

### Задание 1.

Установим поколения и группы крови всех пациентов. Должно быть два мужчины и две женщины в старшем поколении, так как существует две семьи. Для установления поколения смотрим на год – очевидно, что рожденные в 20 веке относятся к родителям, а в 21 веке – к детям. При этом век можно установить как по первым цифрам (19?? или 20??), так и по последним (среди родителей не могут быть рожденные в нулевых или десятых, например). Группы крови определяем по антителам – если антитела нет в крови, значит такой антиген есть в организме (то есть при наличии только анти-А группа крови будет В) **(1,5 балла за поколения, по 0,5 балла за группу крови каждого пациента – 3,5 балла всего за группы крови).**

| Пациент | Группа крови | Пол | Поколение |
|---------|--------------|-----|-----------|
| T278    | ON           | Ж   | Родители  |
| A251    | ABN          | М   | Родители  |
| E532    | AM           | Ж   | Родители  |
| Ц609    | BM           | М   | Родители  |
| P467    | BN           | М   | Дети      |
| У321    | AN           | М   | Дети      |
| M722    | ABM          | Ж   | Дети      |

Групп крови MN нет, что позволяет однозначно разделить всех пациентов на две семьи. Учитывая поколения, получаем, что T278 и A251 являются родителями P467 и У321, а E532 и Ц609 – родителями M722. Данные по группам крови по системе АВ0 не противоречат полученному решению **(по 1,5 балла за семью, по 0,5 балла при отсутствии обоснования решения).**

### Задание 2.

#### Решение 1.

А) Признак времени цветения наследуется моногенно, но по гену наблюдается множественный аллелизм **(0,5 балла)**. Обозначим аллели как А1 (позднее цветение), А2 (поздне-среднее), А3 (ранне-среднее), А4 (раннее). Тогда особь 5 – гомозигота А4А4, так как при её самоопылении потомство единообразно **(0,5 балла)**. Особь 4 – гетерозигота А3А4 (А3 доминирует над А4), так как в потомстве от самоопыления наблюдается расщепление 3 А3\_ : 1 А4А4 **(0,5 балла)**. Из растений 2 и 3 одна особь является гомозиготой А2А2, а другая – гетерозиготой А2А4 (А2 доминирует над А4), так как в потомстве первого поколения от их скрещивания получаются только поздне-среднецветущие растения А2А2 и А2А4, но в потомстве второго поколения при условии случайных скрещиваний потомства первого поколения выщепляется раннецветущий фенотип (А4А4), так как он образуется при скрещивании двух растений А2А4 **(1 балл)**. Растение 1 является гетерозиготой А1А3 (А1 доминирует над А3), так как в потомстве от его самоопыления есть два фенотипа А1\_ и А3А3 **(0,5 балла)**.

Б) А3А4 \* А1А3

Потомство первого поколения: А1А3, А1А4, А3А3, А3А4. Соотношение фенотипов:

1 А1\_ (позднецветущий) : 1 А3\_ (ранне-среднецветущий). **(2 балла)**

При образовании потомства второго поколения возможны скрещивания среди ранне-среднецветущих растений: А3А3\*А3А3, А3А3\*А3А4, А3А4\*А3А4, при чём скрещивание А3А3\*А3А4 в два раза более вероятно, чем остальные, так как оно реализуется в случае попадания пыльцы А3А3 на рыльце А3А4 либо в случае попадания пыльцы А3А4 на рыльце А3А3. Тогда среди ранне-среднецветущих вероятность скрещивания А3А3\*А3А3 будет составлять 1/4, А3А3\*А3А4 – 1/2, А3А4\*А3А4 – 1/4.

Тогда получаем следующее потомство от скрещивания ранне-средних растений:

(вероятность скрещивания 1/4)  $A_3A_3 * A_3A_3 = A_3A_3$

(вероятность скрещивания 1/2)  $A_3A_3 * A_3A_4 = A_3\_$

(вероятность скрещивания 1/4)  $A_3A_4 * A_3A_4 = 3/4 A_3\_ : 1/4 A_4A_4$

Общее расщепление:  $A_3\_ = 1/4 + 1/2 + 3/4 * 1/4 = 15/16$  (ранне-средние)

$A_4A_4 = 1/4 * 1/4 = 1/16$  (ранние) **(2 балла)**

Отдельно будут реализовываться скрещивания среди позднецветущих растений:  $A_1A_3 * A_1A_3$ ,  $A_1A_3 * A_1A_4$ ,  $A_1A_4 * A_1A_4$ , при чём скрещивание  $A_1A_3 * A_1A_4$  в два раза более вероятно, чем остальные, так как оно реализуется в случае попадания пыльцы  $A_1A_3$  на рыльце  $A_1A_4$  либо в случае попадания пыльцы  $A_1A_4$  на рыльце  $A_1A_3$ . Тогда среди позднецветущих вероятность скрещивания  $A_1A_3 * A_1A_3$  будет составлять 1/4,  $A_1A_3 * A_1A_4 - 1/2$ ,  $A_1A_4 * A_1A_4 - 1/4$ .

Тогда получаем следующее потомство от скрещивания поздних растений:

(вероятность скрещивания 1/4)  $A_1A_3 * A_1A_3 = 3/4 A_1\_ : 1/4 A_3A_3$

(вероятность скрещивания 1/2)  $A_1A_3 * A_1A_4 = 3/4 A_1\_ : 1/4 A_3A_4$

(вероятность скрещивания 1/4)  $A_1A_4 * A_1A_4 = 3/4 A_1\_ : 1/4 A_4A_4$

Общее расщепление:  $A_1\_ = 3/4$  (поздние)

$A_3\_ = 1/4 * 1/4 + 1/4 * 1/2 = 3/16$  (ранне-средние)

$A_4A_4 = 1/4 * 1/4 = 1/16$  (ранние)

Теперь объединим расщепления:

(поздние)  $A_1\_ = 3/4 * 1/2 = 3/8 = 6/16$

(ранне-средние)  $A_3\_ = 15/16 * 1/2 + 3/16 * 1/2 = 9/16$

(ранние)  $A_4A_4 = 1/16 * 1/2 + 1/16 * 1/2 = 1/16$

**(2 балла)**

**Решение 2.**

А) Признак времени цветения контролируется двумя генами А и В **(0,5 балла)**:  $A\_B\_$  (позднее цветение),  $A\_bb$  (поздне-среднее),  $aaB\_$  (ранне-среднее),  $aabb$  (раннее). Тогда особь 5 – гомозигота  $aabb$ , так как при её самоопылении потомство единообразно **(0,5 балла)**. Особь 4 –  $aaBb$ , так как в потомстве от самоопыления наблюдается расщепление  $3 aaB\_ : 1 aabb$  **(0,5 балла)**. Из растений 2 и 3 одна особь является гомозиготой  $AAbb$ , а другая – гетерозиготой  $Aabb$ , так как в потомстве первого поколения от их скрещивания получаются только поздне-среднецветущие растения  $AAbb$  и  $Aabb$ , но в потомстве второго поколения при условии случайных скрещиваний потомства первого поколения выщепляется раннецветущий фенотип ( $aabb$ ), так как он образуется при скрещивании двух растений  $Aabb$  **(1 балл)**. Растение 1 –  $AaBB$ , так как в потомстве от его самоопыления есть два фенотипа  $A\_BB$  и  $aaBB$  **(0,5 балла)**.

Б)  $aaBb * AaBB$

Потомство первого поколения:  $AaBB$ ,  $AaBb$ ,  $aaBB$ ,  $aaBb$ . Соотношение фенотипов:

1 (позднецветущий) : 1 (ранне-среднецветущий). **(2 балла)**

При образовании потомства второго поколения возможны скрещивания среди ранне-среднецветущих растений:  $aaBB * aaBB$ ,  $aaBB * aaBb$ ,  $aaBb * aaBb$ , при чём скрещивание  $aaBB * aaBb$  в два раза более вероятно, чем остальные, так как оно реализуется в случае попадания пыльцы  $aaBB$  на рыльце  $aaBb$  либо в случае попадания пыльцы  $aaBb$  на рыльце  $aaBB$ . Тогда среди ранне-среднецветущих вероятность скрещивания  $aaBB * aaBB$  будет составлять 1/4,  $aaBB * aaBb - 1/2$ ,  $aaBb * aaBb - 1/4$ .

Тогда получаем следующее потомство от скрещивания ранне-средних растений:

(вероятность скрещивания 1/4)  $aaBB * aaBB = aaBB$

(вероятность скрещивания 1/2)  $aaBB * aaBb = aaB\_$

(вероятность скрещивания  $1/4$ )  $aaBb * aaBb = 3/4 aaV\_ : 1/4 aabb$

Общее расщепление:  $aaV\_ = 1/4 + 1/2 + 3/4 * 1/4 = 15/16$  (ранне-средние)

$aabb = 1/4 * 1/4 = 1/16$  (ранние) (2 балла)

Отдельно будут реализовываться скрещивания среди позднецветущих растений:  $AaBB * AaBB$ ,  $AaBB * AaBb$ ,  $AaBb * AaBb$ , при чём скрещивание  $AaBB * AaBb$  в два раза более вероятно, чем остальные, так как оно реализуется в случае попадания пыльцы  $AaBB$  на рыльце  $AaBb$  либо в случае попадания пыльцы  $AaBb$  на рыльце  $AaBB$ . Тогда среди позднецветущих вероятность скрещивания  $AaBB * AaBB$  будет составлять  $1/4$ ,  $AaBB * AaBb - 1/2$ ,  $AaBb * AaBb - 1/4$ .

Тогда получаем следующее потомство от скрещивания поздних растений:

(вероятность скрещивания  $1/4$ )  $AaBB * AaBB = 3/4 A\_BB : 1/4 aaBB$

(вероятность скрещивания  $1/2$ )  $AaBB * AaBb = 3/4 A\_B\_ : 1/4 aaB\_$

(вероятность скрещивания  $1/4$ )  $AaBb * AaBb = 9/16 A\_B\_ : 3/16 A\_bb : 3/16 aaB\_ : 1/16 aabb$

Общее расщепление:  $A\_B\_ = 3/4 * 1/4 + 3/4 * 1/2 + 9/16 * 1/4 = 45/64$  (поздние)

$A\_bb = 3/16 * 1/4 = 3/64$  (поздне-средние)

$aaB\_ = 1/4 * 1/4 + 1/4 * 1/2 + 3/16 * 1/4 = 15/64$  (ранне-средние)

$aabb = 1/16 * 1/4 = 1/64$  (ранние)

Теперь объединим расщепления:

(поздние)  $A\_B\_ = 45/64 * 1/2 = 45/128$

(поздне-средние)  $A\_bb = 3/64 * 1/2 = 3/128$

(ранне-средние)  $aaB\_ = 15/16 * 1/2 + 15/64 * 1/2 = 75/128$

(ранние)  $aabb = 1/16 * 1/2 + 1/64 * 1/2 = 5/128$

(2 балла)

### Задание 3.

А) (4 балла) Мучнистый эндосперм доминирует над немучнистым. Обозначим ген, отвечающий за этот признак как А. Большие семена доминируют над мелкими. Пусть за этот признак отвечает ген В. Тогда при скрещивании родителей  $AAbb$  и  $aaBB$  в потомстве первого поколения все особи являются дигетерозиготами  $AaBb$ , при чём аллели сцеплены в транс-положении. Расщепление по фенотипам в анализирующем скрещивании будет такое же, как расщепление по гаметам у дигетерозиготы, то есть по 45% гамет  $Ab$  (приведут к появлению растений с мучнистым эндоспермом и мелкими семенами) и  $aB$  (приведут к появлению растений с немучнистым эндоспермом и большими семенами), по 5% гамет  $AB$  (приведут к появлению растений с мучнистым эндоспермом и большими семенами) и  $ab$  (приведут к появлению растений с немучнистым эндоспермом и мелкими семенами).

Б) (4 балла) При самоопылении дигетерозиготы нужно учитывать частоты гамет, рассчитанные в пункте А. Для появления растений с немучнистым эндоспермом и мелкими семенами необходимо, чтобы встретились две гаметы  $ab$ . Вероятность этого составляет  $0,05 * 0,05 = 0,25\%$ . Для появления растений с мучнистым эндоспермом и мелкими семенами необходимо, чтобы встретились две гаметы  $Ab$  (вероятность  $0,45 * 0,45 = 20,25\%$ ) либо чтобы встретилась одна гамета  $Ab$  и одна гамета  $ab$  (вероятность  $0,45 * 0,05 * 2 = 4,5\%$ , умножать на 2 нужно, так как нам подходят два исхода: яйцеклетка  $Ab$  была оплодотворена спермием  $ab$  или яйцеклетка  $ab$  была оплодотворена спермием  $Ab$ ). Суммарная вероятность появления растений с мучнистым эндоспермом и мелкими семенами равна  $24,75\%$ . Такова же будет вероятность появления растений с немучнистым эндоспермом и большими семенами. Оставшиеся  $100\% - 0,25\% - 24,75\% * 2 = 50,25\%$  приходятся на растения с мучнистым эндоспермом и большими семенами.

#### Задание 4.

А) Наибольшее число генотипов в потомстве будет получено если отредактировать предшественники гамет самца до генотипа  $Z^{D+}Z^{D-}$  (**1 балл**), потому что при его скрещивании с нормальной самкой  $Z^{D+}W$  в потомстве будет 4 генотипа:  $Z^{D+}Z^{D+}$ ,  $Z^{D+}Z^{D-}$ ,  $Z^{D+}W$ ,  $Z^{D-}W$  (**0,5 балла**). При редактировании предшественников гамет самки до генотипа  $Z^{D-}W$  в потомстве от её скрещивания с нормальным самцом  $Z^{D+}Z^{D+}$  было бы два генотипа:  $Z^{D+}Z^{D-}$ ,  $Z^{D+}W$  (**0,5 балла**).

Б) В синонимичной последовательности есть замена G на T, эта замена должна была произойти, скорее всего, в третьем положении кодона, так как такие замены чаще всего не приводят к смене аминокислотного остатка в белке (**1 балл**). Тогда с учётом этого пояснения можем однозначно определить рамку считывания для указанного кодирующего фрагмента. Нормальная последовательность фрагмента белка: Tyr-Ser-Ser-Pro-Leu-Lys-Gly-His (**1 балл**). Мутантная последовательность: Tyr-Ser-Ser-Pro-Leu-Stop (**1 балл**).

В) По **0,5 балла** за каждую строку таблицы.

| Генотип          | Пол   |
|------------------|-------|
| $eeZ^{D+}Z^{D+}$ | Самец |
| $EeZ^{D+}Z^{D-}$ | Самка |
| $eeZ^{D+}Z^{D-}$ | Самец |
| $EeZ^{D+}W$      | Самка |
| $eeZ^{D+}W$      | Самец |
| $eeZ^{D-}W$      | Самка |

Г)  $EeZ^{D+}Z^{D+} * EeZ^{D+}W$

$3/8 E\_Z^{D+}Z^{D+}$  самцы

$3/8 E\_Z^{D+}W$  самки

$1/8 eeZ^{D+}Z^{D+}$  самцы

$1/8 eeZ^{D+}W$  самцы

Итого самцы:самки = 5:3 (**2 балла**)

#### Задание 5.

А) По **0,5 балла** за каждый фенотип.

| Генотип         | Фенотип   |
|-----------------|-----------|
| $A1A1B\_ddee$   | быстрый   |
| $A1A1B\_D\_E\_$ | быстрый   |
| $A1A1bbD\_ee$   | быстрый   |
| $A1A2B\_ddee$   | медленный |
| $A1A2B\_D\_E\_$ | медленный |
| $A1A2bbD\_ee$   | медленный |

Б) 1)  $A1A1BbDdEe * A1A1BbDdEe$

Вклад в расщепление здесь будут вносить только гены B,D и E, так как по A1 всё потомство будет гомозиготно. Чтобы сменить фенотип A1A1 с быстрого на медленный, необходимо наличие в доминанте и B, и D, при этом по гену e должен быть рецессивный генотип, чтобы белок D не деградировал. Доля особей с генотипом B\_D\_ee среди потомства будет  $3/4 * 3/4 * 1/4 = 9/64$ . Тогда расщепление по фенотипу быстрый:медленный = 55:9 (**3 балла**).

2)  $A_1A_2BbDdEe \times A_1A_1BbDdEe$

1/2 потомства будет иметь генотип  $A_1A_2$  по гену А. Чтобы сменить фенотип гетерозиготы по А на медленный нам достаточно хотя бы доминантного генотипа по гену В ( $B_+$ ) при условии любых генотипов по D и E, либо в случае рецессивного генотипа  $bb$  достаточно генотипа  $D_+ee$ . Вероятность образования генотипа  $B_+ = 3/4$ . Вероятность образования  $bbD_+ee = 1/4 \times 3/4 \times 1/4 = 3/64$ . Тогда суммарная вероятность смены генотипа гетерозиготы на медленный =  $3/4 + 3/64 = 51/64$ , то есть расщепление быстрый:медленный = 13:51 (**2 балла**). 1/2 потомства будет иметь генотип  $A_1A_1$  по гену А, среди них расщепление быстрый:медленный будет 55:9.

Теперь объединим расщепления. Итоговое расщепление быстрый:медленный =  $68:60 = 17:15$  (**2 балла**).

3)  $A_1A_2BbDdEe \times A_1A_2BbDdEe$ . Расщепление по гену А будет: 1/4  $A_1A_1$ , 1/2  $A_1A_2$ , 1/4  $A_2A_2$ . Среди гомозигот  $A_1A_1$  расщепление быстрый:медленный = 55/64:9/64. Среди гетерозигот  $A_1A_2$  расщепление быстрый:медленный = 13/64:51/64. Все гомозиготы  $A_2A_2$  обладают медленным фенотипом.

Тогда итоговое расщепление:

быстрые =  $55/64 \times 1/4 + 13/64 \times 1/2 = 81/256$ ;

медленные =  $175/256$  (**3 балла**).

#### Задание 6.

А) При слиянии гаплоидных протопластов получается диплоидный гибрид. Если фенотип гибрида нормальный, то мутации у слитых штаммов произошли в разных генах и были «компенсированы» в диплоиде здоровыми аллелями. Если фенотип с большим количеством гаметофоров, то мутации произошли в одном гене. По таблице находим, что мутации в одном и том же гене произошли у двух групп штаммов: OVE-201, OVE-78 и OVE-102 в одном гене, и OVE-100, OVE-300 и OVE-302 – в другом гене (**2 балла: по баллу за группу штаммов**).

Б) Фенотипы будут нормальными: OVE-100 и OVE-130 дают нормальный фенотип гибрида, OVE-302 относится к той же группе, что и OVE-100, следовательно, при слиянии OVE-130 и OVE-302 будет нормальный фенотип. Аналогичные рассуждения для пары OVE-134 и OVE-102 (**1 балл: по 0,5 балла за фенотип**).

В) OVE-300 и OVE-201 имеют мутацию в разных генах, то есть каждый из них несет один нормальный аллель одного гена и один мутантный аллель другого гена ( $Ab$  и  $aB$ ). При слиянии гамет образуется дигетерозигота ( $AaBb$ ), однако в жизненном цикле мха доминирует гаплоидное поколение, поэтому дальше при образовании спор в спорогоне следует мейоз. В результате мейоза получается 4 типа гаплоидных клеток: с двумя нормальными аллелями ( $AB$ ), с одним нормальным и одним мутантным аллелем ( $Ab$  и  $aB$ ) и с двумя мутантными аллелями ( $ab$ ). Нормальный фенотип будет наблюдаться только у гибрида с двумя нормальными аллелями, итоговое расщепление мутанты: нормальные = 3:1 (**1 балл**).

Г) Гибрид OVE-100 и OVE-200 является дигетерозиготой  $BbCc$ , так как образован от слияния штаммов с мутациями в разных генах (В и С). Аналогичная ситуация с гибридом OVE-130 и OVE-300 – он тоже дигетерозигота, только  $BbDd$ , так как OVE-300 несет мутацию в том же гене, что и OVE-100 (В), а OVE-200 и OVE-130 мутантны по разным генам (С и D). Таким образом, при слиянии таких гибридов образуется тетраплоид с генотипом  $BBbbCCcCDDDD$ . При мейотическом делении тетраплоидной клетки в каждую дочернюю клетку попадет по две копии гена. В случае генов С и D расщепления по фенотипу наблюдаться не будет, так как в каждую клетку гарантированно попадет один

нормальный аллель. Для итогового расщепления имеет значение только ген В, расщепление по нему будет следующее: 1 ВВ : 4 Вb : 1 bb по генотипу, то есть 5 нормальных : 1 мутант по фенотипу (**4 балла за полное решение**).

### Задание 7.

А) Построим карту рестрикции. Для начала представим фрагменты, полученные при обработке одной рестриктазой, как суммы фрагментов, полученных при обработке двумя рестриктазами.

| Рестриктазы | Фрагменты | PstI+HindIII | PstI+BglII      | HindIII+BglII       |
|-------------|-----------|--------------|-----------------|---------------------|
| PstI        | 23,2      | 23,2         | 15,4+7,8        | -                   |
|             | 71,8      | 32,3+39,5    | 1,6+8,9+26,3+35 | -                   |
| HindIII     | 32,3      | 32,3         | -               | 32,3                |
|             | 62,7      | 23,2+39,5    | -               | 2,7+7,8+8,9+17+26,3 |
| BglII       | 7,8       | -            | 7,8             | 7,8                 |
|             | 8,9       | -            | 8,9             | 8,9                 |
|             | 17        | -            | 1,5+15,4        | 17                  |
|             | 26,3      | -            | 26,3            | 26,3                |
|             | 35        | -            | 35              | 32,3+2,7            |

Из таблицы видно, какие фрагменты расположены рядом. Построим карту, не забывая про условие, что фрагмент размером 26,3 не соседствует с фрагментом размером 2,7 (**4 балла за полную карту, частичные баллы при ошибках**).

|      | HindIII | BglII | BglII | BglII | PstI | BglII |
|------|---------|-------|-------|-------|------|-------|
| 32,3 | 2,7     | 8,9   | 26,3  | 1,6   | 15,4 | 7,8   |

Б) Сначала использовалась среда без пурина и антибиотика, но с аргинином – выжили только протрофные штаммы по пурину.

Затем среда без пурина, но с аргинином и антибиотиком – выжили только устойчивые к стрептомицину протрофы по пурину (20% от бактерий с прошлой среды).

Последняя среда – без аргинина, пурина и стрептомицина. Пересаженные сюда с первой среды бактерии не выживали (**2 балла**).

В) Расстояние между генами синтеза аргинина и пурина слишком велико, такой участок превышает размер генома фага, поэтому не может быть перенесен трансдукцией (**2 балла**).

### Задание 8.

А) 10 фенотипов. В случае кумулятивной полимерии по двум генам мы можем наблюдать 5 разных размеров плода: самый большой (соответствует 4 доминантным аллелям), большой (соответствует 3 доминантным аллелям), средний (2 доминантных аллеля), мелкий (1 доминантный аллель), самый мелкий (0 доминантных аллелей). По признаку окраски наблюдается два фенотипа: окрашенный и неокрашенный. Если по одному признаку может быть 5 фенотипов, а по другому – 2, то всего возможно  $5 \cdot 2 = 10$  фенотипов (**1 балл**).

Б) 8 типов гамет. Судя по условию, порядок расположения генов на хромосоме следующий: ВAc. Если А сцеплено с В в цис-положении, а с С – в транс, то двойные кроссоверы – это гаметы aBc и AbC. Их совместная частота =  $0,06 \cdot 0,16 = 0,0096$ . То есть каждого типа двойных кроссоверов по 0,48%. Всех кроссоверов по генам А и В должно быть 6%, из них 0,96% уже приходится на двойные кроссоверы. Значит, на оставшиеся кроссоверные гаметы Abc и aBC приходится  $6 - 0,96 = 5,04\%$ . Каждого из этих типов гамет по 2,52%.

Всех кроссоверов по генам А и с должно быть 16%, из них 0,96% уже приходится на двойные кроссоверы. Значит, на оставшиеся кроссоверные гаметы ABC и abc приходится  $16 - 0,96 = 15,04\%$ . Каждого из этих типов гамет по 7,52%. После нахождения частот 6 типов

кроссоверных гамет можем найти частоты оставшихся двух типов некроссоверных гамет, вычитая из 100% частоты известных гамет. Все частоты гамет представлены в таблице (3 балла).

|     |        |
|-----|--------|
| ABC | 7,52%  |
| ABc | 39,48% |
| AbC | 0,48%  |
| Abc | 2,52%  |
| Abc | 2,52%  |
| aBc | 0,48%  |
| abC | 39,48% |
| abc | 7,52%  |

В) Представим скрещивание  $AaBbCcEe \times aabbcc ee$ . На расщепление по фенотипу будет влиять расщепление по гаметам у гетерозиготного растения. Расщепление по гаметам без учёта гена E указано в таблице пункта Б. На фенотип по размеру плода влияет число доминантных аллелей по генам A и E. Тогда, если в гамету от гетерозиготного растения попал аллель A, то с вероятностью 1/2 туда попал еще и аллель E, что приведёт к появлению средних по размеру плодов. С вероятностью 1/2 попал аллель e, что приведёт к появлению мелких плодов. Гаметы, содержащие аллель a, с вероятностью 1/2 содержат аллель E и приведут к образованию мелких плодов, а с вероятностью 1/2 содержат аллель e и приведут к образованию самых мелких плодов.

На расщепление по окраске влияют гены B и C. BC приведёт к окрашенному фенотипу после анализирующего скрещивания, а все остальные типы гамет от гетерозиготного растения приведут к неокрашенному фенотипу после анализирующего скрещивания. Тогда можно модифицировать таблицу из пункта Б, добавив туда фенотипы, к образованию которых приведёт анализирующее скрещивание.

|     |        |                                       |
|-----|--------|---------------------------------------|
| ABC | 7,52%  | Окр., 1/2 средних и 1/2 мелких        |
| ABc | 39,48% | Неокр., 1/2 средних и 1/2 мелких      |
| AbC | 0,48%  | Неокр., 1/2 средних и 1/2 мелких      |
| Abc | 2,52%  | Неокр., 1/2 средних и 1/2 мелких      |
| Abc | 2,52%  | Окр., 1/2 мелких и 1/2 самых мелких   |
| aBc | 0,48%  | Неокр., 1/2 мелких и 1/2 самых мелких |
| abC | 39,48% | Неокр., 1/2 мелких и 1/2 самых мелких |
| abc | 7,52%  | Неокр., 1/2 мелких и 1/2 самых мелких |

Тогда итоговое расщепление по фенотипам после анализирующего скрещивания представлено в таблице (2 балла)

|                      |        |
|----------------------|--------|
| Окр., средние        | 3,76%  |
| Окр., мелкие         | 5,02%  |
| Окр., самые мелкие   | 1,26%  |
| Неокр., средние      | 21,24% |
| Неокр., мелкие       | 44,98% |
| Неокр., самые мелкие | 23,74% |

Г) Самоопыление – это, по сути, скрещивание  $AaBbCcEe \times AaBbCcEe$ . Лучше рассмотреть отдельно расщепление по сцепленным генам (A, B и C) и отдельно расщепление по гену E (1/4 EE, 1/2 Ee, 1/4 ee).

Для расщепления по генам A, B и C будем использовать частоты гамет из пункта Б и изобразим решётку Пеннета. Частоты генотипов находятся как произведения частот гамет, на пересечении которых образуется определённая ячейка. Все ячейки, которые приводят к появлению окрашенного фенотипа, в таблице отмечены жёлтым.

|                 | ABC<br>(0,0752) | ABc<br>(0,3948) | AbC<br>(0,0048) | Abc<br>(0,0252) | aBC<br>(0,0252) | aBc<br>(0,0048) | abC<br>(0,3948) | abc<br>(0,0752) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ABC<br>(0,0752) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| ABc<br>(0,3948) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| AbC<br>(0,0048) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| Abc<br>(0,0252) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| aBC<br>(0,0252) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| aBc<br>(0,0048) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| abC<br>(0,3948) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
| abc<br>(0,0752) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |

Если наложить расщепление, которое можно получить с помощью решётки Пеннета на расщепление по гену E, то получится следующее расщепление по фенотипу (**6 баллов**)

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| Окр., самые большие   | 1,83%  |
| Окр., большие         | 13,88% |
| Окр., средние         | 22,96% |
| Окр., мелкие          | 11,63% |
| Окр., самые мелкие    | 0,71%  |
| Неокр., самые большие | 4,42%  |
| Неокр., большие       | 11,13% |
| Неокр., средние       | 14,54% |
| Неокр., мелкие        | 13,37% |
| Неокр., самые мелкие  | 5,54%  |

### Задание 9.

Пусть А – ген урожайности пузырника, где каждый аллель А прибавляет по 0,3 кг/м<sup>2</sup> урожайности, второй аллель а – не приносит никаких эффектов. R – ген устойчивости к фитопатогену, который встречается у батата, каждый аллель r прибавляет по 0,2 кг/м<sup>2</sup> урожайности, но уменьшает выживаемость на 15%, второй аллель R обеспечивает устойчивость, но не приносит дополнительного урожая. Базовая урожайность без «бонусов» от аллелей при 100% выживаемости составляет 0,3 кг/м<sup>2</sup>.

1) Описанный в задаче метод селекции подразумевает скрещивание двух разных видов, в результате чего получается гибрид с одним гаплоидным набором хромосом батата и одним гаплоидным набором хромосом пузырника. В результате дальнейшей полиплоидизации получаются два диплоидных набора, то есть гибрид будет нести в себе две копии гена устойчивости и две копии гена урожайности.

Для подсчета урожайности U каждого генотипа мы воспользуемся формулой

$$U = (B + U_A * N_A + U_r * N_r) * (1 - W_r * N_r)$$

B – базовая урожайность

$U_A$  – урожайность от одного аллеля А

$U_r$  – урожайность от одного аллеля r

$W_r$  – упадок выживаемости от одного аллеля r

$N_A$  – число копий аллеля А

$N_r$  – число копий аллеля  $r$

|    | AA    | Aa   | aa    |
|----|-------|------|-------|
| rr | 0,91  | 0,7  | 0,49  |
| Rr | 0,935 | 0,68 | 0,425 |
| RR | 0,9   | 0,6  | 0,3   |

Оптимальный генотип AARr – урожайность будет равняться

$$U = (0,3 + 0,3 * 2 + 0,2 * 1) * (1 - 0,15 * 1) = 0,935 \text{ кг/м}^2$$

**(4 балла за генотип и подсчитанную урожайность)**

2) Выведенный гибридный сорт будет выгоднее, так как у пепельного батата максимальная урожайность достигается при генотипе rr

$$U = (0,3 + 0,3 * 0 + 0,2 * 2) * (1 - 0,15 * 2) = 0,49 \text{ кг/м}^2$$

**(2 балла)**

3) Для выведения дигетерозиготного сорта необходимо сначала получить три чистые линии: пузырьники с генотипами AA и бататы с генотипами RR и rr. Порядок действий **(3 балла)**.

Произведем два межвидовых скрещивания:

P: AA x RR

F1: AR

P: AA x rr

F1: ar

Получены стерильные гибриды. Для восстановления фертильности необходимо произвести полиплоидизацию:

AR -> полиплоидизация -> AARR

Ar -> полиплоидизация -> AArr

Эти сорта нужны как промежуточные чистые линии для выведения дигетерозиготы AaRr.

Скрещиваем их между собой

P2: AARR x AArr

F2: AARr

Получаем интересующий нас фертильный сорт. Однако для его поддержания придется постоянно использовать скрещивание чистых линий.

### **Задание 10.**

Запишем скрещивание **(2 балла за генотипы и 2 балла за фенотипы потомства первого поколения)**.

P:  $X^{Ta}X^{tb}$  x  $X^{Tc}Y$

F1:  $1X^{Ta}X^{Tc}$  :  $1X^{Ta}Y$  :  $1X^{tb}X^{Tc}$  :  $1X^{tb}Y$

$X^{Ta}X^{Tc}$  и  $X^{Ta}Y$  не несут дефектных аллелей и обладают нормальной терморегуляцией. Самцы  $X^{tb}Y$  являются гемизиготой по дефектному аллелю, поэтому у них будет выраженное нарушение терморегуляции. Самки  $X^{tb}X^{Tc}$  гетерозиготны по гену терморегуляции. Отношение клеток с активной хромосомой  $X^{Tc}$  к клеткам с активной хромосомой  $X^{tb}$  равно  $c : b = 65 : 35$ , так как хромосома  $X^{tb}$  материнская и эффект происхождения смещает пропорцию на 5% в ее сторону. Таким образом самки  $X^{tb}X^{Tc}$  будут страдать от нарушенной терморегуляции, а расщепление по фенотипам в первом поколении составит 1 : 1.

Попарное скрещивание легче всего представить в виде таблицы.

|               |          | Гаметы самок   |                |                |                |
|---------------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|               |          | $X^{Ta}$       | $X^{Tc}$       | $X^{Tc}$       | $X^{tb}$       |
| Гаметы самцов | $X^{Ta}$ | $X^{Ta}X^{Ta}$ | $X^{Tc}X^{Ta}$ | $X^{Tc}X^{Ta}$ | $X^{tb}X^{Ta}$ |
|               | $X^{tb}$ | $X^{Ta}X^{tb}$ | $X^{Tc}X^{tb}$ | $X^{Tc}X^{tb}$ | $X^{tb}X^{tb}$ |
|               | $Y$      | $X^{Ta}Y$      | $X^{Tc}Y$      | $X^{Tc}Y$      | $X^{tb}Y$      |
|               | $Y$      | $X^{Ta}Y$      | $X^{Tc}Y$      | $X^{Tc}Y$      | $X^{tb}Y$      |

Особи с генотипами  $X^{tb}Y$  и  $X^{tb}X^{tb}$  однозначно страдают от нарушенной терморегуляции. Для гетерозигот следует посчитать отношение число клеток с нормальным аллелем гена терморегуляции к числу клеток с дефектным геном. При этом нужно учитывать эффект происхождения, поэтому запишем генотипы в формате  $X^{\text{материнская}}X^{\text{отцовская}}$ .

Для  $X^{Tc}X^{tb}$  отношение равно  $c : b = 75 : 25$ , терморегуляция нормальная.

Для  $X^{Ta}X^{tb}$  отношение равно  $b : a = 55 : 45$ , терморегуляция нарушенная.

Для  $X^{tb}X^{Ta}$  отношение равно  $b : a = 65 : 35$ , терморегуляция нарушенная.

Таким образом, расщепление по фенотипам во втором поколении составит норма : нарушение = 11 : 5.

**(4 балла за генотипы и 4 балла за фенотипы потомства второго поколения)**