

## РАЗДЕЛ V

### СЦЕПЛЕНИЕ ГЕНОВ

#### ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

Сцепление генов было открыто в 1911-12 гг. Т. Морганом и его сотрудниками. Объектом исследования была муха-дрозофила.

При скрещивании гомозиготных особей с серым телом и нормальными крыльями с особями с черным телом и короткими крыльями получено единообразие гибридов первого поколения, особи которого имели доминантные признаки:

$$\begin{array}{l} P. \quad \quad \quad BBVV \quad \quad \quad \times \quad \quad \quad bbvv \\ \quad \quad \quad \text{серые с нормальными} \quad \quad \quad \text{черные с короткими крыль-} \\ \quad \quad \quad \text{крыльями} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{ями} \\ G. \quad \quad \quad \textcircled{BV} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \textcircled{bv} \\ F_1. \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad BbVv \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{серые с нормальными крыльями} - 100\% \end{array}$$

Для выяснения генотипа гибридов I поколения проведено анализирующее скрещивание (рецессивная гомозиготная самка и дигетерозиготный самец):

$$\begin{array}{l} P. \quad \quad \quad bbvv \quad \times \quad BbVv \\ \text{При} \quad \quad \quad F_1. \quad \quad \quad bbvv \quad \quad \quad BbVv \quad \quad \quad \text{свободном комбинировании генов,} \\ \text{согласно} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{третьего закона Менделя, в} \\ \text{поколении} \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{должны были бы появиться мухи} \end{array}$$

четырёх разных фенотипов поровну (по 25%), а получены особи двух фенотипов по 50% с признаками родителей. Морган пришел к выводу, что гены, детерминирующие цвет тела и длину крыльев локализованы в одной хромосоме и передаются вместе, т. е. сцепленно. Объяснить это явление можно следующим: одна из пары гомологичных хромосом содержит 2 доминантных гена ( $BV$ ), а другая - 2 рецессивных ( $bv$ ). В процессе мейоза хромосома с генами  $BV$  попадет в одну гамету, а с генами  $bv$  - в другую. Таким образом, у дигетерозиготного организма образуется не четыре, а только два типа гамет, и потомки будут иметь такое же сочетание признаков, как и родители. В данном случае сцепление будет **полным**, так как кроссинговер не происходит.

При дальнейшем анализе сцепления генов было обнаружено, что в некоторых случаях оно может нарушаться. При скрещивании дигетерозиготной самки дрозофилы с рецессивным самцом получен следующий результат:

$$\begin{array}{l}
 P. \quad BbVv \quad \times \quad bbvv \\
 \\
 F_1. \quad BbVv; \quad Bbv; \quad bbVv; \quad bbvv \\
 \qquad 41,5\% \quad 8,5\% \quad 8,5\% \quad 41,5\%
 \end{array}$$

Получено 4 типа потомков - 41,5% с серым телом и длинными крыльями, 41,5% с черным телом и короткими крыльями и по 8,5% мух с серым телом и короткими крыльями и с черным телом и длинными крыльями.

Появление в потомстве гибридных особей говорит о том, что сцепление генов у самки **неполное**. Это можно объяснить явлением **кроссинговера**, который заключается в обмене участками хроматид гомологичных хромосом в профазе мейоза I.

В отличие от свободного комбинирования, процентное соотношение четырех типов гамет будет неравным, так как кроссинговер происходит не всегда.

Частота кроссинговера зависит от **расстояния и силы сцепления между генами**: чем больше расстояние, тем меньше силы сцепления и тем чаще происходит кроссинговер.

Единица расстояния между генами названа в честь Моргана **морганидой**; она соответствует **1% кроссинговера**.

Кроссинговер происходит у большинства растений и животных за исключением самца мухи дрозофилы и самки тутового шелкопряда.

Для того чтобы показать, что гены В и V расположены в разных хромосомах, применяют хромосомную запись генотипов:

$B \quad V$

$= \quad =$  (две параллельные черточки - это условное обозначение пары гомологичных хромосом).

Запись:

$BV$

$=$  показывает, что гены В и V находятся в одной хромосоме, а их  $bv$  рецессивные аллели в другой, гомологичной.

Гены, локализованные в одной хромосоме, обычно передаются вместе и составляют одну **группу сцепления**. Так как в гомологичных хромосомах локализованы аллельные гены, то группу сцепления составляют две гомологичные хромосомы, и **количество групп сцепления** соответствует количеству пар хромосом (их гаплоидному числу). Так, у мухи дрозофилы 8 хромосом - 4 группы сцепления, у человека 46 хромосом - 23 группы сцепления.

Если при образовании гамет не происходит кроссинговер, то все гаметы называются **некроссоверными**. Если при образовании гамет происходит кроссинговер, то гаметы, называются **кроссоверными**; их обычно меньше, а некроссоверных гамет - больше.

### **Основные положения хромосомной теории наследственности.**

1. Гены расположены в хромосомах линейно в определенных локусах (участках). Аллельные гены занимают одинаковые локусы в гомологичных хромосомах.

2. Гены одной хромосомы образуют группу сцепления. Число групп сцепления равно гаплоидному набору хромосом.

3. Между гомологичными хромосомами возможен обмен аллельными генами (кроссинговер).

4. Расстояние между генами пропорционально проценту кроссинговера между ними и выражается в морганидах (1 морганида равна 1% кроссинговера).

Зная расстояние между генами, можно картировать хромосомы. **Генетическая карта хромосомы** представляет собой отрезок прямой, на котором обозначен порядок расположения генов и указано расстояние между ними в морганидах.

**Цитологическая карта хромосомы** - отражение ее морфологической структуры. Это или фотография или точный рисунок хромосомы, на котором отмечается последовательность расположения генов. Ее строят на основе сопоставления результатов анализирующего скрещивания и хромосомных перестроек.

### РЕШЕНИЕ ТИПОВЫХ ЗАДАЧ

**Задача 1.** Сколько и какие типы гамет образуются:

а) у женщины с генотипом:

$$\frac{AB}{ab} \frac{D}{d}$$

б) у мужчины с генотипом:

$$\frac{AB}{Ab} \frac{V}{v}$$

**Ответ.** а)  $\frac{AB}{ab} \frac{D}{d}$   $\frac{a b d}{ab d}$   $\frac{AB d}{AB d}$   $\frac{ab D}{ab D}$  - некриссоверные;

$\frac{Ab D}{Ab D}$   $\frac{aB d}{aB d}$   $\frac{aB d}{aB d}$   $\frac{Ab D}{Ab D}$  - кривоверные.

б)  $\frac{AB V}{AB V}$   $\frac{AB v}{AB v}$   $\frac{Ab V}{Ab V}$   $\frac{Ab v}{Ab v}$  (некриссоверные и кривоверные гаметы идентичны).

**Задача 2.** У дрозофилы во второй хромосоме в локусе 48,5 находится рецессивный ген, детерминирующий черный цвет тела, а в локусе 54,5 – рецессивный ген, обуславливающий пурпурный цвет глаз (Н. Н. Медведев, 1968). Сколько типов гамет, и в каком процентном соотношении образуется у дигетерозиготной самки с серым цветом тела и коричневым цветом глаз?

**Решение.** По условию задачи можно определить, что расстояние между генами равно 6 морганид (54,5 - 48,5). У дигетерозиготной самки дрозофилы при мейозе образуется четыре типа гамет, причем на кривоверные гаметы будет приходится 6% (по 3% на каждый тип), так как расстояние между генами в хромосоме прямо пропорционально проценту кривоверга и проценту кривоверных гамет. На некривоверные гаметы будет приходится 94% (по 47% на каждый тип).

**Задача 3.** Гены, влияющие на синтез белка резус-антигена и форму эритроцитов, находятся в одной аутосоме на расстоянии 3 морганиды. Женщина, отец которой был резус-отрицательным, но имел эллиптические эритроциты (доминантный признак), а мать резус-положительная, с нормальными эритроцитами, имеет эллиптические эритроциты и резус-положительная. Ее

муж резус-отрицательный, с нормальными эритроцитами. Определите вероятность рождения ребенка:

- а) резус-положительного с нормальными эритроцитами;
- б) резус-положительного с эллиптическими эритроцитами;
- в) резус-отрицательного с эллиптическими эритроцитами;
- г) резус-отрицательного с нормальными эритроцитами.

**Решение.** Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип	Локализация гена
Резус - положительная кровь	<i>D</i>	<i>D-</i>	одна аутосома; расстояние $D - El = 3$ морганиды
Эллиптоцитоз	<i>El</i>	<i>El-</i>	
Резус - отрицательная кровь	<i>d</i>	<i>dd</i>	
Обычная форма эритроцитов	<i>el</i>	<i>el</i>	

1. Определяем генотип женщины по фенотипу её родителей - она гетерозиготна по генам эллиптоцитоза и наличию резус-фактора:

$$\begin{array}{c} dEl \\ == \\ Del \end{array}$$

2). Определяем генотип мужа - он гомозиготен по рецессивным аллелям *d* и *el*: *del*

$$\begin{array}{c} == \\ del \end{array}$$

3). Записываем схему брака.

$$\begin{array}{ccc} P. & Del & x & del \\ & == & & == \\ & dEl & & del \end{array}$$

G. D el - некроссоверная

d el

d El - некроссоверная

D El - кроссоверная

d el - кроссоверная

$$\begin{array}{cccc} F_1. & Del & dEl & DEL & del \\ & == & == & == & == \\ & del & del & del & del \end{array}$$

4) Вычисляем процент кроссоверных и некроссоверных гамет. Кроссоверные - 3% (по 1,5%), так как расстояние между генами - 3 морганиды, некроссоверные - 97% (по 48,5%).

5). Каждая гамета может получить только одну из гомологичных хромосом. Вероятность образования у женщины гамет с генами *Del* - 48,5%, *dEl* - 48,5%, *DEl* - 1,5%, *del* - 1,5%. У мужа гаметы однотипны - *del*.

б). Определяем вероятность рождения детей с указанными в условии задачи сочетаниями признаков. Она зависит от вероятности слияния гамет разных типов: а) 48,5%; б) 1,5%; в) 48,5%; г) 1,5%.

**Задача 5.** У дрозофилы ген *B* детерминирует серый цвет тела, а ген *V* – определяет развитие длинных крыльев. Рецессивные аллели этих генов *b* и *v* обуславливают черный цвет тела и короткие крылья. Эти гены расположены в одной паре аутосом на расстоянии 17 морганид. Скрещены две мухи, у которых в одной хромосоме находились оба доминантных гена, а во второй - два рецессивных гена. Определите вероятность появления потомков, фенотипически отличающихся от родителей.

**Решение.** Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип	Локализация гена
Серый цвет тела	<i>B</i>	<i>B-</i>	} одна аутосома; расстояние <i>B - V</i> = 17 морганид
Длинные крылья	<i>V</i>	<i>V</i>	
Черный цвет тела	<i>b</i>	<i>bb</i>	
Короткие крылья	<i>v</i>	<i>vv</i>	

Как известно, у дигетерозиготной самки дрозофилы при мейозе образуется четыре типа гамет, причем на кроссоверные гаметы будет приходиться 17% (по 8,5% на каждый тип), так как расстояние между генами в хромосоме прямо пропорционально проценту кроссинговера и проценту кроссоверных гамет. На некроссоверные гаметы будет приходиться 83% (по 41,5% на каждый тип). У самца дрозофилы образуется только два типа некроссоверных гамет (по 50% соответственно), так как у них не происходит кроссинговера.

Записываем схему скрещивания:

$$\begin{array}{rcccl}
 P. & BV & & \times & BV \\
 & == & & & == \\
 & bv & & & bv
 \end{array}$$

G.  $\text{BV}$  - некроссоверная (41,5%)       $\text{BV}$  - некроссоверная (50%)  
 $\text{bv}$  - некроссоверная (41,5%)       $\text{bv}$  - некроссоверная (50%)  
 $\text{Bv}$  - кроссоверная (8,5%)  
 $\text{bV}$  - кроссоверная (8,5%)

$F_1$ .  $\text{BV}$      $\text{bv}$      $\text{Bv}$      $\text{bV}$      $\text{BV}$      $\text{bv}$      $\text{Bv}$      $\text{bV}$   
 $\text{==}$ ;     $\text{==}$ ;     $\text{==}$ ;     $\text{==}$ ;     $\text{==}$ ;     $\text{==}$ ;     $\text{==}$ ;     $\text{==}$ .  
 $\text{bv}$      $\text{bv}$      $\text{bv}$      $\text{bv}$      $\text{BV}$      $\text{BV}$      $\text{BV}$      $\text{BV}$

20,75%; 20,75%; 4,25%; 4,25%; 20,75%; 20,75%; 4,25%; 4,25%.

В первом поколении образовались мухи четырех фенотипических классов: серые длиннокрылые -  $20,75\%+20,75\%+20,75\%+4,25\%+4,25\%=70,75\%$ ; черные короткокрылые -  $20,75\%$ ; серые короткокрылые -  $4,25\%$ ; черные длиннокрылые -  $4,25\%$ . Таким образом, суммарная вероятность возникновения потомков, фенотипически отличающихся от родителей, составляет  $20,75\%+4,25\%+4,25\% = 29,25\%$ .

**Задача 5.** У человека ген, определяющий синдром дефекта ногтей, и ген, определяющий группы крови по системе АВ0, сцеплены между собой и находятся на расстоянии 10 морганид. Ген, определяющий резус-фактор, и ген эллиптоцитоза находятся в другой хромосоме на расстоянии 3 морганиды. Синдром дефекта ногтей, эллиптоцитоз и резус-фактор наследуются по доминантному типу. Один супруг гетерозиготен по всем анализируемым признакам и имеет IV группу крови. Известно, что синдром дефекта ногтей он унаследовал от отца вместе с геном II группы крови. Второй супруг гомозиготен по всем рецессивным генам и имеет I группу крови. Рассчитайте вероятные фенотипы потомства от этого брака.

**Решение.** Оформляем условие задачи в виде таблицы:

Признак	Ген	Генотип	Локализация гена
Резус - положительная кровь	$D$	$D-$	} аутосома I; расстояние $D-El=3$ морганиды
Эллиптоцитоз	$El$	$El-$	
Резус - отрицательная кровь	$d$	$dd$	
Нормальная форма эритроцитов	$el$	$el el$	
I (0) группа крови	$I^0$	$I^0 I^0$	

II (A) группа крови	$I^A$	$I^A I^A I^A I^{00}$	} аутосома II; расстояние I-R = 10 морганид
III (B) группа крови	$I^B$	$I^B I^B I^B I^0$	
IV (AB) группа крови	$I^A$ и $I^B$	$I^A I^B$	
Дефект ногтей	$R$	$R-$	
Нормальные ногти	$r$	$rr$	

а) Генетическая запись брака:

$$\begin{array}{l}
 P. \text{ DEl } I^A R \quad \times \quad \text{del } I^0 r \\
 = \quad = \quad \quad = \quad = \\
 \text{del } I^B r \quad \quad \quad \text{del } I^0 r
 \end{array}$$

G. DEl I<sup>A</sup>R - некросоверная

del I<sup>B</sup>r - некросоверная

del I<sup>0</sup>r

DEl I<sup>B</sup>r - некросоверная

del I<sup>A</sup>R - некросоверная

Del I<sup>A</sup>R - кроссоверная

DEl I<sup>A</sup>r - кроссоверная

dEl I<sup>B</sup>r - кроссоверная

del I<sup>B</sup>R - кроссоверная

Del I<sup>B</sup>r - кроссоверная

DEl I<sup>B</sup>R - кроссоверная

dEl I<sup>A</sup>R - кроссоверная

del I<sup>A</sup>r - кроссоверная

Del I<sup>A</sup>r - двойная кроссоверная

dEl I<sup>B</sup>R - двойная кроссоверная

Del I<sup>B</sup>R - двойная кроссоверная

dEl I<sup>a</sup>r - двойная кроссоверная

$F_1$  DEl I<sup>A</sup>R

= =  
del I<sup>0</sup>r

Rh+, эллиптоцитоз, II группа крови, дефект ногтей  
21,825%

del I<sup>B</sup>r

= =  
del I<sup>0</sup>r

Rh-, норм. эритроциты, III группа крови, нормальные ногти  
21,825%

DEl I<sup>B</sup>r

= =  
del I<sup>0</sup>r

Rh+, эллиптоцитоз, III группа крови, нормальные ногти  
21,825%

del I<sup>A</sup>R

= =

Rh-, норм. эритроциты, II группа крови, дефект ногтей



<i>del I<sup>r</sup></i>	21,825%
<i>Del I<sup>A</sup>R</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh+, норм. эритроциты, II группа крови, дефект ногтей 0,675%
<i>dEl I<sup>B</sup>r</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh-, эллиптоцитоз, III группа крови, нормальные ногти 0,675%
<i>Del I<sup>B</sup>r</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh+, норм. эритроциты, III группа крови, нормальные ногти 0,675%
<i>dEl I<sup>A</sup>R</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh-, эллиптоцитоз, II группа крови, дефект ногтей 0,675%
<i>Del I<sup>A</sup>r</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh+, норм. эритроциты, II группа крови, нормальные ногти 0,075%
<i>dEl I<sup>B</sup>R</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh-, эллиптоцитоз, III группа крови, дефект ногтей 0,075%
<i>Del I<sup>B</sup>R</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh+, норм. эритроциты, III группа крови, дефект ногтей 0,075%
<i>dEl I<sup>A</sup>r</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh-, эллиптоцитоз, II группа крови, нормальные ногти 0,075%
<i>DEl I<sup>A</sup>r</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh+, эллиптоцитоз, II группа крови, нормальные ногти 2,425%
<i>del I<sup>B</sup>R</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh-, норм. эритроциты, III группа крови, дефект ногтей 2,425%
<i>DEL I<sup>B</sup>R</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh+, эллиптоцитоз, III группа крови, дефект ногтей 2,425%
<i>del I<sup>A</sup>r</i> = = <i>del I<sup>o</sup>r</i>	Rh-, норм. эритроциты, II группа крови, нормальные ногти 2,425%

Зная расстояние между генами, можно определить вероятность образования кроссоверных гамет, по которой можно судить о вероятности рождения потомков определенного генотипа. Расстояние между геном дефекта ногтей и геном, определяющим группу крови по системе АВ0, равно 10 морганид, значит вероятность образования кроссоверных гамет по этой паре сцепленных генов, а, следовательно, и кроссоверных особей, равна 10%. Аналогично можно утверждать, что вероятность рождения кроссоверных особей по второй паре анализируемых сцепленных признаков равна 3%.

Полученные фенотипические классы можно разделить на 4 группы:

1) некроссоверы (вероятность их рождения составляет произведение вероятностей некроссоверов по обоим парам сцепленных признаков:  $0,9 \times 0,97 = 0,873$  т. е. 87,3%; т. к. таких особей 4 типа то каждого - по 21,825%).

2) кроссоверы по паре дефекта ногтей и группы крови по АВ0 (вероятность их рождения составляет произведение вероятности некроссоверов по резус-фактору и эллиптоцитозу и вероятности кроссоверов по другой паре сцепленных признаков:  $0,97 \times 0,1 = 0,097$  т. е. 9,7% - по 2,425% каждого из 4-х классов этой группы).

3) кроссоверы по паре резус-фактор - эллиптоцитоз (вероятность их рождения составляет произведение вероятности рождения некроссоверов по дефекту ногтей и вероятности появления на свет кроссоверов по паре резус-фактор - эллиптоцитоз  $0,9 \times 0,03 = 0,027$  или 2,7% - по 0,675% каждого из 4-х вероятных классов).

4) кроссоверы по обоим анализируемым классам (вероятность их рождения равна произведению вероятностей рождения кроссоверов по обоим парам анализируемых сцепленных признаков  $0,03 \times 0,1 = 0,003$  или 0,3% т. е. по 0,075% каждого из 4-х фенотипических классов).

## ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

**Задача 1.** У дрозофилы гены, детерминирующие красную (*W*) окраску глаз (нормальные мухи) и белую (*w*) окраску глаз (мутация white), локализованы в X-хромосоме. Y-хромосома соответствующего локуса не имеет и не содержит ни гена *W*, ни *w*;

а) сколько и какие типы гамет образует гомозиготная красноглазая самка?

б) сколько и какие типы гамет образует гетерозиготная красноглазая самка?

в) сколько и какие типы гамет образует красноглазый самец?

**Задача 2.** У человека доминантный ген эллиптоцитоза ( $El$ ) и ген, обуславливающий наличие резус-антигена в эритроцитах ( $D$ ), располагаются в одной аутосоме на расстоянии 3 морганид. Какие гаметы и в каком количестве образуются:

а) у женщины с генотипом:

$$\frac{ElD}{elD}$$

б) у мужчины с генотипом:

$$\frac{ElD}{elD}$$

в) Один из супругов гетерозиготен по обоим признакам. При этом Rh+ он унаследовал от одного родителя, а эллиптоцитоз - от другого. Второй супруг Rh- и имеет нормальные эритроциты. Определите процентное соотношение вероятных генотипов и фенотипов детей в этой семье.

**Задача 3.** У человека катаракта (болезнь глаз) и многопалость (полидактилия) детерминируются доминантными аллелями двух генов, располагающихся в одной и той же хромосоме на расстоянии более 50 морганид. Женщина унаследовала катаракту от отца, а многопалость - от матери. Её муж имеет нормальные признаки. Какова вероятность того, что их ребёнок:

а) будет одновременно страдать обеими аномалиями;

б) будет страдать только какой-нибудь одной из них;

в) будет нормальным по анализируемым признакам?

**Задача 4.** Гены  $L$ ,  $M$  и  $N$  относятся к одной группе сцепления. В опыте установлено, что расстояние между генами  $L$  и  $M$  равно 5 морганидам, а между генами  $M$  и  $N$  - 3 морганидам. Можно ли определить расстояние между генами  $L$  и  $N$ ? В дополнительном опыте установлено, что расстояние между генами  $L$  и  $N$  равно 2 морганидам. Изобразите графически расположение генов  $L$ ,  $M$  и  $N$  в хромосоме.

**Задача 5.** Гены  $A$  и  $B$  локализованы в одной и той же аутосоме.

а) сколько и какие типы некрссоверных и крссоверных гамет образует дигетерозиготная женщина, у которой доминантные гены находятся в одной хромосоме, а их рецессивные аллели в другой?

б) сколько и какие типы некроссоверных и кроссоверных гамет образует дигетерозиготный мужчина, у которого доминантные гены находятся в одной хромосоме, а их рецессивные аллели в другой?

**Задача 6.** Самка и самец дрозофилы гетерозиготны по генам *A* и *P*. Оба доминантных гена находятся в одной аутосоме на расстоянии 12 морганид. Какой процент яйцеклеток и сперматозоидов будет содержать хромосому с двумя этими доминантными генами?

**Задача 7.** У человека рецессивный ген гемофилии (*h*) и рецессивный ген цветовой слепоты (*c*) локализованы в X-хромосоме по данным некоторых родословных на расстоянии приблизительно 9,8 морганид:

а) определите, какие гаметы и в каком количестве образуют: мужчина рецессивный по обоим генам и женщина с генотипом  $X^{Ch}$  ?



б) женщина, мать которой страдала дальтонизмом, а отец гемофилией, вступает в брак с мужчиной, страдающим обоими заболеваниями. Определите вероятность рождения в этой семье детей с обеими аномалиями.

**Задача 8.** Чем отличается генетическая карта хромосомы от цитологической карты?

**Задача 9.** Гены *P* и *R* локализованы в X-хромосоме;

а) сколько и какие типы гамет образует дигетерозиготная женщина, у которой доминантные гены находятся в одной X-хромосоме, а их рецессивные аллели в другой?

б) сколько и какие типы гамет образует мужчина, имеющий гены *P* и *R*?

**Задача 10.** Расстояние между аутосомным геном, ответственным за группу крови Лютеран, и геном, от которого зависит растворимость некоторых белков крови, равно 13 морганид. Укажите процент некроссоверных гамет у дигетерозиготной особи.

**Задача 11.** Женщина альбинос (аутосомный рецессивный признак) вышла замуж за мужчину дальтоника (рецессивный сцепленный с полом признак). В остальном, у мужчины и женщины благополучные генотипы. Сочетание каких генотипов и признаков возможно у их детей?

**Задача 12.** При скрещивании дигетерозиготных самок мухи дрозофилы с рецессивными самцами получены следующие результаты:

1)  $AB : Av : aB : av = 25\% : 25\% : 25\% : 25\%$ ;

2)  $AB : Av : aB : av = 45\% : 5\% : 5\% : 45\%$ ;

3)  $AB : Av : aB : av = 5\% : 45\% : 45\% : 5\%$ .

В каких случаях будет сцепленное наследование, в каком - свободное комбинирование? Как расположены гены в хромосомах в 1, 2 и 3 случаях? Определите расстояние между генами  $A$  и  $B$  во 2 и 3 случаях.

**Задача 13.** Генотип самки дрозофилы  $\frac{St}{st}$ , генотип самца  $\frac{st}{st}$ .

При их скрещивании получено 8% рекомбинантов. Определите генотипы потомства и процент мух каждого фенотипического класса.

**Задача 14.** Гены, влияющие на наличие резус-фактора и форму эритроцитов, находятся в одной аутосоме на расстоянии 3 морганиды. Дигетерозиготный мужчина имеет резус-положительную кровь (доминантный признак) и эритроциты эллиптической формы (доминантный признак), причем один доминантный ген он получил от матери, а второй - от отца. Его супруга имеет резус-отрицательную кровь и эритроциты нормальной формы. Какова вероятность, что ребенок будет иметь признаки отца?

**Задача 15.** Гены  $A$  и  $B$  комплементарны и находятся в одной и той хромосоме. Гены  $C$  и  $E$  тоже комплементарны, но находятся в разных хромосомах. Как повлияет такая локализация генов на частоту признаков, которые формируются в результате комплементарного взаимодействия генов  $A$  и  $B$ ,  $C$  и  $E$ ?

**Задача 16.** Женщина получила от матери аутосому с доминантным геном  $Pat$ , обуславливающим дефект коленной чашечки и с геном, который детерминирует II группу крови. От отца она получила ген  $pat$ , который детерминирует развитие нормальной коленной чашечки и ген, обуславливающий I группу крови. Расстояние между этими генами 10 морганид. Муж имеет нормальную коленную чашечку и I группу крови. Определите вероятность рождения ребенка с признаками отца.

**Задача 17.** Ген полидактилии  $P$  доминирует над геном  $p$ , обуславливающим нормальное число пальцев. Ген нормального слуха  $D$  доминирует над

геном глухоты -  $d$ . В семье, где один из родителей дигетерозиготен, а второй имеет 2 рецессивных признака, вероятность рождения глухого ребенка с полидактилией составляет 25%. Определите в одной или в разных хромосомах находятся гены  $P$  и  $D$ . Какова вероятность рождения здорового ребенка?

**Задача 18.** У дрозофилы расстояние между генами  $A$  и  $B$  составляет 5 морганид, а между генами  $A$  и  $C$  - 7 морганид. Определите расстояние между генами  $B$  и  $C$ . Какое необходимо провести скрещивание для того, чтобы узнать истинное расстояние между этими генами?

**Задача 19.** Гетерозиготный самец дрозофилы, имеющий два доминантных признака: серый цвет тела и красный цвет глаз, был скрещен с черными пурпурноглазыми самками (рецессивные признаки). В потомстве оказалось 50% черных пурпурноглазых и 50% серых красноглазых мух. Какое скрещивание необходимо провести для того, чтобы выяснить, является ли такое соотношение результатом плейотропного или сцепленного действия генов?

**Задача 20.** У дрозофилы гены  $A$  и  $C$  расположены в одной группе сцепления на расстоянии 6,8 морганид. Определите, какие гаметы и в каком процентном соотношении образуются у самки дрозофилы, имеющей генотип  $\frac{AC}{ac}$ .

**Задача 21.** При скрещивании дигетерозиготной по генам  $C$  и  $T$  самки дрозофилы с рецессивным по обоим генам самцом, в потомстве получены следующие результаты: 46,25% мух фенотипического класса  $CT$ ; 3,75% мух фенотипического класса  $Ct$ ; 3,75% мух фенотипического класса  $cT$ ; 46,25% мух фенотипического класса  $ct$ . Определите расстояние между генами  $C$  и  $T$ .

**Задача 22.** Проведены три скрещивания дигетерозиготных самок дрозофилы с рецессивными самцами. Получены следующие результаты:

- а) в потомстве самок  $AaBb$  обнаружено 6% рекомбинантов;
- б) в потомстве самок  $MmNn$  обнаружено 0,5% рекомбинантов;
- в) в потомстве самок  $PpRr$  обнаружено 2,5% рекомбинантов.

Определите расстояние между генами  $A$  и  $B$ ;  $M$  и  $N$ ;  $P$  и  $R$ .

**Задача 23.** Между генами  $C$  и  $B$  кроссинговер происходит в 20% случаев, а между генами  $D$  и  $F$  – в 40% случаев. Гены  $C$  и  $B$  лежат в одной хромосоме, а гены  $D$  и  $F$  в другой негомологичной хромосоме. Какие типы гамет, и в каком процентном соотношении образуются у особи с генотипом  $\frac{CB}{cb} \frac{Df}{dF}$

**Задача 24.** У тутового шелкопряда гены  $A$  и  $D$  расположены в одной группе сцепления на расстоянии 8 морганид. Определите, какие гаметы и в каком процентном соотношении образуются у самки, имеющей генотип  $\underline{AD}$ .

**Задача 25.** Гладкая форма семян кукурузы доминирует над морщинистой, окрашенные семена доминируют над неокрашенными. Оба признака сцеплены. При скрещивании кукурузы с гладкими окрашенными семенами с растением, имеющим морщинистые неокрашенные семена, получено: окрашенных гладких – 4152 особи, окрашенных морщинистых – 149, неокрашенных гладких – 152, неокрашенных морщинистых – 4163. Определите расстояние между генами.

**Задача 26.** У подсолнечника признак высокого роста доминирует над карликовым, а однотонная окраска плодов доминирует над пестрой. При анализирующем скрещивании получено потомство четырех фенотипических классов: I класс – высокие растения с однотонными плодами – 455, II класс – карликовые растения с пестрыми плодами – 445, III класс – высокие растения с пестрыми плодами – 53, IV класс – карликовые растения с однотонными плодами – 47. Сколько процентов растений будут иметь высокий рост и пеструю окраску плодов от скрещивания растений I и III указанных фенотипических классов?