

Решение задач по генетике  
практический тур регионального  
этапа

## 2011-12 уч. год. 11 класс

**Задание 2.** Решите генетическую задачу (макс. 5 баллов) Были получены два мутантных гаплоидных штамма пекарских дрожжей, не способных расти в отсутствие аденина в среде. Они были обозначены как *ade1* и *ade2*. На твёрдой среде они давали колонии красного цвета, в отличие от бесцветных колоний дикого типа. При совместном культивировании штаммов *ade1* и *ade2* и рассеивании на твёрдую среду кроме красных колоний образовывались и бесцветные. Одна из таких колоний дала начало устойчивому штамму, который не нуждался в аденине. Клетки этого штамма под действием ацетата натрия образовывали аски, из спор которых выросли колонии, четверть из которых были бесцветными, а три четверти – красными. Что Вы можете сказать о наследовании мутаций *ade1* и *ade2*?

**Задание 3.** Решите генетическую задачу (маx. 5 баллов) Штамм кишечной палочки, не способный расти на среде без аргинина и серина смешали с штаммом, не способным расти в отсутствии триптофана. Через определённые промежутки времени отбирали пробы, резко встряхивали и высевали на чашки Петри со средами, не содержащими определённых аминокислот. Результаты приведены в таблице.

Среда	Без серина	Без триптофана	Без серина и триптофана	Без аргинина и триптофана	Без аргинина, серина и триптофана
5 мин	+	+	-	-	-
10 мин	+	+	-	+	-
15 мин	+	+	-	+	-
20 мин	+	+	+	+	+

Объясните полученные результаты.

## 2012-13 уч. год. 11 класс

**Задание 2.** Решите генетические задачи (макс. 10 баллов) 1. Молекулярная генетика прокариот (макс. 5 баллов) Ваш друг попросил Вас секвенировать два гена бактерий, один из которых кодирует ДНК- связывающий регуляторный белок, а другой – протеазу, активную в кислой среде. При этом он сказал Вам, что одна из бактерий – мезофильный почвенный микроорганизм, а другая – термофил из горячего источника, однако забыл подписать пробирки с образцами, переданными на секвенирование. У Вас получились следующие последовательности:

1.1...ААТ ГАА АГТ ГАА АТГ ГАТ ТГТ ГЦТ...

1.2...ГЦГ ЦГГ ГГГ АГГ ГГЦ ГЦЦ ААГ ЦЦГ...

Приведены два фрагмента кодирующих цепей, для удобства разбитые на кодоны, табличка генетического кода напечатана внизу страницы (У в иРНК соответствует Т в кодирующей цепи ДНК).

1А) Переведите последовательности нуклеотидов 1.1 и 1.2 в последовательности аминокислот (2 балла, по 1 баллу за каждую)

## Генетический код (молекулы иРНК)

### Положение азотистого основания в кодоне

1-е	2-е				3-е
	У	Ц	А	Г	
У	УУУ } Фен УУЦ } УУА } Лей УУГ }	УЦУ } УЦЦ } Сер УЦА } УЦГ }	УАУ } Тир УАЦ } УАА } «Стоп» УАГ }	УГУ } Цис УГЦ } УГА } «Стоп» УГГ } Три	У Ц А Г
Ц	ЦУУ } ЦУЦ } Лей ЦУА } ЦУГ }	ЦЦУ } ЦЦЦ } Про ЦЦА } ЦЦГ }	ЦАУ } Гис ЦАЦ } ЦАА } Гли ЦАГ }	ЦГУ } ЦГЦ } Арг ЦГА } ЦГГ }	У Ц А Г
А	АУУ } АУЦ } Иле АУА } АУГ } Мет: «Начало»	АЦУ } АЦЦ } Тре АЦА } АЦГ }	ААУ } ААЦ } Асп ААА } ААГ } Лиз	АГУ } Сер АГЦ } АГА } Арг АГГ }	У Ц А Г
Г	ГУУ } ГУЦ } Вал ГУА } ГУГ } Вал: «Начало»	ГЦУ } ГЦЦ } Ала ГЦА } ГЦГ }	ГАУ } ГАЦ } Асп ГАА } ГАГ } Глу	ГГУ } ГГЦ } Гли ГГА } ГГГ }	У Ц А Г

1.1...ААТ ГАА АГТ ГАА АТГ ГАТ ТГТ ГЦТ...

1.2...ГЦГ ЦГГ ГГГ АГГ ГГЦ ГЦЦ ААГ ЦЦГ...

1Б) Какая последовательность, вероятно, принадлежит термофильной бактерии и почему? (1 балл)

1В) Какая последовательность, вероятно, кодирует ДНК-связывающий белок, и почему? (1 балл)

1Г) Какая последовательность, вероятно, кодирует кислую протеазу и почему? (1 балл)

Решения генетических задач (маж. 10 баллов)

1А)

1.1 Асн Глу Сер Глу Мет Асп Цис Ала

1.2 Ала Арг Гли Арг Гли Ала Лиз Про

1Б) Последовательность 1.2, потому что в ней преобладают пару ГЦ, которые имеют более высокую температуру плавления (важна для термофила), потому что удерживаются тремя водородными связями по сравнению с двумя водородными связями в паре АТ

1В) Последовательность 1.2, потому что она кодирует белок, богатый положительно заряженными аминокислотами аргинином и лизином, которые хорошо связываются с отрицательно заряженным сахарофосфатным остовом ДНК.

1Г) Последовательность 1.1, потому что потому что она кодирует белок, богатый отрицательно заряженными аминокислотами — аспарагиновой и глутаминовой кислотами, которые меняют заряд в кислой среде, что может вызвать изменение конформации белка и тем самым активировать его.

**2. Генетика вирусов. (5 баллов)** Для изучения возможности переноса генов между бактериями с помощью бактериофагов Вы взяли препарат умеренного бактериофага P1, (его геном состоит из двунитевой ДНК, размер генома фага составляет 93 тысячи п.н.) и два штамма кишечной палочки – первый ауксотрофный (неспособный синтезировать самостоятельно) по лейцину и треонину, и чувствительный к азиду натрия, второй штамм - прототрофный (способный самостоятельно синтезировать) по всем аминокислотам, но устойчивый к азиду натрия.

**2А)** Какой из этих штаммов вы будете использовать в качестве донора генетической информации, а какой в качестве реципиента, и почему? 1 балл. На штамме-доноре Вы получили отличный урожай новых фагов, которыми заразили штамм-реципиент.

**2Б)** Почему зараженные бактерии не умирают, а получают новые гены? 1 балл. После этого вы поместили зараженные фагом клетки штамма-реципиента на среду без лейцина и треонина, и обнаружили, что все выросшие на ней клоны чувствительны к азиду натрия.

**2В)** Объясните, почему нет клонов, устойчивых к азиду натрия? 1 балл



После этого Вы поместили зараженные фагом клетки штамма-реципиента на среду только без лейцина, и обнаружили, что 50% выросших клонов устойчивы к азиду, а ещё 2% выросших клонов могут расти без треонина. Другую часть зараженных фагом клеток штамма-реципиента Вы высеяли на среду только без треонина, и обнаружили, что 3% выросших клонов к тому же могут расти без лейцина, однако клонов, устойчивых к азиду, нет.

2Г) Как гены *leu*, *thr* и *azi* располагаются друг относительно друга? Какие из них расположены близко к друг другу, а какие далеко друг от друга? Нарисуйте схему этого участка генома кишечной палочки. 1 балл  
Полная длина генетической карты кишечной палочки, полученная методом прерывания конъюгации, составляет 100 минут, при этом гены, отвечающие за синтез лейцина и треонина передаются с интервалом примерно 2 минуты.

2 Д) Определите и обоснуйте на основе этой информации примерный размер генома кишечной палочки в парах оснований? 1 балл

# Решение

2А) Донором будет второй штамм, потому что он несёт доминантные гены прототрофности по лейцину и треонину, и доминантный же ген устойчивости к азиду. Чтобы увидеть изменение фенотипа, надо перенести доминантные гены в штамм с рецессивными генами (реципиент – первый штамм).

2Б) Бактериофаг P1 иногда может ошибаться и упаковывать в свой капсид часть ДНК из генома хозяина. После заражения таким фагом бактерия-реципиент получает эту ДНК с генами, доставшимися от штамма-донора. Кроме того, P1 – умеренный фаг, поэтому он как правило не убивает сразу заражённую клетку.

2В) Размер капсида фага, рассчитанного примерно на 93 т.п.н, слишком мал, чтобы туда поместился фрагмент ДНК из генома штамма-донора, содержащий все три маркерных гена сразу, помещается только фрагмент от *leu* до *thr*.

2Г) Ген *azi* и *leu* располагаются рядом, потому что получившие прототрофность по лейцину часто (в 50%) получают и устойчивость к азиду. Ген *thr* далеко от них, причём ген *azi* дальше от него, чем ген *leu*, потому что прототрофность по треонину не сочетается с устойчивостью к азиду. Гены расположены так:

*azi leu* *thr* или зеркально симметрично

2Д) Расстояние между генами *leu* и *thr* (2 минуты), которые уместаются вместе в капсил фага P1, в 50 раз меньше, чем полный размер генома (100 минут), значит и геном кишечной палочки приблизительно в 50 раз больше, чем геном фага P1, то есть примерно 4,65 миллионов пар нуклеотидов.

## 2013-2014 г.

**Вариант 1.** Окраска семян бобовых и их размер иногда демонстрируют моногенное наследование. Вы решили проверить это для фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.), у которой фасолины могут быть красными либо белыми, а также иметь большой либо маленький размер. Ваша знакомая взяла две фасолины, крупную красную и красную маленькую, прорастила их и получила два растения. Растение, выросшее из крупного красного семени она перекрестно опыляла пылью с растения, выросшего из мелкого красного семени. К ее большому удивлению, в бобах от этого скрещивания оказались фасолины четырех различных фенотипов, часть из которых она передала Вам для того, чтобы Вы помогли ей объяснить получившиеся результаты. Ранее от скрещивания двух растений с такими же фенотипами Ваша знакомая получала только крупные красные семена. Опишите фенотипические классы, встречающиеся в Вашей выборке, пересчитайте число семян в каждом из них и заполните Таблицу 1.

**Таблица 1. Соотношение семян в четырех фенотипических классах (1 балл)**

	<b>Размер семян</b>		
<b>Окраска семян</b>	<b>Крупные</b>	<b>Мелкие</b>	<b>Всего</b>
<b>Красные</b>			
<b>Белые</b>			
<b>Всего</b>			

**Общее количество семян:** \_\_\_\_\_

Предположите, каким образом наследуется окраска семян фасоли, и каким образом наследуется их размер. Заполните пропуски в утверждениях на листе ответов и составьте схему скрещивания. Сформулируйте гипотезу о характере расщепления, и проверьте ее при помощи критерия  $\chi^2$ .

Заполните таблицу на Листе ответов.

Ваша знакомая также обнаружила, что второе растение, с которого она брала пыльцу, (выросшее из маленькой красной фасолины) самоопылялось и на нем образовалось несколько бобов. Составьте схему этого скрещивания, ответьте на вопросы на Листе ответов.

## ГЕНЕТИКА. ЛИСТ ОТВЕТОВ

1) (1 балл) Окраска семян фасоли наследуется по типу \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_(0,5 б.), причем красная окраска \_\_\_\_\_(0,25 б.),  
а белая - \_\_\_\_\_(0,25 б.).

2) (1 балл) Размер семян фасоли наследуется по типу \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_(0,5 б.), причем крупные семена \_\_\_\_\_(0,25 б.),  
а мелкие - \_\_\_\_\_(0,25 б.).

3) (1 балл) Окраска и размер семян фасоли наследуются полностью сцеплено/ с  
неполным сцеплением/ независимо друг от друга (подчеркните правильный вариант).

4) (1 балл) Полученные данные указывают на то, что ожидаемое расщепление фасоли  
по окраске семян в данном скрещивании составляет \_\_\_\_ : \_\_\_\_ (0,5 б.), а ожидаемое  
расщепление фасоли по размеру семян составляет \_\_\_\_ : \_\_\_\_ (0,5 б.).

5) (3 балла) Предложите обозначения для генов, отвечающих за размер семян и их  
окраску, используя их, составьте ниже схему скрещивания для случая Вашей  
знакомой (первым укажите растение, с которого была взята пыльца).

Фенотип семени Р:

красное -

белое -

крупное - F<sub>1</sub>:

мелкое -

6) (6 баллов) Используя формулу  $\chi^2 = \sum((H-O)^2/O)$  и таблицу 2, рассчитайте значение непараметрического статистического критерия  $\chi^2$ , характеризующего, насколько хорошо практические результаты скрещивания соотносятся с Вашим ожидаемым расщеплением. Сравните найденное вами значение критерия  $\chi^2$  с критическим и сделайте вывод о моногенности наследования окраски и размера семян (окраску и размер проверять независимо!), вписывая найденные величины и подчеркивая правильные варианты ответа. Заполните таблицу 2 (по 0,25 балла за ячейку).

Таблица 2. Расчет критериев  $\chi^2$  для окраски и размера семян

Фенккласс	Наблюдаемое (H)	Ожидаемое (O)	H-O	$(H-O)^2 / O$
Белые семена				
Красные семена				
Крупные семена				
Мелкие семена				



Критические значения критерия  $\chi^2$  для 1, 2, 3, 4 и 5 степеней свободы и  $\alpha=0,95$  составляют 3.84, 5.99, 7.81, 9.49 и 11.07 соответственно.

Выберите степени свободы, характеризующие наследование окраски и размера семян фасоли, и определите критические значения критерия  $\chi^2$ .

Полученное значение критерия  $\chi^2$  для окраски равно \_\_\_\_\_, что больше/меньше критического значения, равного \_\_\_\_\_, поэтому наследование окраски семян в данном случае является/не является моногенным (подчеркните правильный вариант). (1 балл)

Полученное значение критерия  $\chi^2$  для размера равно \_\_\_\_\_, что больше/меньше критического значения, равного \_\_\_\_\_, поэтому наследование размера семян в данном случае является/не является моногенным (подчеркните правильный вариант). (1 балл)

7) (3 балла) Составьте схему скрещивания для самоопыления растения фасоли, пыльцу которого брали для скрещивания в пункте 5, используя те же обозначения.

Фенотип семени

P:

красное -

белое -

крупное -

F<sub>1</sub>:

мелкое -

8) (2 балла) Найдите вероятности того, что случайно взятая фасоль, выросшая на самоопылявшемся растении из пункта 7, окажется:

Крупной красной \_\_\_\_\_

Мелкой красной \_\_\_\_\_

Крупной белой \_\_\_\_\_

Мелкой белой \_\_\_\_\_

9) (2 балла) Рассчитайте вероятность того, что все три из трех случайно выбранных фасолин от самоопылявшегося растения будут по размеру и окраске точно такими же, как та фасоль, из которой выросло это растение. \_\_\_\_\_

---

# Решение

Во всех трех вариантах используется одна и та же генетическая модель, в которой красная окраска фасолины доминирует над белой, а крупный размер семени доминирует над мелким, наследование признаков независимо.

**В варианте 1** предлагается скрещивание вида  $Aabb \times AaBb$  (здесь и далее аллель  $A$  определяет красную окраску, аллель  $a$  – белую, аллель  $B$  – крупный размер, аллель  $b$  – мелкий размер), таким образом, в идеальной выборке из 32 семян для варианта 1 должно быть 12 красных крупных и 12 красных мелких семян, 4 белых крупных и 4 белых мелких.

В задании 7 для **1 варианта** скрещивание будет иметь вид  $Aabb \times Aabb$ , все семена будут мелкими, из них  $\frac{3}{4}$  красных и  $\frac{1}{4}$  белых. Соответственно, в задании 9 для варианта 1 искомая вероятность составит  $(\frac{3}{4})^3 = 27/64 = 0,422$ .

# Расчет вероятности

$$\text{Вероятность события } A = \frac{\text{Число благоприятных для события } A \text{ исходов}}{\text{Общее число всех возможных исходов}}$$

**Пример 1.** В корзине 9 красных шаров и 3 синих. Шары различаются только цветом. Наугад (не глядя) достаём один из них. Какова вероятность того, что выбранный таким образом шар окажется синего цвета?

Решение. Теперь вычислим вероятность выбора синего шара.

Событие А: "выбранный шар оказался синего цвета"

Общее число всех возможных исходов:  $9+3=12$  (количество всех шаров, которые мы могли бы вытащить)

Число благоприятных для события А исходов: 3 (количество таких исходов, при которых событие А произошло, - то есть, количество синих шаров)

$$P(A)=3/12=1/4=0,25$$

Ответ: 0,25

Посчитаем для той же задачи вероятность выбора красного шара.

Общее число возможных исходов останется тем же, 12. Число благоприятных исходов: 9. Искомая вероятность:  $9/12=3/4=0,75$ .

## 2014-2015г.

2.1. Выборки и популяции небольшого размера могут показывать существенные отклонения от ожидаемых генетических закономерностей. Представьте себе, что прочитав работу Иоганна Грегора Менделя «Опыты над растительными гибридами», её решил воспроизвести Евгений Базаров, персонаж романа Ивана Сергеевича Тургенева «Отцы и дети». К сожалению, в отличие от Менделя, Базаров оказался стеснен в средствах и смог выращивать в каждом поколении только четыре растения в четырех горшках на подоконнике единственного окна своей комнаты. Базаров полагал, что четырех растений достаточно для демонстрации расщепления 3 : 1. Для скрещиваний Евгений выбрал сорт гороха с карликовым стеблем и пурпурными цветками и второй сорт с высоким стеблем и белыми цветками. В поколении F<sub>1</sub> он получил все четыре растения с высоким стеблем и пурпурными цветками. Проведите моделирование того, что мог получить Евгений Базаров, в последующих поколениях, используя предложенные Вам монеты. Для каждого признака и каждого растения нужно одновременно провести бросок двух монет. Для признака роста и признака окраски цветками во избежание путаницы используйте разные пары монет. Обозначьте одну сторону монеты как доминантную аллель, а вторую – как рецессивную аллель. Тогда комбинация выпавших сторон двух монет будет соответствовать генотипу отдельно взятого растения по одному гену. Заполните на основании Вашего моделирования таблицу 1 далее, используя следующие обозначения аллелей: высокий рост – Т, карликовость – t, пурпурные цветки – Р, белые цветки – р. Гены Р и Т наследуются независимо друг от друга.



## 2.1. Схема скрещиваний

**P:**  $ppTt \times PpTt$   
бел, высок      пурп, карл

**F<sub>1</sub>:**  $PpTt$   
пурп, высок

**F<sub>2</sub>:**  $9 P-T- : 3 ppT- : 3 P-tt : 1 pptt$   
пурп, выс    бел, выс    пурп, карл    бел, карл

В таблице следует засчитывать любые генотипы, записанные с использованием предложенных обозначений, и не засчитывать генотипы, записанные буквами А и В (поскольку в условии нет генов, обозначенных подобным образом). Фенотипы должны соотноситься с указанными для растений генотипами. Вероятности для отдельных фенотипов в таблице следуют из указанных выше фенотипов и составляют 9/16 для пурпурного высокого, 3/16 для белого высокого, 3/16 для пурпурного карликового и 1/16 для белого карликового.

**2.2.** Получилось ли у Вас соотношение 3 : 1 в поколении F<sub>2</sub> для высоты стебля или окраски цветка? Если нет, не огорчайтесь, вероятность этого отнюдь не 100%.

Какова вероятность того, что в выборке размером 4 особи в потомстве от скрещивания двух гетерозигот Aa x Aa три потомка будут иметь доминантный фенотип а один – рецессивный фенотип? Для решения нужно найти вероятность одной элементарной комбинации (например, первое растение - рецессивное, а второе, третье и четвертое – доминантные) и число этих элементарных комбинаций. Для числа элементарных комбинаций можно использовать формулу числа сочетаний:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$$

, в которой n – размер совокупности, m – размер выборки, которую делают из совокупности, n! – произведение натуральных чисел от 1 до n.

Вероятность получить 3 доминантных фенотипа и 1 рецессивный в выборке из 4 особей

составит: \_\_\_\_\_, так как элементарных комбинаций будет \_\_\_\_\_, а вероятность

одной из них составит: \_\_\_\_\_ (1 балл за правильную вероятность расщепления 3:1, по 0,5 балла за число комбинаций вероятность и вероятность одной из них, максимум за задание 2 балла).

**Решение. 2.2.** Вероятность получить 3 доминантных фенотипа и 1 рецессивный в выборке из 4 особей составит 27/64 (засчитываются также 0,422 или 42,2%) так как элементарных комбинаций будет 4 а вероятность одной из них составит 1/4 x (3/4)<sup>3</sup> (засчитывать также 10,5% или 0,105).



**2.3.** Аркадий Кирсанов заметил, что в эксперименте Базарова слишком мало растений, чтобы наблюдать независимое наследование признаков и проверить третий закон Менделя, поэтому он пригласил Базарова к себе в имение, и тот вырастил 160 растений поколения F<sub>2</sub>. Среди них оказалось 11 карликовых растений с белыми цветками, 26 карликовых растений с пурпурными цветками, 31 высокое растение с белыми цветками и 92 высоких растения с пурпурными цветками. Базаров решил сравнить свои полученные результаты с ожидаемыми при помощи критерия  $\chi^2$ . Заполните таблицу 2, рассчитайте значение критерия  $\chi^2$  и оцените степень соответствия наблюдаемых данных с ожидаемым расщеплением. Для расчета критерия  $\chi^2$  используйте формулу:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

, где O – наблюдаемое число особей в определенном фенотипическом классе, а E – теоретически ожидаемое число особей в этом же фенотипическом классе. Используйте для сравнения критическое значение  $\chi^2=7,81$ .

**Таблица 2. Характеристика заданного поколения F<sub>2</sub>.**

<b>Фенотипический класс</b>	<b>Карликовые белые</b>	<b>Карликовые пурпурные</b>	<b>Высокие белые</b>	<b>Высокие пурпурные</b>
<b>Наблюдаемое (O)</b>	<b>11</b>	<b>26</b>	<b>31</b>	<b>92</b>
<b>Ожидаемое (E)</b>				

*За каждую правильно заполненную клетку Таблицы 2 ставится 0,25 балла (макс. 1 балл).*

Значение критерия  $\chi^2$  составляет: \_\_\_\_\_, (2 балла) что больше/меньше (подчеркнуть) критического значения  $\chi^2 = 7,81$ , поэтому предположение о независимом наследовании признаков высота стебля и окраска цветка подтверждается/опровергается (подчеркнуть) (1 балл). Максимум за задание – 4 балла.

**Решение. 2.3** Ожидаемое количество особей также следует из расщепления 1 : 3 : 3 : 9 и составляет для соответствующих фенотипических классов 10 : 30 : 30 : 90. Значение критерия  $\chi^2$  составляет 0,711, что меньше критического значения, поэтому предположение о независимом наследовании признаков высота стебля и окраска цветка подтверждается. В случае противоречия между подчеркнутыми утверждениями в последнем предложении (например, участник ответил, что значение критерия  $\chi^2$  меньше критического, но независимость наследования не подтверждается), ставится 0 баллов