



Е. Г. Мартюшова
А. Г. Магасумова

ЛЕСНАЯ ГЕНЕТИКА

Екатеринбург
УГЛТУ
2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)
Кафедра лесоводства

Е. Г. Мартюшова
А. Г. Магасумова

ЛЕСНАЯ ГЕНЕТИКА

Методические указания для самостоятельного решения задач
по генетике для обучающихся по направлению «Лесное дело».
Очная и заочная формы обучения

Екатеринбург
УГЛТУ
2025

Печатается по рекомендации методической комиссии Института леса и природопользования УГЛТУ.

Протокол № 1 от 7 октября 2024 г.

Рецензент – доцент кафедры ландшафтного строительства УГЛТУ, канд. биол. наук *Т. А. Фролова*

Предназначены для всех обучающихся, осваивающих образовательные программы всех направлений и специальностей высшего образования, реализуемых в УГЛТУ.

Редактор Р. В. Сайгина

Оператор компьютерной верстки Т. В. Упорова

Подписано в печать 13.10.2025

Плоская печать

Заказ №

Формат 60×84/16

Печ. л. 2,56

Поз. 4

Тираж. 10 экз.

Редакционно-издательский сектор РИО УГЛТУ

Сектор оперативной полиграфии РИО УГЛТУ

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	4
ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ГЕНЕТИКЕ	6
ОФОРМЛЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ГЕНЕТИКЕ	6
МЕНДЕЛЕВСКАЯ ГЕНЕТИКА	8
МОНОГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ	8
ПРИМЕР РЕШЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАЧИ	10
ДИГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ	11
ПРИМЕР РЕШЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАЧИ	12
ПОЛИГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ	14
ПРИМЕР РЕШЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАЧИ	15
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕНОТИПА И ФЕНОТИПА РОДИТЕЛЕЙ ПО ГЕНОТИПУ И ФЕНОТИПУ ГИБРИДОВ	17
ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	17
ПРИМЕР РЕШЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАЧИ	17
ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ. ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ	27
СЦЕПЛЕННОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ	27
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	29
ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ГЕНАМИ О ПОРЯДКЕ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ В ХРОМОСОМЕ	34
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	35
ЗАДАЧИ ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКЕ	38
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	40
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	43

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Аллели – формы состояния одного и того же гена, находящиеся в гомологичных (парных) участках (локусах) гомологичных хромосом и контролируемые альтернативные (взаимоисключаемые) признаки.

Анализирующее скрещивание – возвратное скрещивание гибрида первого поколения (F_1) с родительской формой, имеющей рецессивный признак, гибриды обозначаются F_a .

Беккросс – скрещивание гибрида первого поколения (F_1) с одной из родительских форм (возвратное скрещивание), полученное потомство обозначается F_b .

Взаимодействие генов – взаимное действие генов независимо от того, являются ли эти гены аллельными или неаллельными.

Гамета – половая клетка. Гаметы всегда гаплоидны (содержат только по одной хромосоме из каждой гомологичной пары).

Ген – участок хромосомы, способный к редупликации и изменению, контролирующий развитие определенного признака.

Генетика – это наука о закономерностях наследственности и изменчивости.

Геном – гаплоидный набор хромосом.

Генотип – сумма всех генов организма; генетическая структура индивидуума.

Генофонд – совокупность всех генов популяции, характеризующаяся определенной их частотой.

Гетерозис – увеличение размеров и мощности гибридов по сравнению с родительскими формами.

Гибрид – особь, полученная в результате скрещивания между генетически различающимися родительскими типами.

Группа сцепления – совокупность всех генов, которые локализованы в одной хромосоме, вследствие чего наследуются совместно или сцеплено.

Дигибрид – гибрид, гетерозиготный по двум парам аллелей.

ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота) – материальный носитель наследственности.

Доминирование – явление, при котором один из аллелей гетерозиготы (доминантный аллель) оказывает более сильное влияние на соответствующий признак особи, чем другой аллель (рецессивный).

Изменчивость – свойство организмов приобретать новые признаки под воздействием различных факторов.

Локус – место в хромосоме, где расположен ген.

Наследственность – свойство организмов обеспечивать материальную и функциональную преемственность между поколениями.

Панмиксия – случайное скрещивание без отбора в популяции.

Полусибсы – особи, происходящие от одной матери и разных отцов и наоборот.

Сибсы – потомки одних и тех же родителей, происходящие из одной или разных зигот.

Соматические гибриды – продукт слияния неполовых клеток. Соматические клетки диплоидны, поэтому каждый ген представлен двумя аллелями гомологичной пары (по одной аллели в каждой хромосоме).

Соматический – относящийся к клеткам тела.

Фенотип – сумма свойств (внешних и внутренних) какой-либо особи на определенной стадии развития.

Хромосомы – самовоспроизводящиеся элементы клеточного ядра, окрашивающиеся основными красителями и несущие генетическую информацию.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ГЕНЕТИКЕ

Универсальной схемы решения разных типов задач по генетике не существует, можно говорить только об основных этапах, в той или иной степени используемых при решении задач. Очередность этапов может изменяться, а их содержание трансформироваться.

1. Внимательно ознакомьтесь с условиями задачи.
2. Коротко запишите условия задачи.
3. Запишите генотипы и фенотипы скрещиваемых особей.
4. Определите и напишите типы гамет, которые формируют скрещиваемые особи.
5. Определите и напишите генотипы и фенотипы полученных от скрещивания гибридов.
6. Проведите анализ результатов скрещивания – определите количество классов потомства по фенотипу и генотипу и напишите их в виде числового соотношения.
7. Напишите ответ на вопрос задачи.

ОФОРМЛЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ГЕНЕТИКЕ

При решении задач по генетике используется специальная символика, предложенная Г. Менделем:

- P** – родители;
- F** – потомство от скрещивания, число внизу или сразу после буквы указывает на порядковый номер поколения:
- F₁** – гибриды первого поколения – прямые потомки родителей,
- F₂** – гибриды второго поколения – возникают в результате скрещивания между собой гибридов;
- x** – значок скрещивания;
- ♂ – мужская особь;
- ♀ – женская особь;
- A, a, B, b, C, c** – обозначение буквами латинского алфавита отдельно взятых наследственных признаков (заглавными – доминантных, строчными – рецессивных).

Делая записи, следует учитывать, что:

1. Первыми записывают генотип женской (материнской) особи, а затем – мужской (правильно – ♀**AABV** x ♂**aabb**, неправильно – ♂**aabb** x ♀**AABV**).
2. Гены одной аллельной пары всегда пишут рядом (правильно **AABV**; неправильно – **ABAB**).

3. Буквы, маркирующие признаки генотипа, всегда пишутся в алфавитном порядке, независимо от того, какой признак – доминантный или рецессивный – они обозначают (правильно – ♀ **aaBB**, неправильно – ♀ **BBaa**).

4. Если понятен только фенотип особи, то при записи ее генотипа записывают лишь те гены, присутствие которых неоспоримо. Ген, который нельзя определить по фенотипу, обозначают значком «_» (например, если желтая окраска (**A**) и гладкая форма (**B**) семян гороха – доминантные признаки, а зеленая окраска (**a**) и шершавая форма (**b**) – рецессивные, то генотип особи с желтыми шершавыми семенами записывают следующим образом: **A_bb**).

5. Под генотипом всегда пишут фенотип.

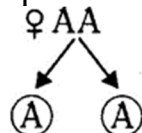
6. Гаметы записывают, обводя их кружком (○).

7. У особей определяют и записывают типы гамет, а не их количество (тем более, что их может быть множество):

правильно



неправильно



8. Фенотипы и типы гамет записывают точно под соответствующим генотипом.

9. Фиксируют ход решения задачи, аргументируя каждый вывод и полученный результат.

10. При решении задач на ди- и полигибридное скрещивание для выявления генотипов гибридов предлагается пользоваться решеткой Пеннета. По вертикали пишут типы гамет материнской особи, а по горизонтали – отцовской. На пересечении столбца и горизонтальной линии пишут сочетания гамет, относящиеся к генотипу формирующейся дочерней особи.

♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

11. Результаты скрещивания всегда носят случайный характер и выражаются либо в процентах, либо в долях единицы (например, вероятность образования гибрида, восприимчивого к мучнистой росе, 50 %, или 1/2. Соотношение классов гибридов записывают в виде формулы расщепления (например, желтосеменные и зеленосеменные растения в соотношении 1:1).

МЕНДЕЛЕВСКАЯ ГЕНЕТИКА

МОНОГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ

Моногибридным называют скрещивание, при котором анализируется наследование одной пары альтернативных (взаимоисключаемых) признаков.

Проявляющийся у гибридов первого поколения признак Г. Мендель назвал *доминантным признаком*, а подавляемый – *рецессивным признаком*. Явление преобладания у гибридов признака одного из родителей – *доминирование* (рис. 1).

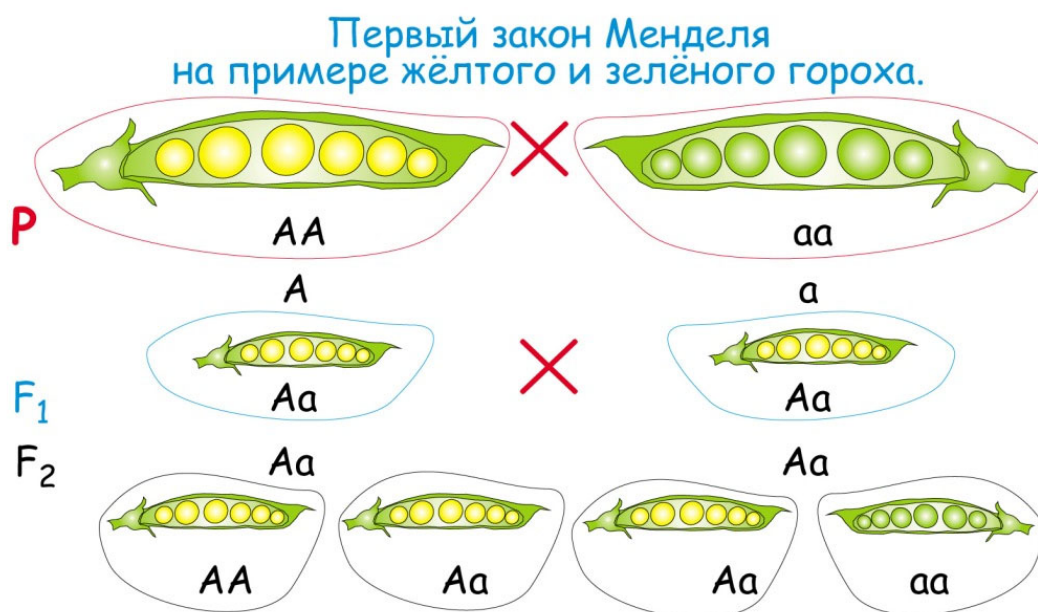


Рис. 1 Моногибридное скрещивание растений гороха с желтыми и зелеными семенами: F₁ – первое поколение; F₂ – второе поколение

Первый закон Менделя (закон единообразия): при моногибридном скрещивании гомозиготных организмов, имеющих разные значения альтернативных признаков, гибриды первого поколения (F₁) единообразны по генотипу и фенотипу.

Второй закон наследственности был сформулирован Г. Менделем при изучении гибридов, полученных от скрещивания потомков первого поколения. Анализ результатов скрещивания позволяет сделать ряд выводов:

- единообразия гибридов во втором поколении не наблюдается, часть гибридов несет один (доминантный), часть – другой (рецессивный) признак из альтернативной пары;
- количество гибридов, несущих доминантный признак, приблизительно в три раза больше, чем гибридов, несущих рецессивный признак;

- это соотношение наблюдается и по каждой отдельно взятой паре, и по всей совокупности растений;
- рецессивный признак не исчезает, а лишь подавляется и проявляется во втором гибридном поколении;
- наследуются не сами признаки, а наследственные задатки, или факторы (в современной терминологии – гены), их определяющие.

Процесс, при котором часть гибридов второго поколения несет доминантный признак, а часть – рецессивный, называют *расщеплением*. Расщепление у гибридов не спонтанное, оно подчиняется конкретным количественным закономерностям.

Второй закон Г. Менделя: при моногибридном скрещивании гетерозиготных организмов в потомстве наблюдается расщепление по фенотипу в соотношении 3:1, по генотипу – 1:2:1.

Среди гибридов F_2 появляются особи с признаками исходных родительских форм. Это говорит о том, что:

- у гибридов наследственные факторы сохраняются в неизменном виде;
- гаметы содержат только один наследственный фактор, т. е. они «чисты» (не содержат второго наследственного фактора).

Организм один задаток (ген) получает от материнской особи, а другой – от отцовской особи, поэтому они являются парами. Явление парности генов Г. Мендель называл *аллелизмом*, парные гены – *аллельными*, а каждый ген пары – *аллелью*. Например, желтая и зеленая окраска семян гороха являются двумя аллелями (соответственно, доминантная аллель и рецессивная аллель) одного гена.

Известны гены, имеющие не две, а большее количество аллелей. Наличие у гена большого количества аллелей называют *множественным аллелизмом*. Множественный аллелизм является результатом нескольких мутаций одного и того же гена.

Организмы, имеющие одинаковые аллели одного гена, называются *гомозиготными*. Они могут быть гомозиготными по доминантным (AA) или по рецессивным генам (aa). Организмы, имеющие разные аллели одного гена, называются *гетерозиготными* (Aa).

Цитологическими основами явления доминирования и расщепления признаков, наблюдаемых Г. Менделем, являются парность хромосом, расхождение их во время мейоза и объединение во время оплодотворения.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАЧИ

Задача 1. У яблони красная окраска плодов **A** доминирует над оранжевой **a**. Определите генотипы и фенотипы **F₁** и **F₂** полученных от скрещивания гомозиготных растений, имеющих красную и оранжевую окраску плодов.

Дано:

A – красная окраска

a – оранжевая окраска

P ♀ **AA** х ♂ **aa**

красн. оранжев.

Генотип **F₁** – ?

Генотип, фенотип **F₂** – ?

Решение:

1. *Определяем и записываем генотипы скрещиваемых особей.*

По условию задачи родительские особи гомозиготны.

Их генотип: красные плоды – **AA**,
оранжевые плоды – **aa**.

2. *Определяем типы гамет*

P ♀ **AA** х ♂ **aa**

красн. оранжев.

(A)

(a)

Типы гамет

3. *Определяем генотипы и фенотипы потомков **F₁***

P ♀ **AA** х ♂ **aa**

красн. оранжев.

Типы гамет

(A)

(a)

F₁

Aa

красн.

100%

4. *Проводим анализ скрещивания.* Потомство единообразно, по генотипу – **Aa**; по фенотипу – красная окраска плодов.

5. *Записываем скрещивание потомков **F₁**.*

P ♀ **Aa** х ♂ **Aa**

красн. красн.

6. *Определяем типы гамет.* Потомки **F₁** гетерозиготны, поэтому они образуют по два типа гамет:

P ♀ **Aa** х ♂ **Aa**

красн. красн.

(A) **(a)**

(A) **(a)**

7. *Получаем потомков **F₂***

P ♀ **Aa** х ♂ **Aa**

красн. красн.

Типы гамет

(A) **(a)**

(A) **(a)**

AA **Aa**

Aa **aa**

F_2 красн. красн. красн. оранжев.

8. Проводим анализ скрещивания. В F_2 произошло расщепление:

по генотипу – $1(AA) : 2(Aa) : 1(aa)$;

по фенотипу – $3/4$ (красные плоды у растений) : $1/4$ (оранжевые плоды у растений).

Ответ: F_1 – 100% красноплодных растений (Aa);

F_2 – по генотипу: $1(AA) : 2(Aa) : 1(aa)$;

По фенотипу: растения с красными и оранжевыми плодами в соотношении $3:1$, или 75% красные плоды и 25% оранжевые плоды.

ДИГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ

Дигибридным называют скрещивание, при котором анализируется наследование двух пар альтернативных признаков.

При скрещивании гомозиготного растения с желтыми и гладкими семенами (доминантные признаки) с гомозиготным растением с зелеными и шершавыми семенами (рецессивные признаки) Г. Мендель получил единообразное гибридное поколение F_1 с желтыми, гладкими семенами.

Анализируя полученные гибриды в F_2 , Мендель заметил, что вместе с совокупностью признаков исходных сортов (желтые гладкие и зеленые шершавые семена) при дигибридном скрещивании формируется новое сочетание признаков (желтые шершавые и зеленые гладкие семена), при этом расщепление по каждому конкретному признаку было тождественным расщеплению при моногибридном скрещивании.

Анализирование количественных соотношений групп гибридов F_2 , имеющих определенную комбинацию признаков, привело к выводу: расщепление по фенотипу при скрещивании дигетерозигот происходит в соотношении $9:3:3:1$. Кроме того:

- $9/16$ растений обладали обоими доминантными признаками (гладкие желтые семена);
- $3/16$ растений обладали желтыми (доминантный признак) и шершавыми (рецессивный признак);
- $3/16$ растений обладали зелеными (рецессивный признак) и гладкими (доминантный признак);
- $1/16$ растений имели оба рецессивных признака (шершавые семена зеленого цвета).

Это подводит нас к третьему закону Менделя.

Третий закон Менделя: при скрещивании гетерозиготных особей, отличающихся друг от друга по двум (и более) парам альтернативных признаков, гены и соответствующие им признаки наследуются независимо друг от друга в соотношении $3:1$ и комбинируются во всех возможных сочетаниях.

При решении задач на следует учитывать следующие моменты:

- наследование признаков при дигибридном скрещивании независимо друг от друга;
- записывая одноименные символы, маркирующие гены, их располагают рядом, только в алфавитном порядке;
- каждая гамета включает в себя по одному гену из каждой аллельной пары;
- гомозиготные по двум признакам особи образуют один тип гамет;
- гетерозиготная по одному признаку особь формирует два типа гамет ($AaBB \rightarrow AB, aB$), дигетерозиготная особь формирует четыре типа гамет: ($AaBb \rightarrow AB, Ab, aB, ab$). Для определения количества типов гамет, которые особь способна сформировать можно рассчитать по формуле:

$$2^n \quad (1),$$

где n – число генов, пребывающих в гетерозиготном состоянии;

- при скрещивании гомозиготных особей соблюдается первый закон Менделя – закон единообразия потомков F_1 ;
- при скрещивании дигетерозиготных особей у гибридов отмечается расщепление по фенотипу $9:3:3:1$, по генотипу $1:2:1:2:4:2:1:1$, следовательно, формируется четыре фенотипических класса и девять генотипических класса. Следовательно, особи, имеющие одинаковый фенотип, могут иметь различный генотип. Для точного определения фенотипов и генотипов гибридов F_2 следует использовать таблицу Пеннета;
- при анализирующем скрещивании дигетерозигот формируется четыре генотипа в пропорции $1:1:1:1$ и два фенотипа в пропорции $1:1$;
- расщепление гибридов F_2 по каждому анализируемому признаку подчиняется второму закону Менделя (формируются два фенотипических класса в пропорции $3:1$). Следовательно, можно исследовать наследование одного признака, игнорируя другой, т. е. два раза решить задачу на моногибридное скрещивание.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАЧИ

Задача 2. У яблони гибридной раскидистая форма кроны доминирует над компактной, пурпурный окрас венчика доминирует над розовым. Гомозиготное растение с раскидистой кроной и розовым окрасом венчика скрестили с растением с компактной формой кроны и пурпурным окрасом венчика. В F_1 получили 98 растений, в F_2 – 155.

1. Сколько разных генотипов в F_1 ?
2. Сколько типов гамет образуют растения F_1 ?
3. Сколько растений F_2 с раскидистой кроной и пурпурным венчиком?
4. Сколько растений F_2 с компактной кроной и розовым венчиком?
5. Сколько фенотипов в F_2 ?

Дано:

A – раскидистая форма кроны;

a – компактная форма кроны;

B – пурпурный венчик;

b – розовый венчик;

P ♀ **AABB** x ♂ **aabb**

раскид. ф. кроны компакт. ф. кроны
пурпур. венчик роз. венчик

F₁ – 28 растений

F₂ – 160 растений

Сколько разных генотипов в **F₁**?

Сколько типов гамет образуют растения **F₁**?

Сколько растений **F₂** с раскидистой формой кроны и пурпурным венчиком?

Сколько растений **F₂** с компактной формой кроны и пурпурным венчиком?

Сколько фенотипов в **F₂**?

Решение:

1. *Записываем схему скрещивания*

P ♀ **AABB** x ♂ **aabb**
раскид. ф. кроны компакт. ф. кроны
пурпур. венчик роз. венчик

2. *Определяем типы гамет скрещиваемых особей*

P ♀ **AABB** x ♂ **aabb**
раскид. ф. кроны компакт. ф. кроны
пурпур. венчик роз. венчик

Типы гамет

AB

ab

3. *Определим генотипы и фенотипы гибридов F₁.*

P ♀ **AABB** x ♂ **aabb**
раскид. ф. кроны компакт. ф. кроны
пурпур. венчик роз. венчик

Типы гамет

AB

ab

F₁

AaBb

раскид. ф. кроны пурпур. венчик

Все гибриды единообразны: имеют раскидистую форму кроны и с пурпурными венчиками.

4. *Записываем скрещивание гибридов F₁.*

P ♀ **AaBb** x ♀ **AaBb**
раскид. ф. кроны пурпур. венчик раскид. ф. кроны пурпур. венчик

5. *Определяем типы гамет.* Гибриды **F₁** дигетерозиготны, образуют по четыре типа гамет.

P ♀ **AaBb** x ♀ **AaBb**
раскид. ф. кроны пурпур. венчик раскид. ф. кроны пурпур. венчик

Типы гамет

AB

Ab

aB

ab

Ab

Ab

aB

ab

6. *Получаем гибриды F₂, применим для этого решетку Пеннета.*

♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB раскид. пурпур	AABb раскид. пурпур	AaBB раскид. пурпур	AaBb раскид. пурпур
Ab	AABb раскид. пурпур	AAbb раскид. розов.	AaBb раскид. пурпур	Aabb раскид. розов.
aB	AaBB раскид. пурпур	AaBb раскид. пурпур	aaBB комп. пурпур	aaBb комп. пурпур
ab	AaBb раскид. пурпур	Aabb раскид. розов.	aaBb комп. пурпур	aabb комп. розов.

7. *Проведем анализ скрещивания:* в F_2 наблюдается расщепление по генотипу – $1(AABV) : 2(AABb) : 1(Aabb) : 2(AaBV) : 4(AaBb) : 2(Aabb) : 1(aaBV) : 2(aaBb) : 1(aabb)$; по фенотипу – 9 (раскидистая форма кроны, пурпурный окрас венчика) : 3 (раскидистая форма кроны розовый окрас венчика) : 3 (компактная форма кроны, пурпурный окрас венчика) : 1 (компактная форма кроны, розовый окрас венчика).

8. *Отвечаем на вопросы задачи:*

- 1) Сколько разных генотипов в F_1 – 1.
- 2) Сколько типов гамет образуют растения F_1 – 4.
- 3) Сколько растений F_2 с раскидистой формой кроны и пурпурным венчиком – $9/16 F_2$, поэтому их количество составит $160 \times 9/16 = 90$ растений
- 4) Сколько растений F_2 с компактной формой кроны и пурпурным венчиком – таких растений $3/16 F_2$, их количество составит $160 \times 3/16 = 30$ растений.
- 5) В F_2 – произошло расщепление по фенотипу – $9:3:3:1$, т. е. в F_2 4 фенотипа.

Ответ: 1) 1; 2) 4; 3) 90 растений; 4) 30 растений; 5) 4.

ПОЛИГИБРИДНОЕ СКРЕЩИВАНИЕ

Полигибридным называется скрещивание организмов, отличающихся друг от друга по трем или более альтернативным признакам.

Задачи на полигибридное скрещивание решаются так же, как и на дигибридное, но при этом следует учитывать:

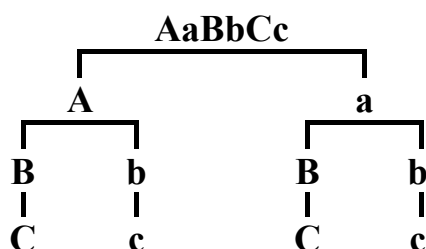
- гены, локализованные в разных парах гомологичных хромосом, наследуются независимо друг от друга;
- количество типов гамет можно вычислить по формуле:

$$N = 2^n, \quad (2)$$

где N – количество типов гамет, шт.;

n – число генов, находящихся в гетерозиготном состоянии.

Вероятные комбинации генов при полигибридном скрещивании можно представить в виде схемы (рис. 2).



ПРИМЕР РЕШЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАЧИ

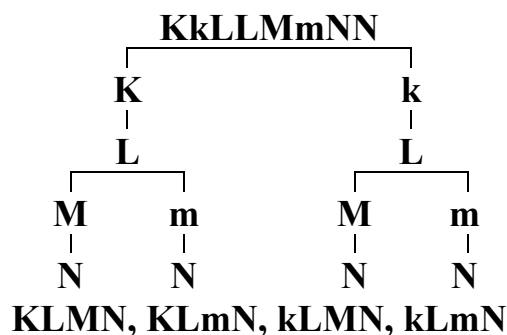
Задача 3. Сколько типов гамет формирует особь с генотипом **CcDdEe**?

<u>Дано:</u> CcDdEe	<u>Решение:</u> Количество типов гамет, которые формирует особь, вычисляем по формуле 2^n , где n – число генов, пребывающих в гетерозиготном состоянии: $2^3 = 8$.
Количество типов гамет?	

Ответ: Особь с генотипом **CcDdEe** формирует восемь типов гамет.

Задача 4. Какие гаметы формирует особь с генотипом **KkLLMmNN**?

<u>Дано:</u> KkLLMmNN	<u>Решение:</u> 1. Определим количество типов гамет, формируемых особью, по формуле 2^n , где n – число генов, пребывающих в гетерозиготном состоянии: $2^2 = 4$. 2. Определим гаметы, формируемые особью:
Какие гаметы?	

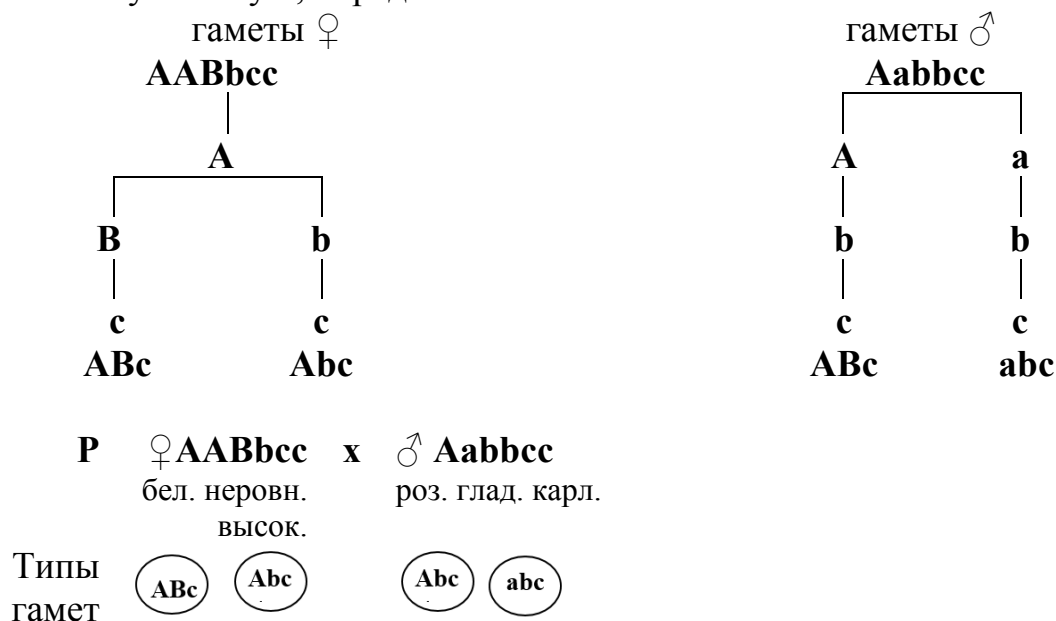


Ответ: особь формирует четыре типа гамет: **KLMN, KLmN, kLMN, kLmN**.

Задача 5. У черемухи обыкновенной белый цвет лепестков **A** доминирует над розовым цветом лепестков **a**, неровные косточки **B** над гладкими косточками **b**, высокий рост **C** над карликовостью **c**. Какое потомство можно получить от скрещивания ♀**AABbcc** x ♂**Aabbcc**?

<u>Дано:</u> A – белые лепестки a – розовые лепестки B – неровные косточки b – гладкие косточки C – высокий рост c – карликовость P ♀ AABbcc x ♂ Aabbcc бел. неровн. высок. роз. глад. карл.	<u>Решение:</u> 1. Записываем схему скрещивания P ♀ AABbcc x ♂ Aabbcc бел. неровн. роз. глад. высок. карл. 2. Определяем типы гамет родительских особей. По формуле: 2^n , где n – число генов, находящихся в гетерозиготном состоянии.
F₁ -?	

У родительских скрещиваемых растений по одному гену находится в гетерозиготном состоянии: $2^1 = 2$, следовательно, каждая особь образует по два типа гамет. Используя схему 1, определим гаметы



3. Гибриды F ₁	AABbcc	AaBbcc	AABbcc	Aabbcc
	бел.	бел.	бел.	бел.
	неровн.	неровн.	глад.	глад.
	карл.	карл.	карл.	карл.
	25%	25%	25%	25%

4. Проанализируем потомство F₁. Произошло расщепление по генотипу – 1(**AABbcc**) : 1(**AaBbcc**) : 1(**AABbcc**) : 1(**Aabbcc**); по фенотипу – белый с неровными семенами карликового размера и белый с гладкими семенами карликового размера в соотношении 1:1.

Ответ: F₁: расщепление по генотипу – 1(**AABbcc**) : 1(**AaBbcc**) : 1(**AABbcc**) : 1(**Aabbcc**); по фенотипу – белый с неровными семенами карликового размера и белый с гладкими семенами карликового размера в соотношении 1:1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕНОТИПА И ФЕНОТИПА РОДИТЕЛЕЙ ПО ГЕНОТИПУ И ФЕНОТИПУ ГИБРИДОВ

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. Ознакомьтесь с условием задачи. С помощью общепринятой символики запишите ее условия. При необходимости обозначьте доминантные и рецессивные признаки. Напоминаем, что любая буква латинского алфавита может быть использована для обозначения гена. Доминантный ген обозначается заглавной буквой, рецессивный ген – строчной буквой.

2. Напишите схему скрещивания родительских экземпляров. Если в задаче упоминаются фенотипы скрещиваемых экземпляров, соотнесите их с генотипами. Напоминаем, что два одинаковые аллели гена (**BB** или **bb**) относятся к гомозиготной особи, разные аллели гена (**Bb**) – к гетерозиготной особи.

3. Определите, какое количество типов гамет формируют родительские экземпляры. Гомозиготная особь формирует один тип гамет (**BB** → **B**; **bb** → **b**), гетерозиготная особь формирует два типа гамет (**Bb** → **B**, **b**). Следует учитывать, что гомозиготная по доминантному признаку особь и гетерозиготная особь будут иметь один фенотип. Следовательно, в генотипе такой особи отмечают наличие доминантного гена, а на месте второго ставят « ».

4. Напишите гаметы родительских экземпляров.

5. Напишите, какие генотипы формируются у гибридов **F₁**.

6. Под генотипом **F₁** запишите фенотип.

7. При необходимости получите гибриды **F₂** (если это оговаривается условием задачи). Для этого напишите схему скрещивания гибридов **F₁**, осуществите операции пп. 2–6.

8. Проанализируйте скрещивание.

9. Напишите ответ, соответствующий вопросу задачи.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАЧИ

Задача 6. Нормальный рост березы (**A**) доминирует над карликовостью (**a**). Определите рост берез, полученных от скрещивания растений, с генотипами **aa** и **Aa**.

Дано:

A – нормальный рост

a - карликовость

Фенотип **F₁** -?

Решение:

1. *Напишем схему скрещивания*

P	♀ aa	x	♂ Aa
	карлик.		нормал.

2. *Определите типы гамет скрещиваемых экземпляров*

P	♀ aa	x	♂ Aa
	карлик.		нормал.

Типы гамет \textcircled{a} \textcircled{A} \textcircled{a}

3. Получаем гибриды F_1 .

P \textcircled{a} \times \textcircled{A} \textcircled{a}
 карлик. нормал.
 Типы гамет \textcircled{a} \textcircled{A} \textcircled{a}
F₁ **aa** **Aa**
 карлик. нормал.

4. Анализируем скрещивание: в F_1 расщепление по генотипу – 1(**Aa**) : 1(**aa**); по фенотипу – 1/2 (нормальный рост) : 1/2 (карликовость).

Ответ: в F_1 1/2 растений нормального роста и 1/2 растений с карликовым ростом.

Задача 7. У листовницы зелено-шишечная форма доминирует над красно-шишечной формой. Гомозиготная зелено-шишечная листовница скрещена с листовницей с красными шишками.

- 1) Определите генотипы и фенотип гибридов F_1 ;
- 2) Определите генотипы и фенотипы потомства F_2 ;
- 3) Определите генотипы и фенотипы гибридов от возвратного скрещивания F_1 с зелено-шишечной родительской особью;
- 4) Определите генотипы и фенотипы гибридов от возвратного скрещивания F_1 с красно-шишечной родительской особью.

1. Определяем генотип родительских особей. Зелено-шишечная листовница – материнская особь – гомозиготна и несет доминантный признак, поэтому ее генотип – **AA**. Отцовская особь – с красными шишками, это рецессивный признак, генотип – **aa**.

2. Запишем условия задачи и решим ее.

Дано:

A – зеленые шишки

a – красные шишки

Генотип и фенотип

F₁, F₂, Fa - ?

Решение:

3. Напишем схему скрещивания

P \textcircled{A} \textcircled{A} \times \textcircled{a} \textcircled{a}
 зелен. крас.
 шишки шишки

4. Запишем типы гамет родительских особей

P \textcircled{A} \textcircled{A} \times \textcircled{a} \textcircled{a}
 зелен. крас.
 шишки шишки
 Типы гамет \textcircled{A} \textcircled{a}

5. Получим гибриды F_1

P \textcircled{A} \textcircled{A} \times \textcircled{a} \textcircled{a}
 зелен. крас.
 шишки шишки

Типы гамет	$\textcircled{\text{A}}$	$\textcircled{\text{a}}$
F_1	Aa зелен. шишки	

6. Проанализируем скрещивание: в F_1 все гибриды единообразны – по генотипу Aa , по фенотипу – зеленые шишки.

7. Получаем гибриды F_2 .

P	♀ Aa зелен. шишки	x	♂ Aa зелен. шишки	
Типы гамет	(A) (a)		(A) (a)	
F₂	AA зелен. шишки	Aa зелен. шишки	Aa зелен. шишки	aa крас. шишки

8. Проанализируем результаты. В F_2 произошло расщепление по генотипу: $1(\text{AA}) : 2(\text{Aa}) : 1(\text{aa})$; по фенотипу – $3:1$ ($3/4$ с растений с зелеными шишками и $1/4$ с красными шишками).

9. Получаем потомство от возвратного скрещивания гибридов F_1 с зелено-шишечным родителем.

P	♀ Aa зелен. шишки	x	♂ AA зелен. шишки
Типы гамет	$\textcircled{\text{A}}$ $\textcircled{\text{a}}$		$\textcircled{\text{A}}$
Fa	Aa зелен. шишки		AA зелен. шишки

10. Проанализируем результаты возвратного скрещивания гибридов F_1 с зелено-шишечной родительской особью. У гибридов наблюдается расщепление по генотипу $1(\text{AA}) : 1(\text{Aa})$, фенотип у полученных гибридов единообразен – растения с зелеными шишками.

11. Получаем потомство от возвратного скрещивания гибридов F_1 с красно-шишечной родительской особью.

P	♀ Aa зелен. шишки	x	♂ aa крас. шишки
Типы гамет	$\textcircled{\text{A}}$ $\textcircled{\text{a}}$		$\textcircled{\text{a}}$
Fa	Aa зелен. шишки		aa крас. шишки

12. Проанализируем результаты возвратного скрещивания гибридов F_1 с красно-шишечной родительской особью. У гибридов наблюдается расщепление по генотипу – $1(\text{Aa}) : 1(\text{aa})$, по фенотипу – $1:1$ ($1/2$ растений с зелеными шишками и $1/2$ с красными шишками).

Ответ: F_1 генотип **Aa**, фенотип – растения с зелеными шишками; в F_2 произошло расщепление по генотипу $1(AA) : 2(Aa) : 1(aa)$; по фенотипу – $3:1$ ($3/4$ с растений с зелеными шишками и $1/4$ с красными шишками); в F_3 произошло расщепление по генотипу $1(Aa) : 1(aa)$, по фенотипу – $1:1$ ($1/2$ растений с зелеными шишками и $1/2$ с красными шишками).

Задача 8. У березы раскидистая форма кроны, доминантный признак **A**, компактная крона – рецессивный признак **a**, быстрый рост **B** доминирует над медленным **b**. Какова вероятность появления в F_1 гибридов березы с компактной кроной и медленным ростом при скрещивании растений с генотипами **AABb** и **Aabb**?

Дано:

A – раскидистая форма кроны

a – компактная форма кроны

B – быстрый рост

b – медленный рост

P ♀ **AABb** x ♂ **Aabb**
 раскид. быстр раскид.
 медл

Вероятность в F_1 появления березы с компактной кроной и медленным ростом?

Решение:

1. Напишем схему скрещивания родительских форм

P ♀ **AABb** x ♂ **Aabb**
 раскид. быстр раскид. медл

2. Определим типы гамет скрещиваемых родительских особей

P ♀ **AABb** x ♂ **Aabb**
 раскид. быстр раскид. медл

Типы гамет (AB) (Ab) (Ab) (ab)

3. Гибриды F_1

AABb	AAbb	Aabb	AaBb
раскид. быстр	раскид. медл	раскид. медл.	раскид. быстр

4. Анализируем скрещивание. В F_1 произошло расщепление: 1 (раскидистая крона, быстрый рост) : 1 (раскидистая крона медленный рост).

Ответ: вероятность появления растений с компактной формой кроны и медленным ростом равняется нулю.

Задача 9. У яблони Недзвецкого красная окраска венчика **A** доминирует над белым окрасом **a**, устойчивость к мучнистой росе **B** доминирует над восприимчивостью **b**. Скрещиваются гетерозиготные яблони с красными венчиками, восприимчивые к заболеванию. Определите вероятность появления в F_1 яблонь с белыми венчиками, восприимчивых к мучнистой росе?

1. Запишем генотипы скрещиваемых родительских особей – гетерозиготные яблони с красными венчиками, восприимчивые к заболеванию. Предрасположенность к мучнистой росе – это рецессивный признак. Следовательно, по этому признаку растения гомозиготны. Красный цвет венчика

находится по условию задачи в гетерозиготном состоянии. Поэтому генотип скрещиваемых яблонь – **Aabb**.

Дано:

A – красные венчики

a – белые венчики

B – устойчивость к мучнистой росе

b – восприимчивость к мучнистой росе

P ♀ **Aabb** x ♂ **Aabb**
красн. воспр. красн. воспр.

Вероятность появления в **F₁** растений с белыми венчиками, восприимчивыми к мучнистой росе?

Решение:

2. Напишем схему скрещивания родительских особей:

P ♀ **Aabb** x ♂ **Aabb**
красн. воспр. красн. воспр.

3. Определим типы гамет скрещиваемых родительских особей:

P ♀ **Aabb** x ♂ **Aabb**
красн. воспр. красн. воспр.

Типы гамет (Ab) (ab) (Ab) (ab)

4. Получаем гибриды **F₁**

P ♀ **Aabb** x ♂ **Aabb**
красн. воспр. красн. воспр.

Типы гамет (Ab) (ab) (Ab) (ab)

F₁ **Aabb** **AAbb** **Aabb** **aabb**
красн. воспр. красн. воспр. красн. воспр. бел. воспр.

5. Проанализируем результаты скрещивания. В **F₁** отмечается расщепление по фенотипу на растения с красными венчиками, восприимчивыми к мучнистой росе, и растения с белыми венчиками, восприимчивыми к мучнистой росе, в соотношении 3:1.

Ответ: вероятность получения растений яблони с белым венчиком, восприимчивых к заболеванию, равна 1/4, или 25 %.

Задача 10. При скрещивании усатого растения красноплодной земляники с безусым растением земляники с белыми ягодами в **F₁** все гибриды обладают ягодами розового цвета и имеют усы. В **F₂** произошло следующее расщепление: 32 растения красноплодных усатых, 10 красноплодных безусых, 64 розовоплодных усатых, 22 розовоплодных безусых, 28 белоплодных усатых, 8 белоплодных безусых. Определите:

- как наследуется окраска ягод и способность образовывать усы;
- генотипы всех гибридов **F₂**.

1. Определим характер наследования окраски ягод и усатости растений. В **F₁** все гибриды единообразны – розовоплодные с усами. Гибриды **F₁** обладают признаком, которого нет у родительских особей. Из этого можно сделать вывод, что усатость наследуется по типу полного доминирования,

а окраска ягод – промежуточного. Проведем анализ каждого признака в отдельности. В F_2 124 растения с усами и 40 растений без усов – расщепление 3:1; 42 растения с красными плодами, 86 с розовыми плодами, 36 с белыми плодами, расщепление – 1:2:1. Описанное расщепление доказывает правильность выводов о характере наследования признаков.

2. *Присвоим генам буквенное обозначение.*

A – наличие усов, **a** – отсутствие усов;

B₁ – красные плоды, **B₂** – белые плоды, **B₁B₂** – розовые плоды;

3. *Записываем краткую запись задачи*

Дано:

A – наличие усов,

a – отсутствие усов,

B₁ – красные плоды,

B₂ – белые плоды,

B₁B₂ – розовые плоды,

F₁ – розовые плоды, усы,

F₂ – 32 красн. усат., 10 красн.

безус., 64 розов. усат., 22 роз.

безус., 24 бел. усат., 8 бел.

безусат.

Генотипы F_2 – ?

Решение:

4. *Напишем схему скрещивания родительских гомозиготных особей (по условиям задачи).*

P ♀ **AAB₁B₁** x ♂ **aaB₂B₂**
 усат. красн. безус. бел.

5. *Определим типы гамет*

P ♀ **AAB₁B₁** x ♂ **aaB₂B₂**
 усат. красн. безус. бел.

Типы
гамет

(**AB₁**)

(**aB₂**)

6. *Генотипы и фенотипы гибридов F_1*

P ♀ **AAB₁B₁** x ♂ **aaB₂B₂**
 усат. красн. безус. бел.

Типы гамет

(**AB₁**)

(**aB₂**)

F₁

AaB₁B₂

усат. розов.

100%

7. *Напишем скрещивание гибридов F_1*

P ♀ **AaB₁B₂** x ♂ **AaB₁B₂**
 усат. розов. усат. розов.

8. *Запишем типы гамет. Гибриды F_1 дигетерозиготны, они образуют по четыре типа гамет:*

P ♀ **AaB₁B₂** x ♂ **AaB₁B₂**
 усат. розов. усат. розов.

Типы гамет

(**AB₁**)

(**AB₂**)

(**aB₁**)

(**aB₂**)

(**AB₁**)

(**AB₂**)

(**aB₁**)

(**aB₂**)

9. *Получаем гибриды F_2 , применим для этого решетку Пеннета.*

P ♀ **AaB₁B₂** x ♂ **AaB₁B₂**
 усат. розов. усат. розов.

Типы гамет

(**AB₁**)

(**AB₂**)

(**aB₁**)

(**aB₂**)

(**AB₁**)

(**AB₂**)

(**aB₁**)

(**aB₂**)

♀ \ ♂	AB₁	AB₂	aB₁	aB₂
AB₁	AAB₁B₁ усат. красн.	AAB₁B₂ усат. розов.	AaB₁B₁ усат. красн.	AaB₁B₂ усат. розов.
AB₂	AAB₁B₂ усат. розов.	AAB₂B₂ усат. бел.	AaB₁B₂ усат. розов.	AaB₂B₂ усат. бел.
aB₁	AaB₁B₁ усат. красн.	AaB₁B₂ усат. розов.	aaB₁B₁ безус. красн.	aaB₁B₂ безус. розов.
aB₂	AaB₁B₂ усат. розов.	AaB₂B₂ усат. бел.	aaB₁B₂ безус. розов.	aaB₂B₂ безус. бел.

10. *Анализируем скрещивание.* Гибриды **F₂** усатые с красными плодами имеют генотип **A_B₁B₁**, усатые с розовыми плодами – **A_B₁B₂**, усатые с белыми плодами – **A_B₂B₂**, безусые с красными плодами – **aaB₁B₁**, безусые с розовыми плодами – **aaB₁B₂**, безусые с белыми плодами – **aaB₂B₂**.

Ответ: А) способность растений образовывать усы наследуется по типу полного доминирования, окраска ягод наследуется по типу промежуточного доминирования;

Б) Генотипы **F₂**:

Усатые с красными плодами – **AAB₁B₁**, **AaB₁B₁**;

Усатые с розовыми плодами – **AAB₁B₂**, **AaB₁B₂**;

Усатые с белыми плодами – **AAB₂B₂**, **AaB₂B₂**;

Безусые с красными плодами – **aaB₁B₁**;

Безусые с розовыми плодами – **aaB₁B₂**;

Безусые с белыми плодами – **aaB₂B₂**.

Задача 11. При скрещивании яблонь гибридных с красной и белой окраской венчика гибриды получают с розовым окрасом венчика, а в **F₂** можно наблюдать расщепление 90 (розовые) : 30 (красные) : 40 (белые).

Определите:

А) как наследуется окрас венчика у яблони гибридной;

Б) какие гибриды можно ожидать от скрещивания дигетерозиготной особи с гомозиготной по первому рецессивному признаку и гетерозиготной по второму признаку.

1. *Определим характер наследования признаков.* В **F₁** все потомство единообразное – розовый окрас венчика, этот признак отличается от признаков родительских особей, следовательно, наблюдается новообразование. Поэтому окрас венчика может наследоваться по типу неполного доминирования или по типу комплементарного взаимодействия генов. В **F₂** видим расщепление в соотношении 9:3:4, характерное для комплементарного взаимодействия генов. Поэтому окраска венчика контролируется двумя парами неаллельных комплементарных генов. Особи, имеющие розовую окраску венчика, имеют генотип **A_B_**, с красным венчиком – генотип **A_bb**, с белым венчиком – генотипы **aaB_** и **aabb**.

4. Определим генотипы скрещиваемых родительских особей. По условиям задачи одна особь дигетерозиготна, следовательно, генотип – **AaBb**. Вторая особь гомозиготна по первому признаку и гетерозиготна по второму признаку, ее генотип – **aaBb**.

5. Запишем условия задачи

Дано:	
A_bb – красная окраска	
aaB_ и aabb – белая окраска	
A_B_ – розовая окраска	
P ♀ aaBb х ♂ AaBb	
белая розовая	
F₁ – ?	

Решение:

6. Схема скрещивания

P ♀ **aaBb** х ♂ **AaBb**
белая розовая

7. Определим типы гамет скрещиваемых родительских особей

P ♀ **aaBb** х ♂ **AaBb**
белая розовая

Типы гамет

♀: **aB** **ab**
♂: **AB** **Ab** **aB** **ab**

8. Определим генотипы и фенотипы гибридов **F₁**.

P ♀ **aaBb** х ♂ **AaBb**
белая розовая

♀ \ ♂	AB	Ab	aB	ab
aB	AaBB розов.	AaBb розов.	aaBB бел.	aaBb бел.
ab	AaBb розов.	Aabb красн.	aaBb бел.	aabb бел.

9. Проанализируем гибриды от скрещивания. В **F₁** наблюдается расщепление 3 (розовые) : 1 (красные) : 4 (белые).

Ответ: А) окраска венчика наследуется по типу комплементарного взаимодействия генов;

Б) в **F₁** 3 (розовые) : 1 (красные) : 4 (белые).

Задача 12. У растения форма лепестков зависит от эпистатического взаимодействия генов. Ген **A** контролирует складчатую форму лепестков, ген **a** – гладкую. Эпистатичный ген **I** угнетает функционирование гена **A**, ген **i** не влияет на форму лепестков. С какой вероятностью можно получить растение со складчатыми лепестками от скрещивания гетерозиготной особи со складчатыми лепестками и дигетерозиготной особи?

1. Определяем генотипы скрещиваемых родительских особей. Гетерозиготное растение со складчатыми лепестками имеет генотип **Aaⁱⁱ**, поскольку этот признак проявляется в присутствии двух рецессивных аллелей эпистатического гена. Генотип дигетерозиготного растения – **AaIi**.

2. Запишем условия задачи

Дано:

A – складчатые лепестки

a – гладкие лепестки

I – эпистатичный ген

P ♀ **Aaⁱⁱ** x ♂ **AaIi**
 склад гладк.

Вероятность складчатых
лепестков в **F₁** – ?

Решение:

3. Схема скрещивания

P ♀ **Aaⁱⁱ** x ♂ **AaIi**
 склад гладк.

4. Определим типы гамет скрещиваемых родительских особей.

P ♀ **Aaⁱⁱ** x ♂ **AaIi**
 склад гладк.

Типы гамет



5. Определим генотипы и фенотипы гибридов **F₁**.

P ♀ **Aaⁱⁱ** x ♂ **AaIi**
 склад гладк.

♀ \ ♂	AI	Ai	aI	ai
Ai	AAIi гладк.	AAii складч.	AaIi гладк.	Aaⁱⁱ складч.
ai	AaIi гладк.	Aaⁱⁱ складч.	aaIi гладк.	aaⁱⁱ гладк.

6. Анализируем гибриды от скрещивания. В **F₁** отмечается расщепление 5 (гладких) : 3 (складчатых).

Ответ: вероятность получения растения со складчатыми лепестками равняется 3/8.

Задача 13. У растения темно-красный цвет плодов определяется двумя парами доминантных полимерных генов **A₁A₁A₂A₂**, две пары рецессивных аллелей этих генов определяют белый цвет плодов. Скрестили два растения с генотипами ♀ **A₁A₁a₂a₂** x ♂ **A₁a₁A₂A₂**. Какой максимально насыщенный цвет плодов возможен у гибридов **F₁**?

Дано:

$A_1A_1A_2A_2$ – темно-красные плоды

$A_1a_1A_2A_2$ и $A_1A_1A_2a_2$ – красные плоды

плоды

$A_1A_1a_2a_2$, $a_1a_1A_2A_2$, $A_1a_1A_2a_2$ – светло-красные плоды

$A_1a_1a_2a_2$, $a_1a_1A_2a_2$ – бледно-красные плоды

$a_1a_1a_2a_2$ – белые плоды

P ♀ $A_1A_1a_2a_2$ х ♂ $A_1a_1A_2A_2$
светло-красные красные

Максимально-насыщенный цвет плодов у F_1 ?

Решение:

1. Напишем схему скрещивания родительских особей

P ♀ $A_1A_1a_2a_2$ х ♂ $A_1a_1A_2A_2$
светло-красные красные

2. Определим типы гамет скрещиваемых родительских особей

P ♀ $A_1A_1a_2a_2$ х ♂ $A_1a_1A_2A_2$
светло-красные красные

Типы гамет

A_1a_2

A_1A_2

a_1A_2

3. Определяем генотипы и фенотипы гибридов F_1 .

P ♀ $A_1A_1a_2a_2$ х ♂ $A_1a_1A_2A_2$
светло-красные красные

Типы гамет

A_1a_2

A_1A_2

a_1A_2

F₁

$A_1A_1A_2a_2$
красные

$A_1a_1A_2a_2$
светло-красные

Ответ: максимально-насыщенный цвет у плодов в F_1 – красный

ЗАКОНОМЕРНОСТИ НАСЛЕДОВАНИЯ. ХРОМОСОМНАЯ ТЕОРИЯ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ

СЦЕПЛЕННОЕ НАСЛЕДОВАНИЕ

Большое количество признаков, каким обладает каждый организм, соответствует хромосомам, количество которых ограничено. Из этого можно сделать вывод, что одна хромосома несет не один, а множество генов, отвечающих за разные признаки.

Гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются совместно и создают одну группу сцепления. Количество таких групп соответствует гаплоидному набору хромосом.

Сцепленное наследование – это явление объединенного наследования признаков, гены которых расположены в одной хромосоме. Сила сцепления между генами определяется расстоянием между ними: чем дальше гены находятся друг от друга, тем выше частота кроссинговера.

Выделяют два возможных расположения доминантных и рецессивных аллелей генов, принадлежащих к одной группе:

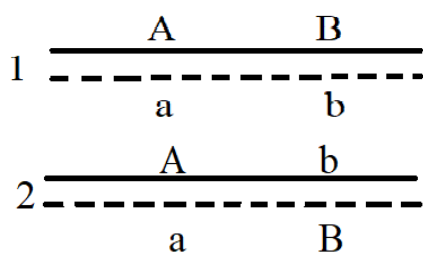


Рис. 3. Расположение аллелей гена в хромосомах: 1 – цис-положение; 2 – транс-положение

1 – **цис-положение** – доминантные аллели размещаются в одной из пар гомологичных хромосом, а рецессивные – в другой;

2 – **транс-положение** – доминантные и рецессивные аллели гена располагаются в разных гомологичных хромосомах (рис. 3).

От силы сцепления генов в хромосоме различают:

1) *полное сцепление* – гены, расположенные в одной группе сцепления, наследуются вместе;

2) *неполное сцепление* – между генами, расположенными в одной группе сцепления, возможна рекомбинация.

Сцепление генов может нарушаться в процессе *кроссинговера* (процесса обмена участками гомологичных хромосом), это провоцирует формирование рекомбинантов.

Различают:

- *кроссоверные гаметы* – в процессе образования гамет произошел кроссинговер (составляют малую часть от всего количества гамет);
- *некроссоверные гаметы* – в процессе образования гамет кроссинговер не произошел.

Кроссинговер бывает одинарным, двойным, тройным, множественным (рис. 4).

При сцепленном наследовании признаков, гены которых расположены в одной хромосоме, пропорция соотношения фенотипических классов потомства, полученного в процессе скрещивания, нередко отличается от классического менделевского. Это зависит от того, что часть гамет родительских особей является кроссоверными, а другая часть – не кроссоверными.

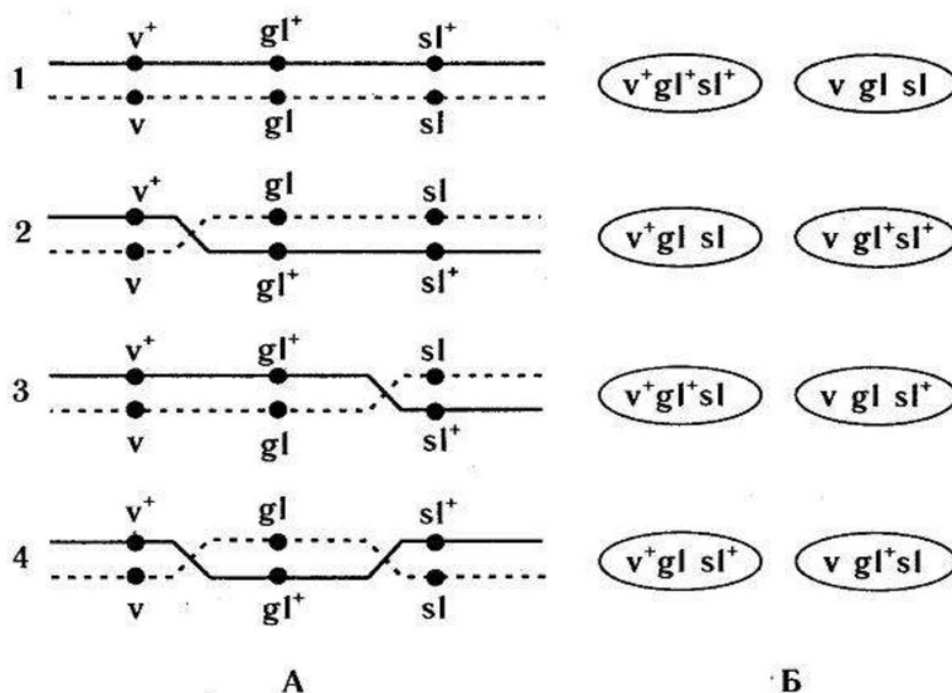


Рис. 4. Расположение аллелей гена в хромосомах:

А. Хромосомы: 1 – некроссоверные; 2, 3 – одинарный кроссинговер между генами *v* и *gl*; 4 – двойной кроссинговер.

Б. Гаметы: 1 – некроссоверные; 2, 3, 4 – кроссоверные

Возможность появления переkreщивания между генами определяется расстоянием между генами, чем они ближе друг к другу, тем ниже вероятность кроссинговера. 1 % кроссинговера – это единица расстояния между генами, также она носит название – *1 морганида*, в честь английского генетика Т. Моргана.

Процент кроссинговера между генами рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{a+b}{N} \cdot 100 \% \quad (3)$$

где *x* – процент кроссинговера;

a – число кроссоверных особей одного класса;

b – число кроссоверных особей другого класса;

n – полученных от анализирующего скрещивания.

Процент кроссинговера не может превышать 50 %, иначе мы наблюдаем свободное комбинирование между парами аллелей.

При расчете задач на сцепленное наследование генов генотипы обычно записывают в хромосомной форме:

$$\begin{array}{c} \underline{\underline{A \ B \ C}} \\ a \ b \ c \end{array}$$

Тригетерозиготная особь при независимом наследовании будет иметь запись генотипа в следующем виде:

$$\begin{array}{c} \underline{\underline{A}} \ \underline{\underline{B}} \ \underline{\underline{C}} \\ a \ \ b \ c \end{array}$$

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 14. У растения сцепленное наследование признаков желтых проростков, обусловленных геном **gl**, больших листьев – **st** – это рецессивные признаки. Зеленые проростки и маленькие листья – доминантные признаки. От скрещивания гомозиготных растений, имеющих желтые проростки и большие листья, с растениями, имеющими зеленые проростки и маленькие листья, получили 248 гибрида **F₁**. От скрещивания растений **F₁** с линией-анализатором получили 1452 растения **Fa**, в том числе 620 – с доминантными признаками родительской формы, 574 – с рецессивными признаками, 258 – кроссоверных по данным генам.

Определить:

- 1) сколько типов гамет может образовать растение **F₁**?
- 2) какой процент некроссоверных растений будет среди растений **Fa**?
- 3) сколько генотипов может быть получено в **Fa**?
- 4) какой процент растений **Fa** могут дать нерасщепляющееся потомство?
- 5) сколько растений **Fa** (в %) могут иметь желтые проростки и маленькие листья?

Дано:

Gl – зеленые проростки

gl – желтые проростки

St – мелкие листья

st – большие листья

F₁ – 248 растений

Fa – 1452 растений, из них:

620 – с зелеными проростками и мелкими листьями;

574 – с желтыми проростками и большими листьями;

258 – кроссоверных.

Решение:

1. Напишем схему скрещивания родительских особей. По условию задачи, скрещиваемые особи являются гомозиготными.

$$\begin{array}{ccccc} \text{P} & \text{♀} & \underline{\underline{gl \ st}} & \times & \text{♂} & \underline{\underline{Gl \ St}} \\ & & \underline{\underline{gl \ st}} & & & \underline{\underline{Gl \ St}} \\ & & \text{желтые} & & \text{зеленые} \\ & & \text{большие} & & \text{мелкие} \end{array}$$

2. Определим типы гамет скрещиваемых родительских особей

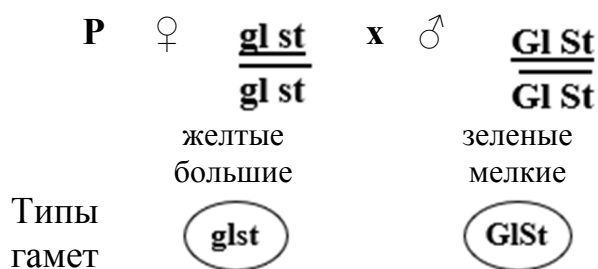
1. Сколько типов гамет может образовать растение F_1 ?

2. Какой процент некроссоверных растений будет среди растений F_2 ?

3. Сколько генотипов может быть получено в F_2 ?

4. Какой процент растений F_2 могут дать нерасщепляющееся потомство?

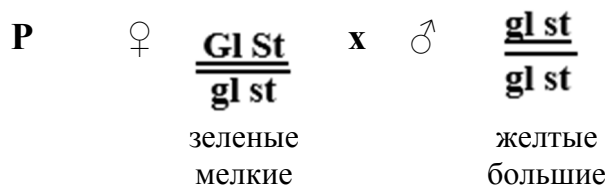
5. Сколько растений F_2 (в %) могут иметь желтые проростки и маленькие листья?



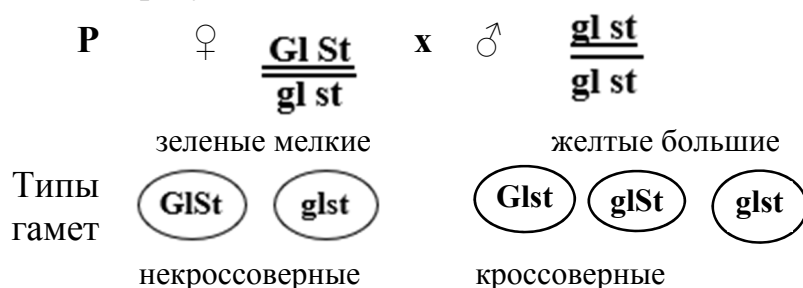
3. Определим генотипы и фенотипы гибридов F_1



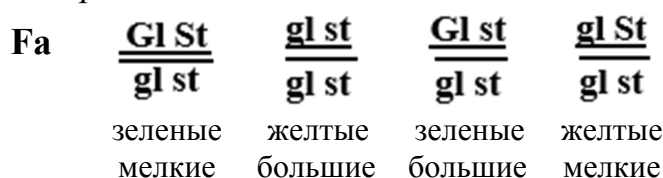
4. Запишем схему анализирующего скрещивания F_1



5. Определим типы гамет. Гибриды F_1 дигетерозиготны, следовательно, они образуют четыре типа гамет, растение линии-анализатора гомозиготно, оно образует один тип гамет.



6. Получаем гибриды F_2



7. Проанализируем скрещивание. При расщеплении в F_2 сформировались четыре генотипа (два кроссоверных и два некроссоверных) и четыре фенотипа (два кроссоверных и два некроссоверных). Всего в F_2 1452 растения, 258 кроссоверных. Вычислим % кроссинговера по формуле (2):

$$X = \frac{1452}{258} \times 100\% = 18\%.$$

Кроссоверные особи составили 18 %, по 9 % каждого класса. Некроссоверные особи составили 100 % – 18 % = 82 %, по 41 % каждого класса. Следовательно, в **Fa** произошло расщепление: 41 % растений с зелеными проростками и мелкими листьями, 41 % – с желтыми проростками и большими листьями, 9 % – с зелеными проростками и большими листьями, 9 % – с желтыми проростками и мелкими листьями.

Ответы:

1. Сколько типов гамет может образовать растение **F₁**? – Гибриды **F₁** образуют четыре типа гамет.
2. Какой процент некроссоверных растений будет среди растений **Fa**? – ≈ 82 % гибридов **Fa**.
3. Сколько генотипов может быть получено в **Fa**? – четыре генотипа.
4. Какой процент растений **Fa** могут дать нерасщепляющееся потомство? – ≈ 82 %.
5. Сколько растений **Fa** (в %) могут иметь желтые проростки и маленькие листья? – ≈ 9 %.

Задача 15. У яблони высокий рост **A** доминирует над карликовостью **a**, шаровидная форма плодов **B** доминирует над вытянутой формой плодов **b**. Гены сцеплены, т. е. они находятся в одной паре гомологичных хромосом. В результате сочетания указанных генов образуется разное количество гамет: кроссоверных образуется значительно меньше, чем некроссоверных. Расстояние между генами **A** и **B** составляет 3,6 % кроссинговера. Определите:

1) Какие гаметы и в каких % могут быть образованы от скрещивания дигетерозиготных растения яблони высокого роста и шарообразной формой плодов?

2) Какие гибриды будут получены при скрещивании растения яблони высокого роста с шарообразной формой с растением, гомозиготным по 1-му признаку и гетерозиготным по 2-му признаку?

1. *Определим генотипы скрещиваемых родительских особей.*

Гены находятся в цис-положении.

AB
ab

Генотип дигетерозиготного растения:

Генотип растения, гомозиготного по первому признаку и гетерозиготного по второму признаку:

aB
ab

2. Запишем условия задачи

Дано:

A – высокий рост

a – карликовость

B – шаровидные плоды

b – вытянутые плоды

A/B – 3,6% кроссинговера

Р ♀ $\frac{\underline{\underline{AB}}}{ab}$ x ♂ $\frac{\underline{\underline{aB}}}{ab}$
 высокие шаровид. карлик. вытянут.

Гаметы ♀, F₁ – ?

Решение:

3. Запишем схему скрещивания родительских особей.

Р ♀ $\frac{\underline{\underline{AB}}}{ab}$ x ♂ $\frac{\underline{\underline{aB}}}{ab}$
 высокие шаровид. карлик. вытянут.

4. Определим гаметы ♀. Дигетерозиготная особь образует четыре типа гамет:

$\frac{\underline{\underline{AB}}}{ab}$ $\frac{\underline{\underline{aB}}}{ab}$ $\frac{\underline{\underline{Ab}}}{ab}$ $\frac{\underline{\underline{aB}}}{ab}$

Гаметы **AB** и **ab** – некроссоверные гаметы, гаметы **Ab** и **aB** – кроссоверные гаметы. Расстояние между генами **A/B** – 3,6 % кроссинговера. Следовательно, количество кроссинговерных гамет, формируемых растением, – 3,6 %, некроссоверных – 100 % – 3,6 % = 96,4 %.

Два типа кроссоверных гамет формируются поровну: 96,4 % : 2 = 48,2 % (48,2 % гамет **Ab** и 48,2 % гамет **aB**).

5. Запишем схему анализирующего скрещивания F₁

Р ♀ $\frac{\underline{\underline{AB}}}{ab}$ x ♂ $\frac{\underline{\underline{aB}}}{ab}$
 высокие шаровид. карлик. вытянут.

♀ \ ♂	aB	ab
AB	$\frac{\underline{\underline{AB}}}{aB}$ высокие шаровид.	$\frac{\underline{\underline{AB}}}{ab}$ высокие шаровид.
ab	$\frac{\underline{\underline{aB}}}{ab}$ карлик. шаровид.	$\frac{\underline{\underline{ab}}}{ab}$ карлик. вытянут.
Ab	$\frac{\underline{\underline{Ab}}}{aB}$ высокие шаровид.	$\frac{\underline{\underline{Ab}}}{ab}$ высокие вытянут.
aB	$\frac{\underline{\underline{aB}}}{aB}$ карлик. шаровид.	$\frac{\underline{\underline{aB}}}{ab}$ карлик. шаровид.

6. *Анализируем скрещивание.* В F_1 произошло расщепление, были образованы четыре фенотипических класса:

- 1 – высокий рост, шарообразные плоды;
- 2 – карликовый рост, вытянутые плоды;
- 3 – высокий рост, вытянутые плоды;
- 4 – карликовый рост, шарообразные плоды.

Ответы:

1) Растение формирует некроссоверные гаметы – **AB** и **ab** по 48,2 % каждого типа и кроссоверные гаметы – **Ab** и **aB** по 1,8 % каждого типа.

2) F_1 произошло расщепление, были образованы четыре фенотипических класса:

- 1 – высокий рост, шарообразные плоды;
- 2 – карликовый рост, вытянутые плоды;
- 3 – высокий рост, вытянутые плоды;
- 4 – карликовый рост, шарообразные плоды.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ГЕНАМИ О ПОРЯДКЕ ИХ РАСПОЛОЖЕНИЯ В ХРОМОСОМЕ

Генетическая карта хромосомы – схематическая иллюстрация предположительного расположения генов, входящих в одну группу сцепления.

Место расположения гена в группе сцепления определяется процентом кроссинговера или количеством кроссоверных особей, чем меньше процент кроссинговера или количество кроссоверных особей в **Га**, тем ближе гены расположены друг к другу.

Промежуток между генами равен либо сумме, либо разности значениям частоты кроссинговера. Например, гены в хромосоме располагаются в последовательности: **CDE**. Интервал между генами **C** и **E**: $C/E = C/D + D/E$, а интервал между генами **C** и **D**: $C/D = C/E - D/E$.

В случае одинарного кроссинговера с известным количеством кроссоверных особей интервал между генами можно рассчитать по формуле (2).

Однако иногда сумма или разность частот кроссинговера между конечными генами не равняется частоте одинарных кроссинговеров. Это происходит потому, что в хромосоме произошел двойной кроссинговер, но его сложно обнаружить. В таком случае используется ген маркер, расположенный между исследуемыми генами.

Например, при скрещивании растений, различающихся между собой по трем парам сцепленных генов (у одного растения проростки желтые (**m**), листья блестящие (**l**), разрезанные (**s**), у второго растения – зеленые проростки (**m**⁺), листья матовые (**l**⁺), цельнокрайние (**s**⁺)) получили результат, представленный в таблице ниже.

Фенотип потомков	Число растений	% Растений
Некроссоверные		
Проростки зеленые, листья матовые, цельнокрайние	170	–
Проростки желтые, листья блестящие, разрезанные	135	–
Всего	305	63
Кроссоверные		
Проростки желтые, листья блестящие, цельнокрайние	50	–
Проростки зеленые, листья блестящие, разрезанные	52	–
Всего	102	21
Проростки зеленые, листья матовые, разрезанные	38	–
Проростки желтые, листья блестящие, цельнокрайние	30	–
Всего	68	14
Проростки зеленые, листья блестящие, цельнокрайние	3	–
Проростки желтые, листья матовые, разрезанные	6	–
Всего	9	1,85
Итого	484	100

Проанализировав итоги скрещивания, можно сказать, что гены **m**, **l**, **s** размещаются в хромосоме таким образом:



Частота кроссинговера между генами **m** и **l**: $21 + 1,85 = 22,85\%$, между генами **l** и **s**: $14 + 1,85 = 15,85\%$. Предположительно, расстояние между генами **m** и **s**: $m/s = m/l + l/s = 22,85 + 15,85 = 38,7\%$. Но мы видим другие результаты. Частота одинарного кроссинговера между генами **m** и **s**: $21 + 14 = 35\%$. Разница между предположением и практическими результатами составила $3,7\%$. Это противоречие можно снять, предположив двойной кроссинговер между генами **m** и **s**. Чтобы рассчитать расстояние между генами в этом случае, необходимо сложить проценты одинарных кроссинговеров и прибавить удвоенный процент двойных кроссинговеров. В данном случае интервал между генами **m** и **s**: $21 + 14 + 1,85 \times 2 = 38,7\%$.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 16. Дигетерозиготное по генам **A** и **B** растение яблони (материнская форма) скрещено с рецессивной отцовской особью. Были получены гибриды: $43,5\% AaBb$; $6,5\% Aabb$; $6,5\% aaBB$; $43,5\% aabb$.

Определите:

- 1) в каком положении (цис- или транс-) находятся гены **A** и **B**.
- 2) расстояние между генами **A** и **B** в морганидах.

1. Сделаем краткую запись задачи

Дано:

P ♀ – дигетерозиготна

♂ – рецессивный по двум признакам

F₁: **AaBb** – $43,5\%$

Aabb – $6,5\%$

aaBB – $6,5\%$

aabb – $43,5\%$

1) Положение генов **A** и **B** в хромосоме – ?

2) Расстояние между генами **A** и **B** в морганидах – ?

Решение:

2. Определим расположение генов в хромосоме. Отцовская особь рецессивная по двум признакам, следовательно, образует один тип гамет. Материнская особь дигетерозиготна, следовательно, образует четыре типа гамет.

У гибридов отмечается расщепление: $43,5:6,5:6,5:43,5$.

По характеру расщепления можно сделать вывод, что гены **A** и **B** наследуются сцепленно. Часть гамет материнской особи содержат хромосомы, прошедшие кроссинговер. Некроссоверные гаметы материнской особи – **AB** и **ab**, кроссоверные – **Ab** и **aB**. Некроссоверных гамет всегда формируется больше, чем кроссоверных. $43,5\%$ гамет материнской особи содержат

гены **A** и **B**, 43,5 % – **a** и **b**. Следовательно, гены **A** и **B** расположены в одной хромосоме, а гены **a** и **b** – в другой хромосоме той же пары, следовательно, гены находятся в цис-положении.

3. *Определим расстояние между генами А и В, поскольку расстояние между генами равняется количеству гамет, подвергшихся кроссинговеру.* $13,5 \% + 13,5 \% = 13 \%$, следовательно, расстояние между генами А и В равно 13 % (морганид).

Ответ:

- 1) гены **A** и **B** пребывают в цис-положении;
- 2) расстояние между генами **A** и **B** составляет 13 морганид.

Задача 17. Составьте карту хромосомы, содержащую гены **Е, F, G, H, I**, если частота кроссинговера между генами **G** и **I** – 11 %, **G** и **Е** – 2 %, **Е** и **I** – 8 %, **F** и **I** – 5 %, **Е** и **F** – 3 %, **F** и **H** – 2 %, **I** и **H** – 5 %.

Дано:

G/I – 10 %, **E/F** – 3 %, **D/C** – 1 %.

G/E - 1 %, F/H - 2 %, I/J - 3 %, K/L - 4 %, M/N - 5 %, O/P - 6 %, Q/R - 7 %, S/T - 8 %, U/V - 9 %, W/X - 10 %, Y/Z - 11 %, AA - 12 %, AB - 13 %, AC - 14 %, AD - 15 %, AE - 16 %, AF - 17 %, AG - 18 %, AH - 19 %, AI - 20 %, AJ - 21 %, AK - 22 %, AL - 23 %, AM - 24 %, AN - 25 %, AO - 26 %, AP - 27 %, AQ - 28 %, AR - 29 %, AS - 30 %, AT - 31 %, AU - 32 %, AV - 33 %, AW - 34 %, AX - 35 %, AY - 36 %, AZ - 37 %, BA - 38 %, BB - 39 %, BC - 40 %, BD - 41 %, BE - 42 %, BF - 43 %, BG - 44 %, BH - 45 %, BI - 46 %, BJ - 47 %, BK - 48 %, BL - 49 %, BM - 50 %, BN - 51 %, BO - 52 %, BP - 53 %, BQ - 54 %, BR - 55 %, BS - 56 %, BT - 57 %, BU - 58 %, BV - 59 %, BW - 60 %, BX - 61 %, BY - 62 %, BZ - 63 %, CA - 64 %, CB - 65 %, CC - 66 %, CD - 67 %, CE - 68 %, CF - 69 %, CG - 70 %, CH - 71 %, CI - 72 %, CJ - 73 %, CK - 74 %, CL - 75 %, CM - 76 %, CN - 77 %, CO - 78 %, CP - 79 %, CQ - 80 %, CR - 81 %, CS - 82 %, CT - 83 %, CU - 84 %, CV - 85 %, CW - 86 %, CX - 87 %, CY - 88 %, CZ - 89 %, DA - 90 %, DB - 91 %, DC - 92 %, DD - 93 %, DE - 94 %, DF - 95 %, DG - 96 %, DH - 97 %, DI - 98 %, DJ - 99 %, DK - 100 %, DL - 101 %, DM - 102 %, DN - 103 %, DO - 104 %, DP - 105 %, DQ - 106 %, DR - 107 %, DS - 108 %, DT - 109 %, DU - 110 %, DV - 111 %, DW - 112 %, DX - 113 %, DY - 114 %, DZ - 115 %, EA - 116 %, EB - 117 %, EC - 118 %, ED - 119 %, EE - 120 %, EF - 121 %, EG - 122 %, EH - 123 %, EI - 124 %, EJ - 125 %, EK - 126 %, EL - 127 %, EM - 128 %, EN - 129 %, EO - 130 %, EP - 131 %, EQ - 132 %, ER - 133 %, ES - 134 %, ET - 135 %, EU - 136 %, EV - 137 %, EW - 138 %, EX - 139 %, EY - 140 %, EZ - 141 %, FA - 142 %, FB - 143 %, FC - 144 %, FD - 145 %, FE - 146 %, FF - 147 %, FG - 148 %, FH - 149 %, FI - 150 %, FJ - 151 %, FK - 152 %, FL - 153 %, FM - 154 %, FN - 155 %, FO - 156 %, FP - 157 %, FQ - 158 %, FR - 159 %, FS - 160 %, FT - 161 %, FU - 162 %, FV - 163 %, FW - 164 %, FX - 165 %, FY - 166 %, FZ - 167 %, GA - 168 %, GB - 169 %, GC - 170 %, GD - 171 %, GE - 172 %, GF - 173 %, GG - 174 %, GH - 175 %, GI - 176 %, GJ - 177 %, GK - 178 %, GL - 179 %, GM - 180 %, GN - 181 %, GO - 182 %, GP - 183 %, GQ - 184 %, GR - 185 %, GS - 186 %, GT - 187 %, GU - 188 %, GV - 189 %, GW - 190 %, GX - 191 %, GY - 192 %, GZ - 193 %, HA - 194 %, HB - 195 %, HC - 196 %, HD - 197 %, HE - 198 %, HF - 199 %, HG - 200 %, HH - 201 %, HI - 202 %, HJ - 203 %, HK - 204 %, HL - 205 %, HM - 206 %, HN - 207 %, HO - 208 %, HP - 209 %, HQ - 210 %, HR - 211 %, HS - 212 %, HT - 213 %, HU - 214 %, HV - 215 %, HW - 216 %, HX - 217 %, HY - 218 %, HZ - 219 %, IA - 220 %, IB - 221 %, IC - 222 %, ID - 223 %, IE - 224 %, IF - 225 %, IG - 226 %, IH - 227 %, II - 228 %, IJ - 229 %, IK - 230 %, IL - 231 %, IM - 232 %, IN - 233 %, IO - 234 %, IP - 235 %, IQ - 236 %, IR - 237 %, IS - 238 %, IT - 239 %, IU - 240 %, IV - 241 %, IW - 242 %, IX - 243 %, IY - 244 %, IZ - 245 %, JA - 246 %, JB - 247 %, JC - 248 %, JD - 249 %, JE - 250 %, JF - 251 %, JG - 252 %, JH - 253 %, JI - 254 %, JJ - 255 %, JK - 256 %, JL - 257 %, JM - 258 %, JN - 259 %, JO - 260 %, JP - 261 %, JQ - 262 %, JR - 263 %, JS - 264 %, JT - 265 %, JU - 266 %, JV - 267 %, JW - 268 %, JX - 269 %, JY - 270 %, JZ - 271 %, KA - 272 %, KB - 273 %, KC - 274 %, KD - 275 %, KE - 276 %, KF - 277 %, KG - 278 %, KH - 279 %, KI - 280 %, KJ - 281 %, KK - 282 %, KL - 283 %, KM - 284 %, KN - 285 %, KO - 286 %, KP - 287 %, KQ - 288 %, KR - 289 %, KS - 290 %, KT - 291 %, KU - 292 %, KV - 293 %, KW - 294 %, KX - 295 %, KY - 296 %, KZ - 297 %, LA - 298 %, LB - 299 %, LC - 300 %, LD - 301 %, LE - 302 %, LF - 303 %, LG - 304 %, LH - 305 %, LI - 306 %, LJ - 307 %, LK - 308 %, LL - 309 %, LM - 310 %, LN - 311 %, LO - 312 %, LP - 313 %, LQ - 314 %, LR - 315 %, LS - 316 %, LT - 317 %, LU - 318 %, LV - 319 %, LW - 320 %, LX - 321 %, LY - 322 %, LZ - 323 %, MA - 324 %, MB - 325 %, MC - 326 %, MD - 327 %, ME - 328 %, MF - 329 %, MG - 330 %, MH - 331 %, MI - 332 %, MJ - 333 %, MK - 334 %, ML - 335 %, MM - 336 %, MN - 337 %, MO - 338 %, MP - 339 %, MQ - 340 %, MR - 341 %, MS - 342 %, MT - 343 %, MU - 344 %, MV - 345 %, MW - 346 %, MX - 347 %, MY - 348 %, MZ - 349 %, NA - 350 %, NB - 351 %, NC - 352 %, ND - 353 %, NE - 354 %, NF - 355 %, NG - 356 %, NH - 357 %, NI - 358 %, NJ - 359 %, NK - 360 %, NL - 361 %, NM - 362 %, NN - 363 %, NO - 364 %, NP - 365 %, NQ - 366 %, NR - 367 %, NS - 368 %, NT - 369 %, NU - 370 %, NV - 371 %, NW - 372 %, NX - 373 %, NY - 374 %, NZ - 375 %, OA - 376 %, OB - 377 %, OC - 378

E/I – 9 %, I/H – 4 %.

F/I - 6 %,

Карта хромосомы – ?

Решение:

1. Определим концевые гены в хромосоме, нанесем их на карту. Наибольшая частота

A horizontal number line with 11 tick marks. The first tick mark is labeled 'G' and the last tick mark is labeled 'I'.

кроссинговера наблюдается между генами, находящимися на противоположных концах.

2. Проанализируем условия и найдем расположение других генов. Ген **E** находится на расстоянии 1 % кроссинговера от **G**, а от гена **I** – на расстоянии 9 %. Следовательно, он расположен между генами **G** и **I**.

G E I

3. Ген **F** расположен на расстоянии 3 % кроссинговера от гена **E** и 6 % от гена **I**, следовательно, он находится между ними.

A number line from 0 to 10 with tick marks at every integer. The points G, E, F, and I are marked above the line. G is at 1, E is at 2, F is at 5, and I is at 10.

4. Ген **Н** расположен на расстоянии 2 % от гена **Г** и в 4 % от гена **І**.

G E F H I

Ответ: карта хромосомы – 

Задача 18. Растение сосны обыкновенной, гетерозиготное по трем парам генов, скрестили с растением сосны с рецессивными аллелями этих генов. Получено следующее расщепление гибридов:

$K_L_M_ - 120$, $kkllM_ - 65$, $kkllmm - 100$,
 $K_L_mm - 10$, $K_llM_ - 15$, $kkL_mm - 20$,

Определите последовательность расположения этих генов в хромосоме, интервал между ними в % кроссинговера.

Дано:

$K_L_M_ - 120$,
 $kkllM_ - 65$,
 $kkllmm - 100$,
 $K_L_mm - 10$,
 $K_llM_ - 15$,
 $kkL_mm - 20$

Порядок расположения генов в хромосоме. Расстояние между ними?

Решение:

1. *Определим кроссоверные и не-кроссоверные особи.* Кроссоверных особей всегда образуется меньше, чем некроссоверных. Следовательно, некроссоверные являются особи с генотипами: $K_L_M_ (120)$, $kkllmm (100)$. Остальные особи являются кроссоверными.
 2. *Определим между какими генами произошел кроссинговер.*

У особей с генотипами kkL_mm и $K_llM_$ осуществился кроссинговер между генами K и L (кроссоверы I), у особей с генотипами K_L_mm , $kkllM_$ кроссинговер произошел между генами L и M (кроссоверы II).

3. *Для определения частоты кроссинговера применим формулу (2)*

Частота кроссинговера между

$$K/L = \frac{20 + 15}{330} \times 100\% = 10,6\%$$

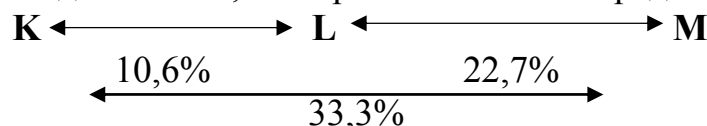
Частота кроссинговера между

$$L/M = \frac{10 + 65}{330} \times 100\% = 22,7\%$$

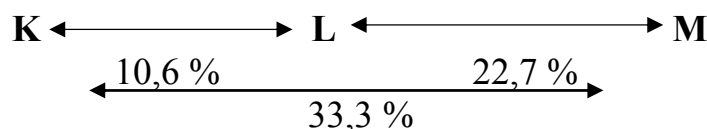
Частота кроссинговера между

$$K/M = \frac{20+15+10+65}{330} \times 100\% = 33,3\%$$

4. *Определим порядок нахождения генов.* Самое большое расстояние между генами K и M , следовательно, эти гены являются крайними. Ген L расположен между ними, т. к. $K/L + L/M + K/M = (10,6 + 22,7 = 33,3)$. Следовательно, гены расположены в порядке KLM .



Ответ: очередность расположения генов и расстояние между ними:



ЗАДАЧИ ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ГЕНЕТИКЕ

Молекулярная генетика является подразделом генетики, изучающей структуру и функционирование генов на молекулярном уровне. Объектом исследований является геном. В данном случае под геномом понимается содержание ДНК в гаплоидном или диплоидном наборе хромосом.

ДНК – полинуклеотид, состоящий из сахара (дезоксирибозы), остатка фосфорной кислоты и одного азотистого основания. Всего азотистых оснований четыре: (А) – аденин, (Г) – гуанин (пуриновой группа), (Ц) – цитозин, (Т) – тимин (пиримидиновая группа), следовательно, нуклеотидов тоже четыре: адениновый, гуаниновый, цитозиновый, тиминовый.

Молекула ДНК представляет собой макромолекулу, состоящую из двух нуклеотидовых цепей. Азотистые основания одной цепи соединены с азотистыми основаниями другой цепи водородными связями. Азотистые основания соединены между собой по принципу комплементарности (А = Т; Г = Ц). Тимин и аденин соединяет двойная водородная связь, цитозин и гуанин соединены тройной водородной связью. В рамках пуриновой группы количество гуанина и аденина может колебаться, точно так же, как и в рамках пиримидиновой группы колеблется количество цитозина и тиамина. В составе любой цепи возможна любая очередность пар оснований, в молекуле ДНК число различных последовательностей неограниченно и может кодировать огромный объем информации.

Ширина двойной спирали – 1,7 нм, 10 пар оснований составляют 1 виток, длина витка – 3,4 нм, расстояние между нуклеотидами – 0,34 нм.

Синтез ДНК бывает двух видов: репликативный (нормальный) и репаративный (после мутации).

Правила репликации:

1. Комплементарность – соответствие (А-Т, Г-Ц);
2. Полуконсервативность – матрицей для репликации является одна из двух цепей материнской молекулы;
3. Антипараллельность – цепи анти-направлены: смысловая – 5' → 3', структурная – 3' → 5';
4. Прерывистость – фермент ДНК-полимераза движется только от 5' к 3'-концу, следовательно, по смысловой цепи фермент перемещается постоянно – лидирующая цепь, на цепи 3' → 5' синтез происходит нерегулярно – участками Оказаки.

В воплощении генетической информации участвуют различные типы РНК-полинуклеотид, состоящий из мономеров – нуклеотидов. В состав РНК входят три азотистых основания – аденин, гуанин, цитозин, тимин заменен на урацил, дезоксирибоза заменена на рибозу. РНК является одноцепочечной макромолекулой, исключение составляют ряд вирусов. Названия РНК зависят от функции, которую выполняют, или от расположения в клетке (и-РНК – информационная РНК, м-РНК матричная РНК).

Генетический код представляет собой систему записи сведений о очередности расположения аминокислот в белках. Генетическая информация выполняется согласно программе, записанной генетическим кодом (рис. 5)



Рис. 5. Генетический код

Свойства генетического кода:

1. Триплетность. Три нуклеотида (триплет) кодирует аминокислоту.
2. Вырожденность (избыточность). Одну аминокислоту могут кодировать несколько триплетов, кроме триптофана и метионина.
3. Специфичность. Один триплет кодирует одну аминокислоту.
4. Неперекрываемость. Кодоны не перекрывают друг друга при считывании.
5. Однонаправленность. Кодоны поочередно прочитываются в направлении от 5'-конца к 3'-концу.
6. Универсальность. Вся генетическая информация кодируется одинаков (исключение – митохондриальная ДНК).

Клеточный синтез белков состоит из следующих этапов:

1. Транскрипция (ДНК → и-РНК)
2. Трансляция (и-РНК → белок).

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 19. Участок молекулы белка содержит аминокислоты в порядке: -лизин-серин-валин-лейцин-тирозин-. Запишите структуру участка ДНК кодирующего, заданную последовательность аминокислот.

<u>Дано:</u> -лиз-сер-вал-лей-тир- Структура ДНК – ?	<u>Решение:</u> <i>1. Используя таблицу генетического кода, определим структуру и-РНК:</i> -А-А-А-У-Ц-У-Г-У-Ц-Ц-У-У-У-А -У-и-РНК <i>2. Применим принцип комплементарности (А-У, Г-Ц) и выявим структуру участка ДНК, закодированную заданной последовательностью.</i> -Т-Т- Т- А- Г-А-Ц-А-Г-Г-А- А-А- Т - А- -А-А-А -Т-Ц-Т- Г-Т- Ц-Ц-Т- Т-Т- А- Т -
--	--

Ответ: структура участка ДНК: -А-А-А-Т-Ц-Т-Г-Т-Ц-Ц-Т-Т-Т-А-Т.

Задача 20. Участок гена, кодирующего белок, состоит из нуклеотидов: -Г-А-Ц-А-А-Ц-Т-Ц-А-Ц-Т-А-Ц-А-А-Т-А-Ц-Ц-Г-А-. Определите состав и очередность аминокислот в полипептидной цепи на этом участке гена.

<u>Дано:</u> Г-А-Ц-А-А-Ц-Т-Ц-А-Ц-Т-А-Ц-А- А-Т-А-Ц-Ц-Г-А Состав и последовательность аминокислот – ?	<u>Решение:</u> <i>1. Опираясь на принцип комплементарности, построим участок молекулы и-РНК.</i> Ц-У-Г-У-У-Г-А-Г-У-Г-А-У-Г-У-У-А-У-Г-Г-Ц-У
---	---

2. Применив таблицу генетического кода, выясним структуру белка: лейцин, лейцин, серин, аспаргановая кислота, валин, метионин, аланин.

Ответ: участок гена содержит аминокислоты в следующего состава в порядке – лейцин, лейцин, серин, аспаргановая кислота, валин, метионин, аланин.

Задача 21. Сколько нуклеотидов содержит ген (две цепи ДНК), который программирует белок из 45 аминокислот?

<u>Дано:</u> Белок – 45 аминокислот Количество нуклеотидов – ?	<u>Решение:</u> Одна аминокислота кодируется триплетом ДНК
--	---

1. Рассчитаем количество нуклеотидов в 1 цепи ДНК:

$$45 \times 3 = 135 \text{ нуклеотидов.}$$

2. Рассчитаем, сколько нуклеотидов содержатся в двух цепях ДНК:

$$135 \times 2 = 270 \text{ нуклеотидов.}$$

Ответ: ген содержит 270 нуклеотидов.

Задача 22. Одна цепь ДНК характеризуется молекулярной массой 30015. Рассчитайте количество мономеров белка, закодированного в этой ДНК.

Дано:

$m_{\text{ДНК}} - 30015$

Количество мономеров белка – ?

Решение:

Молекулярная масса одного нуклеотида равняется 345.

1. Рассчитаем количество нуклеотидов:

$$30015 : 345 = 87 \text{ нуклеотидов.}$$

2. Рассчитаем количество мономеров белка:

$$87 : 3 = 27 \text{ триплетов ДНК.}$$

Ответ: количество мономеров составило 27.

Задача 23. Молекулярные массы четырех белков составили: а) 2000; б) 5200; в) 6800. Рассчитайте длины соответствующих генов.

Дано:

$m_1 - 2000$

$m_2 - 5200$

$m_3 - 6800$

Длина генов – ?

Решение:

Молекулярная масса одной аминокислоты составляет приблизительно 100. Расстояние между нуклеотидами – 0,34 нм.

а) $2000 : 100 = 20$ аминокислот

$$20 \times 3 = 60 \text{ нуклеотидов}$$

$$60 \times 0,34 = 20,4 \text{ нм.}$$

б) $5200 : 100 = 52$ аминокислоты

$$52 \times 3 = 156 \text{ нуклеотидов}$$

$$156 \times 0,34 = 53,04 \text{ нм.}$$

в) $6800 : 100 = 68$ аминокислоты

$$68 \times 3 = 204 \text{ нуклеотида}$$

$$204 \times 0,34 = 69,36 \text{ нм.}$$

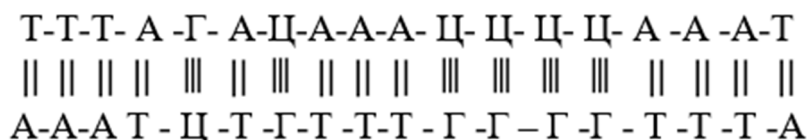
Ответ: длины соответствующих генов равняются: а) 20,4 нм; б) 53,04 нм; в) 69,36 нм.

Задача 24. Аминокислоты – лизин-серин-валин-триптофан-глицин-лейцин – составляют полипептид. Рассчитайте структуру участка ДНК, кодирующего эту полипептидную цепь, его массу, длину.

<u>Дано:</u> лизин-серин-валин-триптофан-глицин-лейцин	<u>Решение:</u> 1. Применим генетический код и запишем структуру и-РНК: -А-А-А-У-Ц-У-Г-У-У-У-Г-Г-Г-Г-У-У-У-А-
Структура ДНК – ? m ДНК – ? l ДНК – ?	2. Опираясь на принцип комплементарности (А-У, Ц-Г), запишем кодирующую цепь

ДНК и достроим неcodирующую цепь ДНК:

2. Применим принцип комплементарности (А-У, Г-Ц) и выявим структуру участка ДНК, закодированную заданной последовательностью.



3. Рассчитаем массу участка ДНК: $345 \times 18 \times 2 = 12420$.

4. Рассчитаем длину участка ДНК: $0,34 \times 18 = 6,12$ нм.

Ответ: участок ДНК, кодирующий полипептид: Т-Т-Т-А-Г-А-Ц-А-А-А-Ц-Ц-Ц-Ц-А-А-А-Т. Масса ДНК составляет 12420, длина ДНК – 6,12 нм.

Задача 25. Участок молекулы ДНК состоит 4696 нуклеотидов, из них 849 нуклеотидов – адениновые. Сколько других нуклеотидов содержится в этом участке ДНК? Рассчитайте массу и длину этого участка ДНК.

<u>Дано:</u> ДНК – 4696 А – 849 m нуклеотида – 34	<u>Решение:</u> 1. Опираясь на принцип комплементарности, можно рассчитать количество Т. $A = T \rightarrow A - 840 \rightarrow T - 840$.
Т – ? Г – ? Ц – ? m ДНК – ? l ДНК – ?	2. Рассчитаем количество Г и Ц. $G = C = 4696 - (840 + 840) = 3016$
3. Рассчитаем количество Г и Ц. $3016 : 2 = 1508$ А – 840 Т – 840 Г – 1508 Ц – 1508	
4. Рассчитаем массу и длину ДНК. m ДНК – $4696 \times 345 = 1620120$. l ДНК – $2348 \times 0,34 = 798,32$ нм.	

Ответ: А – 840, Т – 840, Г – 1508, Ц – 1508;
 m ДНК – 1620120; l ДНК – 798,32 нм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гончаров, О. В. Генетика. Задачи / О. В. Гончаров. – Саратов : Лицей, 2005. – 352 с.
2. Маленко, А. А. Практикум по лесной генетике : учебное пособие / А. А. Маленко, Н. Ю. Давыдова, Э. Ю. Луцаев. – Барнаул : Изд-во Алтайского ГАУ, 2020. – 200 с.
3. Царев, А. П. Генетика лесных древесных растений : учебник / А. П. Царев, С. П. Погиба, Н. В. Лаур. – Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. – 381 с.

Для заметок