохвостых животных? Сколько котят можно ожидать от скрещивания бесхвостых кошек, если ген бесхвостости является рецессивной леталью и в норме плодовитость кошек составляет в среднем 3,88?

26. От четырех быков, давших телят с ампутированными конечностями и скрещенных затем с дочерьми других быков, также передававших по наследству эту аномалию, было получено 115 телят, 13 из которых имели ампутированные конечности. Совпали ли эти результаты с теоретически ожидаемыми?

27. У мужчин доминирует облысение (ген **P**), у женщин этот признак рецессивен. Как называется этот тип взаимодействия аллельных генов? Гетерозиготная по гену **P** женщина выходит замуж за гетерозиготного мужчину. Каковы их фенотипы? Каким может быть потомство в этом браке по фенотипу и генотипу? Чей признак (отца или матери) унаследуют дочери и чей признак унаследуют сыновья?

28. Дрозофила имеет серую окраску тела, но, если в пищу личинкам добавлять нитрат серебра, окраска тела мух будет желтой. В то же время известна мутантная линия (**yellow**), в которой мухи желтые при любом составе корма. Если имеется желтая дрозофила неизвестного происхождения, то как вы определите, к первому или второму типу она относится?

29. Один ветеринарный врач в своей работе говорит о наследственном заболевании, вызывающем розовую окраску зубов: «Диагностическое значение цвета зубов у крупного рогатого скота не так велико, как у свиней, так как коровы и быки с нормальными зубами могут передавать данное заболевание своему потомству, тогда как у свиней с нормальными зубами этого никогда не наблюдается». Как можно выразить эту мысль, используя генетическую терминологию?

30. У человека группа крови АВО определяется геном I , который контролирует образование белка-антигена в эритроцитах. Ген I может быть в трех аллельных состояниях: I^A ; I^B ; I^O . Аллели взаимодействуют по типу **кодминирования**. Поскольку в диплоидной клетке могут присутствовать одновременно только два гена из аллели, то в популяции людей встречаются 6 различных генотипов (число сочетаний из 3 по 2):

Генотип	Фенотип
$I^O I^O$	отсутствие антигена, I группа крови
$I^O I^A$	антиген А в эритроцитах, II группа крови
$I^A I^A$	антиген А в эритроцитах, II группа крови
$I^O I^B$	антиген В в эритроцитах, III группа крови
$I^B I^B$	антиген В в эритроцитах, III группа крови
$I^A I^B$	антигены А и В в эритроцитах, IV группа крови

Определите:

а) какие группы крови возможны у детей, если отец гетерозиготен по второй, а мать — по III группе крови;

б) каковы генотипы родителей, если у их сына I, а у дочери IV группа крови?

в) можно ли твердо установить генотипы родителей по гену I , если у матери II группа крови, у отца — III, а у ребенка — IV?

31. Известно, что кровь I группы можно переливать всем людям, кровь II группы — только лицам II и IV группы, кровь III группы — только лицам III и IV группы, а кровь четвертой группы — только людям этой же группы. При этом учитывается и совместимость по другим группам крови. Таким образом, люди I группы — универсальные доноры, люди IV группы — универсальные реципиенты. Всегда ли возможно переливание крови матери её детям? А крови сестры её родному брату?

32. У кроликов ген C , обуславливающий окраску шерсти, может находиться в четырех аллельных состояниях. Аллель C вызывает серую окраску (агути), аллель c^{sh} — шиншилловую окраску, c^h — гималайскую (горностаевую) окраску, а аллель c — отсутствие пигмента (альбинизм). Гены взаимодействуют по типу доминирования, причем по доминированию аллели распола-

гаются в следующем порядке $C > c^{sh} > c^h > c$. Связь фенотипов с различными генотипами представлена в следующей таблице.

Генотипы	Фенотип
CC, Cc^{sh}, Cc^h, Cc	Агути
$c^{sh}c^{sh}$	Шиншилла
$c^{sh}c^h, c^{sh}c$	Светлая шиншилла
c^hc^h, c^hc	Гималайский (горностаевый)
cc	Альбинос

А. Каким может быть потомство от скрещивания гетерозиготного по гену альбинизма самца и гетерозиготной по горностаевой окраске крольчихи?

Б. Можно ли определить фенотипы и генотипы родителей, если в F_1 имеются кролики агути и горностаевые?

В. Как можно выяснить генотип кролика агути?

Г. Можно ли получить чистую линию для кроликов с окраской агути? С гималайской окраской? С шиншилловой окраской?

Д. Селекционер скрещивал кроликов шиншилловой окраски с гималайскими. Все первое поколение получилось единообразным (светло-серым). Полученные гибриды скрещивались между собой. При этом было получено 99 крольчат светло-серых, 48 гималайских и 51 шиншилловых. Составьте генотипы родителей и потомков первого и второго поколений.

При какой окраске кролика можно по фенотипу определить его генотип?

33. У одного из видов дрозофилы (*Drosophila funebris*) имеется рецессивная мутация (*viti*), которая вызывает прерывистое строение или полное отсутствие поперечных жилок на крыльях. Причем **пенетрантность** данной мутации сильно варьирует и в трех разных линиях составила 45 %, 85 % и 100 % соответственно. Какое количество мух в каждой линии должно иметь дикий (нормальный) фенотип, если проанализировано 100 особей?

34. Некоторые формы шизофрении наследуются как аутосомные доминантные признаки с неполной **пенетрантностью**. При этом у гомозигот пенетрантность равна 100 %, у гетерозигот равна 20 %. Определите вероятность рождения больных детей:

а) в семье, где один из супругов гетерозиготен, а другой нормален в отношении анализируемого признака;

б) в браке двух гетерозиготных родителей.

35. Подагра наследуется по аутосомно-доминантному типу. Пенетрантность этого гена у мужчин составляет 20 %, у женщин равна 0 (В. П. Эфроимсон).

А. Какова вероятность заболевания детей в семье гетерозиготных родителей?

Б. Какова вероятность заболевания подагрой детей, если один из родителей гетерозиготен, а другой гомозиготен?

36. Пенетрантность по шизофрении у гетерозигот составляет 20 %, у мужчин 100 %. Мужчина, страдающий периодическими обострениями шизофрении, женится на здоровой женщине. Известно, что у родственников жены такой патологии не было. Бабушка мужа была больна, но его родители здоровы. Каков прогноз появления данного признака в этой семье?

37. Имеется здоровая девушка в возрасте 18 лет, один из родителей которой болен сахарным диабетом. Сделайте прогноз появления у нее самой и её будущих детей сахарного диабета, если максимальная пенетрантность этого признака (20 %) достигается с возрастом.

Занятие 6. Закономерности наследования при полигибридных скрещиваниях. Взаимодействие неаллельных генов

Контрольные вопросы

1. Наследование при ди- и полигибридных скрещиваниях. III закон Г. Менделя.
2. Формулы расщепления для моно- и полигибридного скрещиваний.
3. Условия соблюдения законов Г. Менделя. Отклонение от ожидаемого расщепления.
4. Типы взаимодействия неаллельных генов. Расщепление при разных типах взаимодействия.
5. Проявление действия генов. Генокопии, фенокопии и нормокопии. Пенетрантность и экспрессивность.

Условия соблюдения III закона Г. Менделя:

- Исследуемые гены лежат в аутосомах
- Полное доминирование
- Полная пенетрантность
- Равновероятное образование гибридом всех сортов гамет
- Равновероятное оплодотворение
- Равновероятная выживаемость зигот
- **Исследуемые пары генов должны лежать в разных хромосомах (т. е. не сцеплены)**

Работа 1. Полигибридные скрещивания

Решите задачи.

1. Какие типы гамет и в каком соотношении могут образовывать особи, имеющие генотипы:

а) $AaBb$; б) $AAbb$; в) $AaBBCc$; г) $AABbCCddEEhh$;
д) $AabbCcDdKK$, $AaBbCcddEeFF$.

2. Проведите скрещивание двух чистых линий гороха, имеющего желтые (A) морщинистые (b) семена и имеющего зеленые (a) гладкие (B) семена.

А. Покажите, что расщепление по цвету семян идет независимо от расщепления по признаку поверхности семян.

Б. Соблюдаются ли I и II законы Менделя при дигибридном скрещивании?

В. Запишите III закон Менделя.

Г. Пользуясь фенотипическими радикалами (без решетки Пеннета), выпишите все фенотипы и генотипы семян, полученных от скрещивания гибридов F_1 .

Е. Как определить, различаются ли по генотипу два растения гороха, полученные из желтых, гладких семян?

3. Гибриды (F_2) от скрещивания гороха, имеющего желтые гладкие семена, дали различные семена в следующем соотношении:

желтые гладкие — 904	желтые морщинистые — 294
зеленые морщинистые — 98	зеленые гладкие — 301

Соответствует ли полученное расщепление теоретически ожидаемому?

4. Какое расщепление по генотипу и фенотипу будет в потомстве от скрещивания растений генотипа: ***Dd EE Aa*** × ***dd Ee aa***, если ***D*** — высокое растение, ***d*** — низкое, ***E*** — гладкий корнеплод, ***e*** — морщинистый, ***A*** — простое соцветие, ***a*** — сложное?

5. В результате анализирующего скрещивания одного из растений гороха в F_2 получено 27 желтых морщинистых и 30 желтых гладких семян. Напишите схему скрещивания. Определите генотипы всех растений. Соответствует ли полученное расщепление теоретически ожидаемому?

6. При анализирующем скрещивании тригетерозиготы расщепление по фенотипу составило 7:1. При каком типе взаимодействия возможно такое соотношение? Напишите схему скрещивания.

7. В результате самоопыления растение гороха дало 52 желтых гладких семян и 17 желтых морщинистых. Определите генотип этого растения, возможные генотипы семян. Напишите схему скрещивания.

8. У дрозофилы серая окраска (***E***) доминирует над темной (***e***), а нормальные крылья (***Vg***) над зачаточными (***vg***). Определите фенотипы родителей и потомства в следующих скрещиваниях:

a) ***EE VgVg*** × ***Ee vgvg***

c) ***Ee Vgvg*** × ***ee vgvg***

b) ***Ee Vgvg*** × ***EE Vgvg***

d) ***ee Vgvg*** × ***ee Vgvg***

9. При скрещивании двух мух с зачаточными крыльями, одна из которых была серой, а другая черной, в потомстве получены серые мухи с зачаточными крыльями. Определите генотип родителей.

10. У пекарских дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*) есть ауксотрофные штаммы, не способные синтезировать аденин и лизин. При скрещивании двух таких форм диплоидный гибрид бывает прототрофом (Ade^+Lys^+), т. е. способен синтезировать обе аминокислоты и расти на минимальной среде. Опишите результаты тетрадного анализа такого гибрида, выращенного на минимальной среде.

11. У человека наличие в эритроцитах белка-антигена резус-фактора обусловлено доминантным геном **D**. Его аллель **d** обуславливает отсутствие резусного белка.

А. Генотип мужа **Dd I^BI^B**, жены — **dd I⁰I^A**. Какова вероятность рождения резус-положительного ребенка IV группы?

Б. В родильном доме перепутали двух мальчиков. Один имеет резус-отрицательную кровь III группы, второй — резус-положительную кровь I группы. В одной супружеской паре муж и жена имеют резус-положительную кровь III группы, в другой муж резус-отрицателен с IV группой крови, жена резус-положительна с I группой крови. Как вы определите, где чей ребенок? В каких случаях это определить наверняка было бы невозможно?

12. Ниже приведен перечень генов человека (все гены лежат в разных хромосомах):

B — карие глаза, **b** — голубые глаза

R — не рыжие волосы, **r** — рыжий цвет волос

C — вьющиеся волосы, **c** — прямые волосы

P — многопалость (полидактилия), **p** — нормальное число пальцев на руках и ногах

D — нормальный слух, **d** — глухота

Мужчина с генотипом **BbrrCcPpDd** вступает в брак с женщиной, имеющей генотип **BBRrCcppDd**.

Определите:

1. Каковы фенотипы родителей?

2. Какова вероятность рождения сына с генотипом **BBRrCcPpDD**? с генотипом **bbrrccppdd**? с генотипом **BBrrCCPpDd**?

3. Какова вероятность рождения дочери:

а) глухой, с карими глазами, рыжими вьющимися волосами и с нормальным числом пальцев;

в) с нормальным слухом, голубыми глазами, рыжими волосами и с нормальным числом пальцев;

с) с нормальным слухом, карими глазами, вьющимися не рыжими волосами и с нормальным числом пальцев.

4. Какова вероятность рождения сына, который унаследует лучшие, по вашему мнению, из перечисленных признаков родителей?

13. Отец с курчавыми волосами (доминантный признак) и без веснушек и мать с прямыми волосами и с веснушками (доминантный признак) имеют троих детей. Все дети имеют веснушки и курчавые волосы. Напишите генотипы родителей и детей.

14. Если отец глухонемой (рецессивный признак) с белым локоном надо лбом (доминантный признак), мать здорова и не имеет белой пряди, а ребенок родился глухонемой с белым локоном надо лбом, то можно ли сказать, что он унаследовал признаки от отца?

15. Высокое красно- и круглоплодное растение томата, скрещенное с карликовым желто- и круглоплодным, дало в потомстве следующее распределение (см. табл.).

Рост растения	Окраска плодов	Форма плодов	Количество
Высокое	Желтая	Круглая	58
Высокое	Красная	Круглая	61
Карликовое	Желтая	Круглая	62
Карликовое	Красная	Круглая	59
Высокое	Желтая	Длинная	19
Высокое	Красная	Длинная	20
Карликовое	Желтая	Длинная	21
Карликовое	Красная	Длинная	20

Объясните полученные результаты.

16. Какое расщепление по фенотипу следует ожидать в F_2 дигибридного скрещивания $AA\ bb \times aa\ BB$, если мужские гаметы AB нежизнеспособны (комбинативная гаметическая леталь)?

17. Сколько фенотипических классов (при неполном доминировании по всем генам) можно выявить в F_2 у тригетерозиготы? При неполном доминировании только по одному гену?

18. Полидактилия, близорукость и отсутствие малых коренных зубов передаются как аутосомные доминантные признаки. Гены всех трех признаков находятся в разных парах хромосом.

А. Какова вероятность рождения детей без аномалий в семье, где оба родителя страдают всеми тремя недостатками, но гетерозиготны по все трем парам генов?

Б. Определите вероятность рождения детей без аномалий в семье, о которой известно следующее. Бабушка по линии жены была шестипалой, а дедушка — близорукий. В отношении других признаков они нормальны. Дочь же унаследовала от своих родителей обе аномалии. Бабушка по линии мужа не имела малых коренных зубов, имела нормальное зрение и пятипалую кисть. Дедушка был нормален по всем анализируемым признакам. Сын унаследовал аномалию от матери.

Работа 2. Взаимодействие неаллельных генов

Решите задачи.

1. В каких случаях можно говорить о том, что данный признак определяется не одной парой генов, а взаимодействием двух или более пар генов? Приведите примеры.

2. При скрещивании двух мутантных форм получено потомство дикого типа. Приведите возможные объяснения этого результата.

3. У дрозофилы наряду с красной окраской глаз (дикий признак) встречаются коричневая и ярко-красная. При скрещивании красноглазых мух с ярко-красноглазыми потомство F_1 имеет красные глаза, а в потомстве F_2 встречаются красноглазые и ярко-красноглазые мухи в соотношении 3:1.

При скрещивании красноглазых особей с мухами, имеющими коричневые глаза в F_1 , также все особи красноглазые, а в потомстве F_2 на три мухи с «диким» признаком приходится одна с коричневыми глазами.

При скрещивании дрозофил, имеющих коричневые глаза с ярко-красноглазыми, все потомство F_1 с красными глазами, а в F_2 наблюдается расщепление в таком соотношении: на 9 крас-

ноглазых мух приходится 3 с коричневыми глазами, 3 с ярко-красными глазами и 1 с белыми глазами.

А. Напишите схемы всех трех скрещиваний. Чем объясняется появление нового признака у дрозофилы — белой окраски глаз?

Б. От скрещивания самца с коричневыми и самки с ярко-красными глазами получено потомство, среди которого:

199 мух с красными глазами,

70 мух с коричневыми глазами,

51 муха с ярко-красными глазами,

16 мух с белыми глазами.

Соответствует ли полученное распределение теоретически ожидаемому?

4. У мышей ген **B** контролирует черную окраску шерсти, ген **b** — коричневую. В другой аллели ген **A** обуславливает появление желтой перетяжки на волосе. При наличии такой перетяжки на черном волосе у животных появляется окраска агути — рыжевато-серая. При наличии перетяжки на коричневом волосе — пестро-коричневая (коричневая). Ген **a** не вызывает образования перетяжки.

А. Каким будет потомство при скрещивании черных мышей с коричневыми?

Б. Каким может быть потомство при скрещивании двух мышей агути?

В. Каким может быть потомство от скрещивания мышей агути с коричневыми?

Г. Какие особи следует брать для скрещивания, чтобы получить наиболее разнообразное по окраске шерсти потомство?

5. У кур форма гребня контролируется генами **R**, **r**, **C**, **c**. В присутствии доминантных генов из обеих аллелей развивается ореховидный гребень, у рецессивных особей гребень простой, листовидный. Сочетание генов **R** и **c** обуславливает розовидный, а сочетание генов **r** и **C** — стручковидный гребень.

А. Каким может быть потомство от скрещивания курицы с простым гребнем и гомозиготного петуха с ореховидным гребнем? Какое потомство можно ожидать от возвратного скрещивания?

Б. Каким будет потомство от скрещивания гибридов (от первого скрещивания) между собой?

В. Чем объясняется появление в потомстве F_v и F_2 кур, отличающихся от родителей по форме гребня?

6. При скрещивании двух линий норок с бежевой и серой окраской меха все потомство F_1 имеет стандартный коричневый мех. При скрещивании между собой норок F_1 получено расщепление в отношении: 56 коричневых, 7 кремовых, 17 бежевых и 19 серых.

А. Как можно объяснить полученное расщепление? Соответствует ли это расщепление теоретически ожидаемому?

Б. Какое потомство может быть получено от скрещивания гибридных коричневых норок с кремовыми?

7. У душистого горошка (*Lathyrus odoratus*) красная окраска цветов обусловлена сочетанием двух генов: ген **C** контролирует образование бесцветного предшественника пигмента — хромогена; ген **P** — образование фермента, переводящего хромоген в красный пигмент. Рецессивные гены **c** и **p** не дают нормального белка, цветы остаются белыми.

А. Каким будет F_1 и F_2 от скрещивания двух различных линий душистого горошка с белыми цветками?

Б. Какой тип взаимодействия генов имеет место в данном случае?

В. Можно ли рассматривать данный пример для объяснения атавизмов у растений? животных? человека?

8. У человека врожденная глухота может определяться генами **d** и **e**. Для нормального слуха необходимо наличие обоих доминантных аллелей (**DE**). Определите генотипы родителей в следующих двух семьях:

а) оба родителя глухи, а их семь детей имеют нормальный слух;

б) у глухих родителей 4 глухих ребенка.

Какова вероятность рождения здоровых и больных детей в этих семьях?

9. Окраску цветков определяет комплементарное взаимодействие доминантных аллелей пяти генов: **A**, **B**, **C**, **D**, **E**. Проведено скрещивание: ♀ **AA bb Cc Dd ee** × ♂ **aa Bb cc Dd Ee**.

Какая часть потомства будет иметь окрашенные цветки?

10. У тыквы (*Cucurbita pepo*) гены **A** и **B** в отдельности определяют один и тот же фенотип — сферическую форму пло-

да, их рецессивные аллели — удлиненную форму плода. При одновременном нахождении доминантных аллелей в генотипе растение дает плоды дисковидной формы. Каким будет расщепление в F_1 и F_2 при скрещивании чистосортных растений двух разных линий со сферическими плодами? Соответствует ли расщепление менделевскому? Если не соответствует, то объясните причину отклонения.

11. Доминантная аллель гена **B** эпистатирует проявление доминантной аллели гена **A**. Аллели гена **B** собственного проявления не имеют. Какое расщепление по фенотипу ожидается при скрещивании: ♀ **Aa bb** × ♂ **Aa bb** ?

12. У льна (*Linum usitatissimum*) ген **A** определяет окрашенный венчик, **a** — неокрашенный, ген **B** — голубой, **b** — розовый цвет лепестков. Каким будет потомство F_1 и F_2 от скрещивания чистых линий льна с розовыми и белыми цветами?

13. При скрещивании лошадей серой и рыжей масти в F_1 все потомство оказалось серым. В F_2 на каждые 16 лошадей в среднем появилось 12 серых, 3 вороных, 1 рыжая. Определите тип наследования масти у лошадей и установите генотипы всех указанных животных.

14. Чем отличается явление доминирования от эпистаза?

15. У тыквы (*Cucurbita pepo*) окраска плодов может быть желтой (**A**) и зеленой (**a**). Доминантный ген **I** подавляет образование пигмента и плоды получают неокрашенными, белыми.

А. Каким будет потомство в F_1 и F_2 от скрещивания двух чистых линий с белыми и зелеными плодами? Каким будет потомство от анализирующего скрещивания гибрида?

Б. Белоплодное растение тыквы, скрещенное с зеленоплодным, дает в потомстве $\frac{1}{2}$ белых и $\frac{1}{2}$ желтых плодов. Определите генотип родителей.

16. У кур белая окраска оперения доминирует над черной (**c**), оперенные ноги (**I**) над голыми (**i**), розовидный (**R**) и гороховидный гребни (**P**) над простым (**rrpp**). Причем присутствие обоих доминантных генов **R** и **P** обуславливает развитие ореховидной формы гребня.

Птицевод, имеющий гомозиготного черного петуха с оперенными ногами и розовидным гребнем и гомозиготных белых голоногих кур с гороховидным гребнем, желает вывести чистую ли-

нию черных голоногих птиц с ореховидным гребнем. Какая часть потомства F_1 будет соответствовать требованиям птицевеода?

17. У кур признак «оперенные ноги» I доминирует над признаком голых ног (i) и наследуется по типу кумулятивной полимерии. Определите, каким будет потомство в F_1 и F_2 от скрещивания петуха с голыми ногами и гомозиготной курицы с оперенными ногами.

18. Бомбейский синдром — феномен наследования групп крови — описан доктором Бхенде (Y. M. Bhende) в 1952 году. Состоит в том, что в семье отец имел I группу крови, а мать — III, родилась девочка с I группой. Она вышла замуж за мужчину со II группой крови, и у них родилось две девочки: с IV и I группами крови. Появление в третьем поколении девочки с IV группой крови от матери с I группой крови вызвало недоумение. Однако описано несколько подобных случаев. Это явление связано с неаллельным взаимодействием генов, определяющих группу крови и редким рецессивным эпистатическим геном h .

У людей, у которых данный ген находится в состоянии рецессивной гомозиготы hh , на мембране эритроцитов не синтезируются агглютиногены. Соответственно, на таких эритроцитах не образуются агглютиногены А и В, поскольку нет основы для их образования. Это приводит к тому, что носители данного типа крови являются универсальными донорами, но в то же время им самим может переливаться исключительно кровь людей с таким же «феноменом» («5» группа крови).

19. По исследованиям Девенпорта, на Ямайке темный цвет кожи определяется двумя полимерными генами (A_1 и A_2), белая кожа обусловлена наличием только рецессивных генов (a_1 и a_2). Гетерозиготы — мулаты, темные или светлые в зависимости от количества доминантных генов.

А. Каким может быть цвет кожи у детей от брака белой женщины и негра?

Б. Каким может быть цвет кожи у потомства двух мулатов ($A_1a_1A_2a_2$)?

В. Может ли у родителей-мулатов родиться белый ребенок?

Г. Может ли в браке белых родителей родиться темнокожий ребенок?

20. Допустим, что существует 3 пары несцепленных генов, контролирующих рост человека — A и a ; B и b ; C и c . В одном племени все особи низкорослые — $AA BB CC$ (рост 150 см), в другом высокорослые — $aa bb cc$ (рост 170 см). Допустим далее, что племя высокорослых поработощает первое племя, убивает мужчин и женится на женщинах поработощенного племени. Какой рост будет у детей и внуков?

21. Проведено скрещивание двух сортов кукурузы. У растений одного сорта средняя длина початка составляет 6–7 см, у другого сорта — 16–17 см. Растения F_1 имели промежуточную длину початка. В F_2 было получено следующее распределение растений:

длина початка: 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 см

число растений: 1 10 19 26 47 73 68 39 39 25 15 9 1

Изобразите графически распределение растений в зависимости от длины початка в F_2 .

22. У некоторых сортов пшеницы красная окраска зерна контролируется двумя парами полимерных доминантных генов. У растений при генотипе $A_1A_1 A_2A_2$ — темнокрасное зерно, при генотипе $a_1a_1 a_2a_2$ — белое зерно. Наличие одного доминантного гена обуславливает бледно-красную окраску зерна, двух — светло-красную, трех — красную.

А. Каким будет зерно у растения, полученного от скрещивания растения с красными семенами и растения с белыми семенами?

Б. При скрещивании растения, выросшего из зерна, содержащего красный пигмент, с белозерным получено потомство, состоящее:

а) только из светло-красного зерна;

б) наполовину из светло-красного и бледно-красного зерна.

23. Ниже указаны отношения фенотипов и различные объяснения для этих отношений.

1) 1:1

2) 1:2:2:4:1:2:1:2:1

3) 9:3:4

Выберите верные характеристики, объясняющие полученные расщепления:

	Характеристика скрещивания
1	одна пара генов две пары генов три пары генов
2	полное доминирование неполное доминирование доминантный эпистаз рецессивный эпистаз комплиментарность
3	отношение в F_2 отношение в анализирующем скрещивании

24. В чем различие между доминированием и эпистазом? между рецессивностью и гипостазом?

25. Ниже приведены отношения фенотипов в F_2 . Найдите для каждого варианта расщепление, которое будет получено для этого гибрида в анализирующем скрещивании.

3:1 13:3 9:3:3:1 9:7

12:3:1 1:2:1 15:1 9:6:1

26. У каракульских овец ген D обуславливает черную окраску шерсти (араби), рецессивная его аллель d — коричневую окраску (камбар). Доминантный ген O ослабляет окраску, и в присутствии генов O и D окраска дымчатая. Каким может быть потомство от скрещивания двух гетерозигот по окраске «смушка»?

27. При скрещивании между собой черных мышей всегда получается черное потомство. При скрещивании между собой желтых мышей одна треть потомства оказывается черной, а две трети — желтой. Как это можно объяснить? Как проверить правильность предположения?

Работа 3. Множественное действие генов.

Плейотропия

Множественное, или плейотропное, действие генов заключается в том, что один ген может оказывать влияние на проявление нескольких признаков. Признаки, определяемые одним геном, наследуются совместно, т. е. проявляются у одних и тех же особей. При этом наследование данных признаков полностью соот-

ветствует закономерностям моногенного наследования. Некоторые гены с плейотропным действием могут оказывать различное влияние на фенотип в гомо- и гетерозиготном состоянии. Например, существуют гены, которые в гомозиготном состоянии снижают жизнеспособность особей или даже вызывают их гибель, а в гетерозиготе на жизнеспособность не влияют. Эти особенности проявления генов могут приводить к стойким отклонениям от ожидаемых результатов скрещиваний, что необходимо учитывать при решении генетических задач.

Решите задачи.

1. При скрещивании платиновых лисиц в их потомстве всегда наблюдается расщепление в отношении 2 платиновые к 1 серебристо-черной. Иногда появляются чисто-белые щенки, которые вскоре погибают. Как наследуется окраска лисиц? Каковы генотипы всех форм?

2. При скрещивании между собой черных мышей все потомство оказалось черным, а при скрещивании желтых наблюдалось расщепление в отношении 2 части желтых : 1 часть черных. Дайте возможные объяснения этим фактам.

3. Мыши генотипа yy — серые, Yy — желтые, YY — гибнут на эмбриональной стадии. Каким будет потомство следующих родителей: «желтый х серая», «желтый х желтая»? В каком скрещивании можно ожидать более многочисленный помет?

4. При скрещивании между собой хохлатых уток утята выводятся только из $3/4$ яиц, а $1/4$ эмбрионов гибнет перед вылуплением. Среди вылупившихся утят примерно $2/3$ хохлатых и $1/3$ нормальных. Каким будет потомство от скрещивания хохлатых с нормальными утками?

5. Имеется две породы овец — с серой и черной окраской. При разведении черных овец в себе потомство всегда бывает черным. При разведении в себе серых овец в потомстве всегда наблюдается расщепление в отношении $2/3$ овец с серой окраской к $1/3$ — с черной. При скрещивании серых овец с черными половина ягнят серые, половина — черные. Объясните результаты скрещиваний.

6. Скрещиваются две дрозофилы с загнутыми вверх крыльями и укороченными щетинками. При анализе многочисленного

потомства, получившегося в результате этого скрещивания, обнаружены мухи четырех фенотипических классов: с родительским сочетанием признаков, с загнутыми вверх крыльями и нормальными щетинками, с нормальными крыльями и укороченными щетинками и мухи с нормальными крыльями и нормальными щетинками (дикий тип) в соотношении 4:2:2:1. Дайте генетическое объяснение этому результату.

Занятие 7. Генетическое определение пола. Сцепленное с полом наследование

Контрольные вопросы

1. Доказательства хромосомной теории.
2. Основные положения хромосомной теории.
3. Цитогенетический параллелизм (гипотеза Сюттона — Бовери).
4. Типы определения пола. Хромосомное определение пола.
5. Балансовая теория определения пола.
6. Сцепленное с полом наследование. Особенности наследования признаков, сцепленных с полом.
7. Нерасхождение половых хромосом.

Положения Хромосомной теории (Т. Х. Морган)

1. Хромосомы — материальные носители наследственности. Гены — участки хромосом.
2. Гены расположены в хромосомах в линейном порядке.
3. Каждый ген занимает в хромосоме определенное место (локус). Аллельные гены занимают одинаковые локусы в гомологичных хромосомах.
4. Каждая хромосома содержит множество генов. Гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются совместно (сцепленно) и образуют группу сцепления. Число групп сцепления равно n .
5. Сцепление генов может нарушаться во время кроссинговера между гомологичными хромосомами (кроссинговер происходит в профазе I мейоза).
6. Частота кроссинговера между генами в хромосоме прямо пропорциональна расстоянию между ними и может меняться от 0 до 50 %. Расстояние измеряется в *сантиморганах (сМ)*. Генетическое расстояние, на котором кроссинговер происходит с вероятностью 1 %, представляет 1 *сМ*. Частота кроссинговера (и, соответственно, расстояние не может быть больше 50 %).

Работа 1

Решите задачи.

1. Назовите типы хромосомного определения пола, укажите представителей для каждого типа. Покажите с помощью схемы, как идет распределение по полу при каждом таком типе.

2. В семье родились три ребенка: все три девочки. Какова вероятность, что четвертым ребенком тоже будет девочка?

3. У человека гемофилия (несвертываемость крови) обусловлена наличием рецессивного гена *h*, локализованного в X-хромосоме. Определите вероятность рождения больного гемофилией ребенка в следующих семьях:

- а) мать здорова, отец болен гемофилией;
- б) мать гетерозиготна по гену гемофилии, отец здоров;
- в) мать и отец больны гемофилией.

4. У здоровых родителей трое детей. Один сын болен гемофилией и умирает в 14-летнем возрасте, другой сын и две дочери здоровы. Какова вероятность заболевания у их детей?

5. Может ли мужчина быть гетерозиготным по генам, сцепленным с полом? Ответ поясните.

6. Может ли признак, сцепленный с полом передаваться от отца к сыну?

7. Сравните вероятность рождения ребенка, больного гемофилией, в следующих семьях:

- а) оба супруга здоровы, но в роду жены встречалась гемофилия;
- б) оба супруга здоровы, но в роду мужа встречалась гемофилия.

8. Отец и сын в семье гемофилики и кареглазые, а мать имеет нормальную свертываемость крови и голубоглазая. Можно ли сказать, что сын унаследовал признаки отца?

9. Здоровый мужчина женился на здоровой женщине, чей отец был гемофилик, а мать альбинос. Какие дети могут быть от этого брака? (Альбинизм контролируется аутосомным рецессивным геном.)

10. Ниже приведены результаты двух реципрокных скрещиваний у дрозофилы:

<i>I опыт</i>	
Прямое P ♀ ярко-красные глаза × ♂ дикого типа (из линии № 1) F ₁ ♀ и ♂ дикого типа	Обратное P ♀ дикого типа × ♂ ярко-красные глаза (из линии № 1) F ₁ ♀ и ♂ дикого типа
<i>II опыт</i>	
Прямое P ♀ ярко-красные глаза × ♂ дикого типа (из линии № 2) F ₁ ♀ дикого типа ♂ ярко-красные глаза	Обратное P ♀ дикого типа × ♂ ярко-красные глаза (из линии № 2) F ₁ ♀ и ♂ дикого типа

Каков характер наследования в этих скрещиваниях? Можно ли на основании этих данных определить число генов, контролирующих окраску глаз?

11. Ниже указано, какое потомство получается при скрещивании разных по окраске шерсти кошек. Окраска шерсти у кошек контролируется одним геном с неполным доминированием, локализованным в X-хромосоме.

родители		потомство	
♂	♀	♀	♂
черный	рыжая	черепаховые	рыжие
рыжий	черная	черепаховые	черные
рыжий	черепаховая (трехцветная)	рыжие и черепаховые	черные и рыжие
черный	черепаховая	черепаховые	черные и рыжие

Как наследуется окраска шерсти у кошек? Почему у котов не встречается черепаховая окраска? Напишите генотипы всех указанных выше особей.

12. Если черная кошка принесла котят, один из которых имеет черепаховую окраску шерсти, а три черную окраску, то что вы можете сказать об окраске шерсти у отца этих котят? О поле этих котят? Окраска шерсти у кошек контролируется одним геном с неполным доминированием, локализованным в X-хромосоме.

13. От черной кошки и черного кота родились три котенка: кошка с черепаховой окраской и два кота с черной окраской. Как это можно объяснить? Окраска шерсти у кошек контролируется

одним геном с неполным доминированием, локализованным в X-хромосоме.

14. Дальтонизм (цветовая слепота) определяется рецессивным геном, расположенным в X-хромосоме. Девушка, имеющая нормальное зрение, отец которой был дальтоником, выходит замуж за мужчину с нормальным зрением, отец которого был дальтоник. Какое зрение может быть у потомства от этого брака?

15. У человека дальтонизм обусловлен сцепленным с полом рецессивным геном (*c*), а альбинизм — с аутосомным рецессивным геном (*d*). У супружеской пары, нормальной по этим признакам, родился сын с двумя указанными аномалиями. Укажите возможные генотипы родителей. Установите, какова вероятность того, что у данной супружеской пары может родиться здоровый ребенок.

16. Если у здоровой женщины родились четыре сына: один — гемофилик, страдающий цветовой слепотой, двое других — гемофилики, но с нормальным зрением и один — нормальный по обоим признакам, — то какой генотип наиболее вероятен для неё?

17. У кур плимутроков сцепленный с полом доминантный ген серой окраски (*B*) проявляется у однодневных цыплят в виде белого пятна на голове. Оперившись, такие цыплята становятся серыми. При нормальном генотипе их окраска равномерная. Поскольку в птицеводстве важно распознать пол цыплят в раннем возрасте, когда половые признаки ещё недостаточно проявились, как следует вести скрещивание плимутроков, чтобы по метке на голове определить пол цыпленка. (У кур гетерогаметен женский пол ZW, мужской пол гомогаметен ZZ.)

18. Селекционеры в некоторых случаях могут определить пол только что вылупившихся цыплят. При каких генотипах родительских форм возможно это сделать, если известно, что гены золотистого (коричневого) и серебристого (белого) оперения расположены в X-хромосоме и ген золотистого оперения рецессивен по отношению к серебристому?

19. У дрозофилы ген *I* является рецессивным, локализованным в X-хромосоме и летальным. Каково будет численное соотношение полов в потомстве от скрещивания гетерозиготной самки с нормальным самцом?

20. У дрозофилы длинные крылья определяются геном Vg^+ , короткие — геном Vg ; желтое тело — y , серое — y^+ . Желтотелого короткокрылого самца скрещивают с серотелой длиннокрылой самкой. В F_1 все мухи серотелые и длиннокрылые. В F_2 получено расщепление: 58 самок серотелых длиннокрылых и 21 серотелая короткокрылая, 29 самцов серотелых длиннокрылых, 11 серотелых короткокрылых, 9 желтотелых короткокрылых и 32 желтотелых длиннокрылых. Объясните полученные результаты.

21. У человека псевдогипертрофическая мышечная дистрофия, приводящая к смерти в 10–20 лет, может определяться рецессивным сцепленным с полом геном. Болезнь зарегистрирована только у мальчиков. Почему? Если умирают до деторождения, то почему эта болезнь не элиминируется из популяции?

22. Определите, как наследуется признак в приведенной родословной (рис. 6). Напишите генотипы членов семей этих родов.

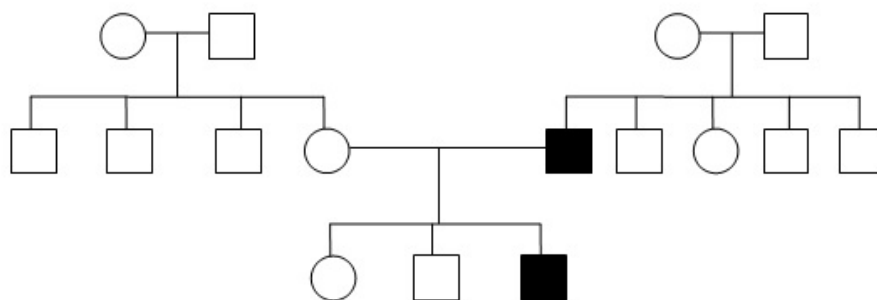


Рис. 6. Родословная рода по изучаемому признаку

23. У рыбы *Aplocheilus* самки гомогаметны (XX), а самцы гетерогаметны (XY). Y-хромосома, так же как и X-хромосома, содержит аллели генов. В норме рыбы имеют коричневую окраску, определяемую геном B , голубую контролирует ген b . Y-хромосома всегда содержит аллель B и никогда — b . Следовательно, самцы никогда не бывают голубыми. Проведите скрещивание голубой самки с гомозиготным коричневым самцом. Определите, какими будут F_1 и F_2 . В чем отличие этого наследования от аутосомного и сцепленного с полом?

24. От скрещивания белого самца аквариумной рыбки медаки *Oryzias latipes* с коричневой самкой в F_1 все самки и самцы оказались коричневыми, а в F_2 — 248 коричневых, 57 голубых, 53 красных и 21 белая. Пол определить удастся у этих рыбок

не раньше, чем в годовалом возрасте. Через год среди выживших рыб распределение их по полу оказалось следующим:

самки: 147 коричневых и 35 красных,

самцы: 77 коричневых, 56 голубых, 16 красных и 19 белых.

Как наследуется признак? Определите генотипы исходных рыб. Что получится, если скрестить гомозиготного коричневого самца с белой самкой?

25. Женщина-правша с карими глазами и нормальным зрением выходит замуж за мужчину-правшу, голубоглазого и дальтоника. У них родилась голубоглазая дочь — левша и дальтоник.

Какова вероятность, что следующий ребенок в этой семье будет левой и страдать дальтонизмом, если известно: карий цвет глаз и праворукость — доминантные аутосомные несцепленные между собой признаки, а дальтонизм — рецессивный, сцепленный с X-хромосомой признак.

Какой цвет глаз возможен у больных детей?

26. Отосклероз наследуется как доминантный аутосомный признак с пенетрантностью 30 %. Гипертрихоз наследуется как признак, сцепленный с Y-хромосомой, с полным проявлением к 17 годам.

Определите вероятность проявления одновременно обеих аномалий у детей в семье, где жена нормальна и гомозиготна, а муж имеет обе аномалии, но мать его была нормальной гомозиготной женщиной.

27. У пчел ген, определяющий вислокрылость, проявляется только в гетерозиготном состоянии, а в гомозиготном вызывает гибель организма. Известно, что у пчел самцы развиваются из неоплодотворенных яиц и являются гомозиготными.

А. Определите фенотипы и генотипы потомства от скрещивания вислокрылой пчелы с нормальным трутнем.

Б. Определите фенотипы и генотипы самцов — потомков вислокрылых пчел.

Занятие 8. Сцепление генов и кроссинговер

Контрольные вопросы

1. Сцепление генов. Закон Т. Моргана. Нарушение закона независимого наследования признаков
2. Кроссинговер. Доказательства кроссинговера. Типы кроссинговера.
3. Частота кроссинговера. Расстояние между генами. Генетические карты хромосом.
4. Интерференция.
5. Механизмы рекомбинации.
6. Митотический кроссинговер.
7. Молекулярный механизм кроссинговера.
8. Факторы, влияющие на кроссинговер.

Работа 1

Решите задачи.

1. Какие типы гамет могут образовываться у особей с генотипом $Aa\bar{b}\bar{b}$ и $ABab$? Будет ли различие в численном соотношении разных типов гамет?
2. Сколько типов кроссоверных и некротоссоверных гамет продуцирует у дрозофилы:

а) самец генотипа \underline{PR}

pr

б) самка генотипа \underline{Pr}

pr

с) самец генотипа \underline{DE}

de

г) самка генотипа $\underline{De} \underline{Z}$

$dE z$

3. Изобразите положение генов в хромосомах и выпишите гаметы у зиготы $Ll Dd Aa Bb$, если между генами L и D наблюдается полное сцепление, а между генами A и B , расположенными в другой хромосоме, идет кроссинговер.

4. При анализирующем скрещивании дигетерозиготы $AaBb$ в F_1 получены особи в следующем соотношении:

$ABav$ — 97

$AvaB$ — 21

$aBav$ — 20

$avaB$ — 96

Определите расстояние между генами A и B .

5. Можно ли определить процент кроссинговера между генами A и B в скрещивании:

$$\frac{AB}{ab} \times \frac{aB}{ab} \quad \frac{Ab}{aB} \times \frac{ab}{ab} \quad \frac{Ab}{ab} \times \frac{aB}{ab} ?$$

6. Скрещены две линии мышей: в одной из них животные имеют извитую шерсть нормальной длины, а в другой — длинную прямую. Гибриды имеют шерсть нормальную прямую. В анализирующем скрещивании получены следующие расщепления: 27 мышей с нормальной прямой шерстью, 99 мышей с нормальной извитой шерстью, 98 мышей с длинной прямой шерстью, 24 мыши с длинной извитой шерстью. Как наследуются эти две пары признаков.

7. По данным некоторых родословных, у человека доминантный ген эллиптоцитоза (El) и ген, обуславливающий наличие резус-антигена в эритроцитах (D), локализованы в одной и той же аутосоме на расстоянии 20 сМ. (Изучение родословных показывает, что случаи этого рода подразделяются на две группы: в одной сцепление теснее указанного в условии задачи, а в другой — признаки наследуются независимо.) Какие типы гамет и в каком соотношении образуются в следующих случаях?

а) у женщины с генотипом $\frac{El \ D}{el \ d}$

б) у мужчины с генотипом $\frac{El \ D}{el \ D}$

8. У кур коротконогость (C) доминирует над нормальными ногами (c), а розовидный гребень (R) — над листовидным (r). Гены этих признаков расположены в одной аутосоме на расстоянии 8 морганид. Определите, сколько типов кроссоверных и некрсоверных гамет и в каком количестве образуют особь генотипа

$$\frac{Sr}{sR} \quad \text{и особь генотипа} \quad \frac{SR}{sr}$$

9. У дрозофилы рецессивный ген *cut* (*ct*), обуславливающий вырезки на крыльях, и рецессивный ген *tan* (*t*), обуславливающий темную окраску тела, расположены в X-хромосоме. Ответьте на следующие вопросы:

а) можно ли установить расстояние между этими генами, скрещивая гетерозиготную по обоим генам самку с самцом, рецессивным по этим признакам?

б) можно ли установить расстояние между этими генами, скрещивая такую же самку с самцом, доминантным по обоим признакам? Каким образом?

10. Допустим, что гены *A* и *B* у дрозофилы сцеплены с полом и кроссинговер между ними составляет 20 %. Какое потомство и в каком соотношении будет получено в следующих скрещиваниях:

а) ♀ $\frac{AB}{aB} \times \frac{aB}{aB}$ ♂

б) ♀ $\frac{AB}{aB} \times \frac{aB}{aB}$ ♂

в) ♀ $\frac{AB}{aB} \times \frac{AB}{AB}$ ♂

г) ♀ $\frac{AB}{aB} \times \frac{AB}{AB}$ ♂

д) ♀ $\frac{AB}{aB} \times \frac{AB}{AB}$ ♂

11. В анализирующем скрещивании тригетерозиготы получено расщепление (даны фенотипические радикалы):

$$\begin{array}{ll} A_B_C_ — 126, & aaB_C_ — 68, \\ A_B_cc — 10, & aaB_cc — 70, \\ A_vvC_ — 64, & aa vv C_ — 14, \\ A_vv cc — 62, & aa vv cc — 133. \end{array}$$

Определите расстояние между генами.

12. В анализирующем скрещивании тригетерозиготы получено следующее потомство (даны фенотипические радикалы):

$$\begin{array}{ll} ABC — 30, & ABc — 7, \\ avc — 30, & avC — 7, \\ Avc — 11, & AvC — 2, \\ aBC — 11, & aBc — 2. \end{array}$$

Локализовать гены в хромосоме.

13. Гены *E, D, L, M, N* находятся соответственно на 17,2; 18,9; 30,1; 35; 39,8 сМ генетической карты. С какой частотой происходит кроссинговер между генами *M* и *D*?

14. Проведите генетический анализ результатов анализирующего скрещивания тригетерозиготы *AaBbCc*:

<i>ABC</i> — 29,	<i>ABc</i> — 235,
<i>avc</i> — 21,	<i>avC</i> — 215,
<i>Avc</i> — 210,	<i>AvC</i> — 27,
<i>aBC</i> — 239,	<i>aBc</i> — 24.

15. У человека рецессивный ген (*c*) обуславливает цветовую слепоту (протонопию), а рецессивный ген (*d*) — мышечную дистрофию Дюшена. Оба признака наследуются сцеплено с полом. По родословной одной многодетной семьи были получены следующие данные. Здоровая женщина с нормальным зрением, отец которой страдал мышечной дистрофией, а мать — нарушением цветового зрения, вышла замуж за здорового мужчину с нормальным цветовым зрением. От этого брака родилось восемь мальчиков и три девочки. Из них три девочки и один мальчик были здоровы и имели нормальное зрение. Из остальных семи мальчиков трое страдали мышечной дистрофией, трое — цветовой слепотой и один — обоими заболеваниями. По этим данным была дана приблизительная (ввиду малочисленности материала) оценка расстояния между генами *c* и *d*. Укажите это расстояние.

16. У дрозофилы рецессивный ген желтой окраски тела *y* (*yellow*) находится в X-хромосоме в локусе 0,0. Рецессивный ген белоглазия *w* (*white*) и доминантный ген измененного брюшка *ab* (*abnormal*) относится к такой же группе сцепления. При скрещивании дигибридной по генам *y* и *w* самки с рецессивным по обоим генам самцом получено 1,6 % рекомбинантов, а при скрещивании самки, дигибридной по генам *y* и *ab*, с рецессивным самцом получено 4,5 % рекомбинантов. Составить по этим данным генетическую карту участка X-хромосомы, расположив в ней все три локуса и указав расстояние между ними.

17. А. Мюнтцинг (1967) приводит хромосомные карты кукурузы по всем 10 группам сцепления. В одной из них расположены локусы генов, обозначенные:

- полосатые листья — *sr*,

- устойчивость к кобылкам — *ag*,
- мужская стерильность — *ms*,
- окраска стержня початка — *P*.

Частота кроссоверных гамет в парах следующих генов составляет:

Пара генов	Частота, %
<i>ag-ms</i>	11
<i>ag-P</i>	14
<i>ag-sr</i>	24
<i>ms P</i>	3
<i>ms sr</i>	25

Постройте хромосомную карту и определите местоположение каждого локуса.

Занятие 9. Генетические основы эволюции. Генетические процессы в популяциях

Контрольные вопросы

1. Популяция — элементарная единица эволюции.
2. Частоты генотипов и частоты аллелей.
3. Закон Харди — Вайнберга. Условия его соблюдения.
4. Проблема генетической гетерогенности природных популяций.
5. Оценка генетической гетерогенности популяций.
6. Изучение генетической структуры популяций человека.

1. В отаре каракульских овец насчитывается 642 особи ширази и 227 особей араби. Вычислить частоту фенотипов ширази и араби.

2. У свиней система крови M включает 7 фенотипов. При иммунологическом исследовании 748 свиней породы ландрас было установлено следующее распределение животных по фенотипам: группа крови Ma — 34 особи, MB — 242, Mc — 170, Mav — 14, Mac — 12, Mbc — 68, M — 208 особей. Вычислите частоту фенотипов.

3. В популяции беспородных собак г. Владивостока было найдено 245 животных коротконогих и 24 с нормальными ногами. Коротконогость у собак — доминантный признак (*A*). Определите частоту аллелей *A* и *a* и генотипов *AA*, *Aa*, *aa* в данной популяции.

4. При изучении распределения группы крови MN среди эскимосов и исландцев получены следующие данные, представленные в таблице.

популяция	частота лиц с группами крови		
	MM	MN	NN
эскимосы	475	89	5
исландцы	233	385	129

Сравнить частоты аллелей M и N в популяциях эскимосов и исландцев.

5. В популяции Европы частота альбиносов составляет 1:20000. Определить генотипическую структуру популяции. Ка-

кова вероятность, что в браке двух европейцев-меланистов родится ребенок альбинос.

6. Контрактура мышц — одно из аутосомных рецессивных заболеваний крупного рогатого скота, при котором конечности только что родившегося теленка согнуты в суставах и лишены подвижности. На одной из ферм Норвегии из 376 родившихся за год телят 9 были забиты в связи с контрактурой. Вычислите частоту наследственно обусловленной контрактуры среди телят этого хозяйства. Определите частоту гетерозиготных носителей болезни в стаде.

7. Типы гемоглобина у овец обусловлены кодоминантным геном **Hb**. При генотипе **Hb^A/Hb^A** в эритроцитах содержится гемоглобин типа А, при **Hb^B/Hb^B** — гемоглобин типа В, а у гетерозигот **Hb^A/Hb^B** оба типа гемоглобина (АВ). При исследованиях крови 407 овец породы советский меринос распределение по типам гемоглобина было следующим: гемоглобин типа А — 14 овец, гемоглобин типа В — 26 овец, гемоглобин типа АВ — 125 овец. Вычислите частоты фенотипов аллелей и генотипов. Сравните наблюдаемые частоты генотипов с теоретически ожидаемыми.

8. На кролиководческой ферме среди молодняка породы шиншилла произошло выщепление альбиносов. Из 5 437 особей 19 оказались альбиносами. Определите частоты аллелей альбинизма и шиншилла и частоту гетерозиготных носителей гена альбинизма.

9. В одной панмиктической популяции частота аллелей В равна 0,1, а в другой 0,9. В какой популяции больше гетерозигот?

10. Группа состоит из 80 % особей с генотипом **DD** и 20 % с генотипом **dd**. Покажите, что в условиях панмиксии в первом же поколении возникает равновесие генотипов **DD**, **Dd**, **dd**. Определите частоты этих генотипов после установления равновесия в популяции.

11. Подагра встречается у 2 % людей и обусловлена аутосомно-доминантным геном. У женщин ген подагры не проявляется, у мужчин пенетрантность его равна 20 %. Определите генетическую структуру популяции по анализируемому признаку.

12. В одном из районов тропической Африки частота серповидно-клеточной анемии среди взрослого населения составляет

20 %. Определите частоту нормального и мутантного аллеля в обследованном районе.

13. На остров занесено ветром семя гетерозиготное по гену *A*, которое прежде на этом острове не произрастало. Растение дает один урожай в год. Какие цветы и в каком соотношении увидит путешественник, который посетит остров через пять лет? Растение самоопыляемое.

14. В одном из районов мира гетерозиготы по мутантному патологическому гену встречаются с большей частотой, чем это можно ожидать согласно закону Харди — Вайнберга. Дайте объяснение этому явлению.

15. Одна из форм фруктозурии (ослабление усвоения фруктозы и повышение содержания её в моче) проявляется субклинически. Дефекты обмена снижаются при исключении фруктозы из пищи. Заболевание наследуется аутосомно-рецессивно и встречается с частотой $7/1\,000\,000$. Определите число гетерозигот в популяции.

16. Алкаптонурия, характеризующаяся окрашиванием хрящевых тканей и быстрым потемнением подщелоченной мочи, наследуется как аутосомно-рецессивный признак. В старости при этой аномалии развивается артрит. Заболевание встречается с частотой $1/100\,000$. Вычислите количество носителей в популяции, равной $2\,000\,000$ жителей.

17. Глухонмота связана с врожденной глухотой, которая препятствует нормальному усвоению речи, наследуется по аутосомно-рецессивному типу. Для европейских стран она равна приблизительно $2:10000$. Определите возможное число гетерозиготных по глухонмоте людей в районе, включающем $8\,000\,000$ жителей.

18. Сегодня хорошо изучена частота распространения аллелей системы группы АВО в различных странах мира. Полученные популяционно-статистическим методом знания позволяют понять направления эволюции в разных частях мира, в истории человечества. Некоторые данные представлены в таблице.

Группа крови популяция	0 первая	A вторая	B третья	AB четвертая
Русские (Москва)	33,3	37,4	22,8	6,5
Французы	41,6	47,0	8,0	3,3

Группа крови популяция	0 первая	A вторая	B третья	AB четвертая
(Париж)				
Китайцы (Пекин)	28,6	26,6	32,0	12,8
Японцы (Токио)	30,1	38,4	21,9	9,7
Австралийцы (Канберра)	60,7	39,3	0	0
Бразильцы (Бразилиа)	100	0	0	0

19. В некоторых популяциях встречаются лишь два каких-либо гена из трех. У американских индейцев племен уты, навахо, черноногих и аборигенов западной Австралии встречается только I и II группа крови, у бушменов — только I и III группы крови. Доля лиц с первой группой крови показана в таблице:

Племя	Первая группа, %	Племя	Первая группа, %
Уты	97,4	Черноногие	23,5
Тоба	98,5	Австралийские аборигены	48,1
Навахо	77,7	Бушмены	83,0

Определите генетическую структуру указанных популяций.

Литература

Основная

1. Инге-Вечтомов, С. Г. Генетика с основами селекции : учебник для студентов вузов / С. Г. Инге-Вечтомов. — СПб. : Изд-во Н-Л, 2010. — 718 с.

Дополнительная

1. Генетическая токсикология : лабораторный практикум / И. М. Прохорова, М. И. Ковалева, А. Н. Фомичева. — Ярославль: ЯрГУ, 2005. — 131 с. — URL : <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20050307.pdf>

2. Жимулев, И. Ф. Общая и молекулярная генетика : учеб. пособие / И. Ф. Жимулев. — Новосибирск : Сиб. унив., 2003. — 479 с.

3. Прохорова, И. М. Лабораторные занятия по генетике : метод. указания / И. М. Прохорова, М. И. Ковалева, А. Н. Фомичева. — Ярославль : ЯрГУ, 2004. — 44 с. — URL : <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20040308.pdf>

4. Прохорова, И. М. Генетика человека : метод. указания / И. М. Прохорова, М. И. Ковалева. — Ярославль : ЯрГУ, 2000. — 27 с. — URL : <http://www.lib.uniyar.ac.ru/edocs/iuni/20000332.pdf>

5. Задачник по общей и медицинской генетике / Н. В. Хелевин и др. — М. : Высшая школа, 1984. — 159 с.

Благодарности

В настоящем пособии использованы материалы (Захаров И. А., Мацелюх Б. П., 1986, Инге-Вечтомов С. Г., 2010) и приведены задачи, составленные автором, и задачи из опубликованных ранее пособий (Ватти и др., 1972; Соколовская Б. Х., 1977; Гуськов Е. П. и др., 1975; Инге-Вечтомов С. Г., 2010; Хелевин Н. В. и др., 1984; Гуляев Г. В. и др., 1973; Прохорова И. М., 2004), за что автор выражает искреннюю благодарность.

Особую признательность хочу выразить моему научному руководителю, кандидату биологических наук, доценту Инне Мечиславовне Прохоровой.

Оглавление

Генетическая символика и номенклатура	3
Список лабораторных работ.....	6
Занятие 1. Молекулярные основы наследственности	8
Занятие 2. Цитологические основы наследственности 1. Упаковка наследственного материала. Хромосомы. Деление клеток.....	11
Занятие 3. Цитологические основы наследственности 2. Мейоз	16
Занятие 4. Рекомбинация у эукариот. Гаметогенез у животных. Споро- и гаметогенез у растений	19
Занятие 5. Закономерности наследования при моногибридных скрещиваниях.....	24
Занятие 6. Закономерности наследования при полигибридных скрещиваниях. Взаимодействие неаллельных генов.....	34
Занятие 7. Генетическое определение пола. Сцепленное с полом наследование	47
Занятие 8. Сцепление генов и кроссинговер	53
Занятие 9. Генетические основы эволюции. Генетические процессы в популяциях.....	58
Литература	62

Учебное издание

Генетика с основами селекции

Практикум

Составитель

Ковалева Маргарита Игоревна

Редактор, корректор М. Э. Левакова

Верстка М. Э. Леваковой

Подписано в печать 14.09.2020. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 2,5.

Тираж 2 экз. Заказ

Оригинал-макет подготовлен

в редакционно-издательском отделе ЯрГУ.

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова.

150003, Ярославль, ул. Советская, 14.