

## Олимпиада школьников по генетике «Ломоносов 2022- 2023» 10-11 классы

Блок 1, вариант 2 (30 баллов)

В зоопарке проводили скрещивания нескольких чистых линий змей. От скрещивания белых змей с голубыми (скрещивание №1) были получены гибриды с голубой окраской. От скрещивания зеленых змей с желтыми (скрещивание №2) получили зеленых змей. Первое поколение от двух скрещиваний скрестили между собой (голубых из первого скрещивания с зелеными из второго) (скрещивание №3). В потомстве получили зеленых и желтых особей в соотношении 3:1. Если полученных в итоге желтых особей скрестить между собой (скрещивание №4), получится расщепление на желтых и белых змей в соотношении 3:1. Объясните результат. Сколько генов определяет признак окраски у змей? Можно ли при скрещивании между собой желтых змей, полученных в скрещивании №4, получить белых змей? Если да, то с какой вероятностью?

### Решение:

Мы видим четыре разных фенотипа для одного признака. Наиболее очевидное объяснение — признак контролируется двумя генами, взаимодействующими комплементарно. Другие варианты решения либо более сложные (взаимодействие трёх и более генов) либо не могут в полной мере объяснить полученные результаты (моногенный контроль признака при множественном аллелизме).

Из первых двух скрещиваний понятно, что голубой цвет доминирует над белым, а зелёный над желтым. Полученные в этих скрещиваниях особи гетерозиготны по одному из двух генов. В третьем скрещивании получается больше всего зелёных змей, значит зелёные это генотип  $A-B-$  (он получается от смешивания желтого и голубого цветов), тогда белые это  $aabb$ . Допустим, что  $A$  отвечает за голубой цвет,  $B$  – за желтый (можно и наоборот, поменяются только обозначения), тогда в первом скрещивании генотипы родителей  $aabb$  (белый) и  $AAbb$  (голубой), генотип гибридов  $Aabb$  (голубой). Во втором скрещивании генотипы родителей  $AABB$  (зелёный) и  $aaBB$  (желтый), генотип гибридов  $AaBB$  (зелёный). В третьем скрещивании  $Aabb \times AaBB$  получаем, что всё потомство гетерозиготно по гену  $B$  и демонстрирует расщепление 3:1 по гену  $A$ . Желтые особи, полученные в этом скрещивании, имеют генотип  $aaBb$ , поэтому при скрещивании их между собой (скрещивание №4) получаются желтые и белые змеи в соотношении 3:1.

Белые змеи в потомстве от желтых родителей могут быть получены, если родители гетерозиготны. Среди желтых потомков скрещивания №4 доля гетерозигот составляет  $2/3$ . Вероятность того, что оба родителя окажутся гетерозиготными равна  $2/3 * 2/3 = 4/9$ . Вероятность появления белых особей в потомстве двух гетерозигот составляет  $1/4$ , значит вероятность появления белой особи в потомстве двух жёлтых змей, взятых из потомства скрещивания №4 составит  $4/9 * 1/4 = 1/9$ .

Блок 2, вариант 1 (35 баллов)

Ученые вывели чистую мутантную линию дрозофилы с генотипом  $aabbdd$ . Мутантного самца скрестили с самкой дикого типа. В первом поколении все особи имели нормальный фенотип –  $ABD$ . Во втором поколении получили:

$ABD$  - 211

$ABd$  - 0

$AbD$  - 14

$Abd$  - 0

$aBD$  - 0

$aBd$  - 16

$abD$  - 0

$abd$  – 59

Всего: 300

Проведите анализ расщепления. Если гены не сцеплены, объясните характер наследования признаков. Если гены сцеплены, постройте предполагаемую карту хромосомы с указанием расстояния между генами. Помните, что у самцов дрозофилы кроссинговер не происходит.

**Решение:**

Нам дан генотип мутантной чистой линии, генов три, очевидно, что каждый из них контролирует один признак и гены аутосомные (нет сцепления с полом). Рассмотрим каждый признак в отдельности: везде единообразие в первом поколении и расщепление, близкое к 3:1 во втором (225:75 для генов  $A$  и  $D$ , 227:73 для гена  $B$ ).

Рассмотрим три возможных пары признаков. При независимом наследовании должно получаться расщепление 9:3:3:1, но такого расщепления мы не видим ни в одной из пар - все три гена сцеплены и находятся на одной хромосоме. Для пары  $A$  и  $D$  мы видим только два фенотипа:  $AD$  и  $ad$ , соответствующие фенотипам чистых родительских линий в соотношении 3:1 — между этими генами полное сцепление. Гены в парах  $A - B$  и  $B - D$  сцеплены не полностью, получено расщепление 211:14:16:59 (вместо 9:3:3:1).

Возьмём частоту кроссинговера за  $x$  и составим решетку Пеннета для скрещивания гибридов первого поколения. Мы можем писать сразу про три гена, так как  $a$  и  $d$  полностью сцеплены и кроссинговер возможен только между  $ad$  и  $b$ . Самцы дают только некроссоверные гаметы, так как у них не происходит кроссинговер.

	$(1-x)/2 ABD$	$x/2 AbD$	$x/2 aBd$	$(1-x)/2 abd$
$1/2 ABD$	$(1-x)/4 AABBD$	$x/4 AABbD$	$x/4 AaBBd$	$(1-x)/4 AaBbd$
$1/2 abd$	$(1-x)/4 AaBbD$	$x/4 AabbD$	$x/4 aaBbd$	$(1-x)/4 aabbd$

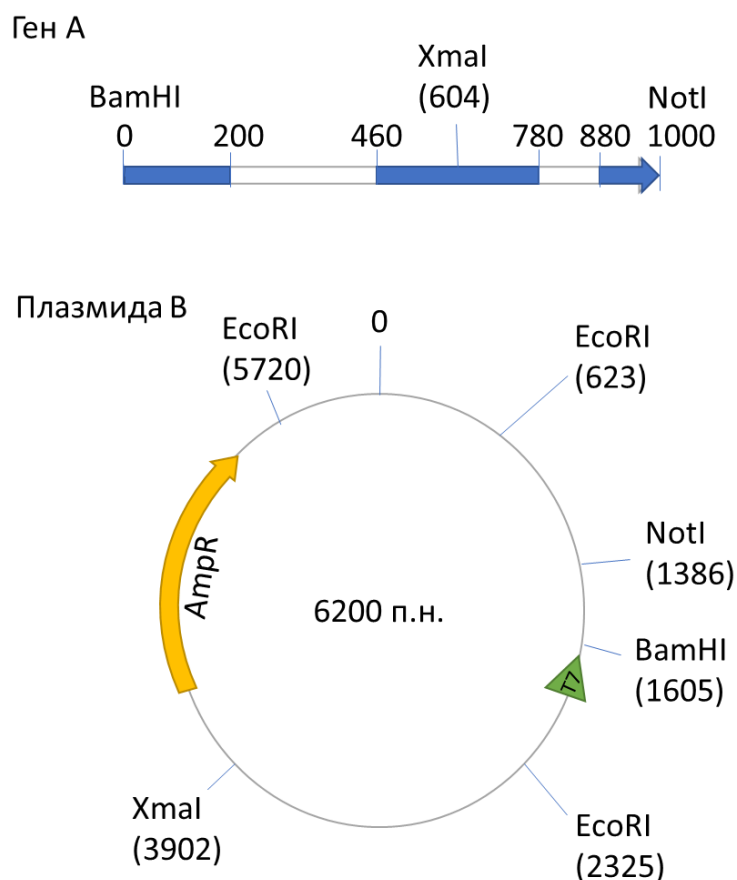
Далее следует составить и решить уравнение. Это можно сделать несколькими способами. Например, можно взять класс с фенотипом  $abd$ , который имеет генотип  $aabdd$ . Тогда  $(1-x)/4$

=59/300, откуда частота кроссинговера получается равна приблизительно 21%. Другие варианты уравнения также засчитывались как верные.

Так как гены А и D полностью сцеплены, мы не можем определить, какой из них ближе к гену В. Таким образом, возможны два варианта генетической карты: А-D-В и D-A-В.

В решении должны быть представлены схемы всех скрещиваний.

Блок 3, вариант 1 (35 баллов)



Задачей ученого было клонировать и экспрессировать в клетках бактерий эукариотический ген А\*. Для этого он решил использовать бактериальную плазмиду В\*\*, в которой подобрал сайты для клонирования – сайты узнавания рестриктаз BamHI и NotI.

Будет ли ген А в нативном виде, представленном на схеме, транскрибироваться и транслироваться в клетках бактерий? Как получить функционирующую в клетках бактерий копию гена?

Какого размера должна быть полученная работающая в клетках бактерий рекомбинантная конструкция (в п.н.)?

Какие фрагменты будут получены в результате обработки рекомбинантной конструкции (1) рестриктазой EcoRI, (2) рестриктазой XmaI и (3) смесью рестриктаз EcoRI и XmaI? В ответе укажите размеры получаемых продуктов для каждой рестрикции.

\*Для гена А темным цветом обозначены экзоны, белым - интроны, цифрами - координаты начала и конца каждого экзона, цифрами в скобках – координаты сайта рестрикции XmaI, Сайты рестрикции BamHI и NotI фланкируют кодирующую рамку считывания.

\*\*Размер плазмиды В обозначен в центре. 0- точка отсчета координат.

Под сайтами рестрикции цифрами в скобках обозначены их координаты.

**Решение:**

Если ген клонируется в плазмиду с целью экспрессии, плазида уже содержит необходимую промоторную область (промотор обозначен на рисунке треугольником с надписью «Т7») и ген клонируют без промотора. В нативном виде ген А включает в себя экзоны и интроны. Участник должен был четко указать, что в нативном виде ген А сможет транскрибироваться в плазмиде (интроны не помешают транскрипции). Явно должно было быть отмечено, что трансляция гена А также возможна в нативном виде, но получаемый пептид будет иметь другую структуру, т.к. помимо экзонов транслироваться будут и интроны. Для получения функционального белка, ген А в конструкции не должен содержать интроны. Для этого наиболее оптимальным вариантом является использование кДНК гена А (получается в результате обратной транскрипции мРНК гена А). Другие варианты являются или слишком сложными, или слишком затратными. Размер итоговой работающей конструкции вычисляется как размер плазмиды минус вырезанный из плазмиды участок между сайтами для клонирования (BamHI и NotI) плюс размер гена А без интронов.  $6200 - 219 + 640 = 6621$  п.н. Обработка работающей конструкции рестриктазой EcoRI дает продукты размерами 3395, 2123 и 1103 п.н. Обработка работающей конструкции рестриктазой XmaI дает продукты размерами 3980 и 2641. Совместная рестрикция разделяет конструкцию на пять фрагментов: 1818, 1577, 1103, 1064 и 1059 п.н. Везде следовало учитывать направление вставки фрагмента в конструкции, т. к. от этого зависит расположение сайта рестрикции XmaI (фрагмент может встраиваться только в одном направлении).

## Олимпиада школьников по генетике «Ломоносов 2022- 2023» 9 класс

Блок 1 вариант 2 (30 баллов)

Известно, что растение имеет генотип AaBbCc. Гены не сцеплены.

- Сколько типов гамет образует это растение?
- Сколько фенотипов и в каком соотношении может быть получено в потомстве этого растения при самоопылении, если предположить полное доминирование по всем парам аллелей?
- Сколько генотипов и в каком соотношении будет в потомстве этого растения при самоопылении?
- Сколько фенотипов и в каком соотношении может быть получено в потомстве этого растения при самоопылении, если предположить неполное доминирование по гену В?

### Решение:

а. Каждый гетерозиготный ген образует 2 варианта гамет, эти варианты сочетаются независимо, «каждый с каждым». Количество типов гамет для тригетерозигот составляет  $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ .

б. При самоопылении растения для каждого гена, если предположить полное доминирование, будет получаться 2 фенотипа в соотношении 3:1.

Тогда количество фенотипов составит  $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ .

Соотношение фенотипов при условии независимого наследования трёх генов  $(\frac{3}{4}A_{-} + \frac{1}{4}aa) \cdot (\frac{3}{4}B_{-} + \frac{1}{4}bb) \cdot (\frac{3}{4}C_{-} + \frac{1}{4}cc) =$

$\frac{27}{64} A_{-} B_{-} C_{-} + \frac{9}{64} A_{-} bb C_{-} + \frac{9}{64} aa B_{-} C_{-} + \frac{3}{64} aabb C_{-} + \frac{9}{64} A_{-} B_{-} cc + \frac{3}{64} A_{-} bbcc + \frac{3}{64} aa B_{-} cc + \frac{1}{64} aabbcc$

**Допускается использовать и другие методы расчёта, например, решётку Пеннета и т.п.**

в. При самоопылении растения для каждого гена будет получаться по 3 генотипа в соотношении 1:2:1.

Тогда количество генотипов составит  $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$ .

Соотношение генотипов при условии независимого наследования  $(\frac{1}{4}AA + \frac{1}{2}Aa + \frac{1}{4}aa) \cdot (\frac{1}{4}BB + \frac{1}{2}Bb + \frac{1}{4}bb) \cdot (\frac{1}{4}CC + \frac{1}{2}Cc + \frac{1}{4}cc) =$   
 $\frac{1}{64} AABVCC + \frac{2}{64} AaBVCC + \frac{1}{64} aaBVCC + \frac{2}{64} AABvCC + \frac{4}{64} AaBvCC + \frac{2}{64} aaBvCC + \frac{1}{64} AAbbCC + \frac{2}{64} AabbCC + \frac{1}{64} aabbCC + \frac{2}{64} AABVcC + \frac{4}{64} AaBVcC + \frac{2}{64} aaBVcC + \frac{4}{64} AABvcC + \frac{8}{64} AaBvcC + \frac{4}{64} aaBvcC + \frac{2}{64} AAbbCc + \frac{4}{64} AabbCc + \frac{2}{64} aabbCc + \frac{1}{64} AABVcc + \frac{2}{64} AaBVcc + \frac{1}{64} aaBVcc + \frac{2}{64} AABbcc + \frac{4}{64} AaBbcc + \frac{2}{64} aaBbcc + \frac{1}{64} AAbbcc + \frac{2}{64} Aabbcc + \frac{1}{64} aabbcc$

г. При самоопылении растения, если предположить неполное доминирование по гену В, будет получаться 3 фенотипа в соотношении 1:2:1 для гена В и по 2 фенотипа в соотношении 3:1 для остальных генов.

Тогда количество фенотипов составит  $2 \cdot 3 \cdot 2 = 12$ .

Соотношение фенотипов при условии независимого наследования  $(\frac{3}{4}A_{-} + \frac{1}{4}aa) \cdot (\frac{1}{4}BB + \frac{1}{2}Bb + \frac{1}{4}bb) \cdot (\frac{3}{4}C_{-} + \frac{1}{4}cc) =$   
 $\frac{9}{64} A-BB C_{-} + \frac{3}{64} aaBB C_{-} + \frac{18}{64} A-Bb C_{-} + \frac{6}{64} aaBb C_{-} + \frac{9}{64} A-bb C_{-} + \frac{3}{64} aabb C_{-} + \frac{3}{64} A-BB cc + \frac{1}{64} aaBB cc + \frac{6}{64} A-Bb cc + \frac{2}{64} aaBb cc + \frac{3}{64} A-bb cc + \frac{1}{64} aabb cc$

Блок 2 вариант 2 (40 баллов)

При скрещивании между собой пары чёрных реликтовых жуков всегда получается одно из двух расщеплений: 2 чёрных : 1 пятнистый, или 1 чёрный : 1 пятнистый. Чистую линию этих жуков получить невозможно. Объясните результат. Какими могут быть генотипы чёрных жуков?

**Решение:**

Расщепление 2:1 и невозможность получить чистую линию указывают на гибель одного из генотипов (доминантных гомозигот). Однако, расщепление 1:1 сложно объяснить моногенным наследованием, поэтому предполагаем, что здесь два взаимодействующих гена. Каких-либо указаний на сцепление с полом нет, считаем, что гены аутосомные.

Наблюдаемые расщепления можно получить при комплементарном взаимодействии генов, когда комбинация доминантных аллелей А и В имеет чёрную окраску, а остальные генотипы — пятнистую. При этом рецессивное летальное действие имеет только один ген из двух (иначе получится расщепление со знаменателем 9, а не расщепление 1:1). Будем считать, что рецессивное летальное действие у гена А, тогда:

1. В скрещиваниях  $AaBB \times AaBB$  и  $AaBB \times AaBb$  будет происходить расщепление 2:1 (только по гену А).
2. В скрещивании  $AaBb \times AaBb$  будет получено расщепление 6 чёрных : (3+2+1) пятнистых — это 1:1.

В решении должны быть представлены схемы всех скрещиваний.

### Блок 3 вариант 2 (30 баллов)

При скрещивании стелющихся, опушенных, белоцветковых растений гороха с кустистыми, голыми растениями, имеющими окрашенные цветки, все растения F<sub>1</sub> оказались стелющимися, опушенными и имели окрашенные цветки. При скрещивании такого растения из F<sub>1</sub> с кустистым, голым, белоцветковым растением было получено следующее расщепление:

1/20 стелющихся, опушенных с окрашенными цветками,  
4/20 стелющихся, опушенных с белыми цветками,  
1/20 стелющихся, голых с окрашенными цветками,  
4/20 стелющихся, голых с белыми цветками,  
4/20 кустистых, опушенных с окрашенными цветками,  
1/20 кустистых, опушенных с белыми цветками,  
4/20 кустистых, голых с окрашенными цветками,  
1/20 кустистых, голых с белыми цветками

Как наследуются признаки? Определите генотипы исходных растений. Если гены сцеплены, то определите силу сцепления между ними и порядок их расположения в хромосоме. Соблюдается ли здесь правило аддитивности?

#### **Решение:**

Рассмотрим каждый из признаков в отдельности. Для всех трёх признаков в первом поколении единообразие — видимо, родители чистые линии. Гибриды первого поколения - гетерозиготы, а стелющиеся (А), опушённые (В), с окрашенными цветками (С) — растения с доминантными проявлениями всех трёх признаков. Скрещивание с кустистым, голым, белоцветковым растением это скрещивание с рецессивной гомозиготой, в потомстве этого скрещивания для каждого из признаков мы видим расщепление 1:1, что подтверждает идею о моногенном наследовании каждого из признаков.

Далее рассмотрим пары признаков. При независимом наследовании должно наблюдаться расщепление 1:1:1:1 при скрещивании дигетерозиготы с рецессивной гомозиготой. Мы видим это для пар А — В и В — С. Для пары А — С расщепление другое, значит гены А и С сцеплены.

При скрещивании с рецессивной гомозиготой частоты фенотипов равны частотам гамет. Из кроссоверных гамет получились стелющиеся растения с окрашенными цветками и кустистые с белыми цветками, их доля равна 4/20 или 1/5. Таким образом, частота кроссинговера равна 20%. Правило аддитивности здесь соблюдаться не может, так как ген В не сцеплен с А и С. В решении должны быть представлены схемы всех скрещиваний.