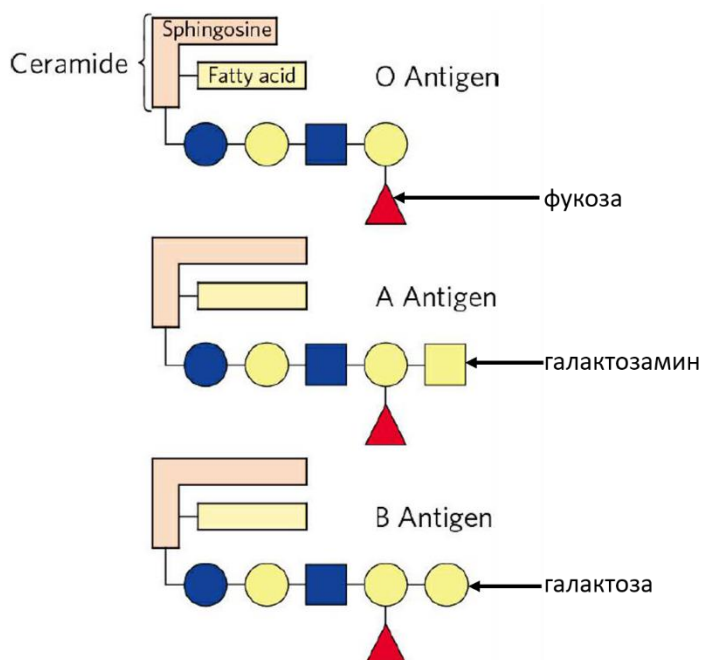


Московская олимпиада школьников по генетике, 13.03.2022

Заключительный этап. Теоретический тур.

11 класс.

1. Группы крови по системе АВ0 выделяются из-за наличия в мембране эритроцитов разных людей отличающихся гликолипидов, как показано на рисунке. Ген, ответственный за эту систему определения групп крови, кодирует фермент гликозилтрансферазу, который не активен у людей с группой крови 0, навешивает на гликолипид дополнительный галактозамин у людей с группой крови А или дополнительную галактозу у людей с группой крови В. Однако, деятельность этого фермента возможна только, если на гликолипид уже была навешена дополнительная фукоза. Эта реакция связана с другим ферментом, кодируемым геном Н. В случае генотипа hh по гену Н фукоза не навешивается на гликолипид, поэтому даже при наличии активной гликозилтрансферазы А и/или В соответствующие группы крови не проявляются, что называют Бомбейским феноменом. В свою очередь, гликолипид с фукозой, но без галактозы или галактозамина называют антигеном Н. В норме антитела к антигену Н у людей не производятся.



1.1. Если бы антитела к антигену Н вырабатывались клетками человека в больших количествах, каким группам крови можно было бы переливать плазму от доноров с четвёртой группой крови, учитывая только системы групп крови Н и АВ0?

1.2. Если бы антитела к антигену Н вырабатывались клетками человека в больших количествах, каким группам крови можно было бы переливать эритроцитарную массу от доноров с четвёртой группой крови, учитывая только системы групп крови Н и АВ0?

1.3. Антитела к каким антигенам можно будет обнаружить в плазме крови детей от брака $NhI^A I^B$ и $hhI^B i$? Если потомство не единообразно, то укажите соотношение генотипов и для каждого генотипа укажите антитела.

(10 баллов)

2. Определённые нарушения, возникающие во время деления клеток, могут привести к нерасхождению хромосом или хроматид во время анафазы митоза или мейоза. Изобразите

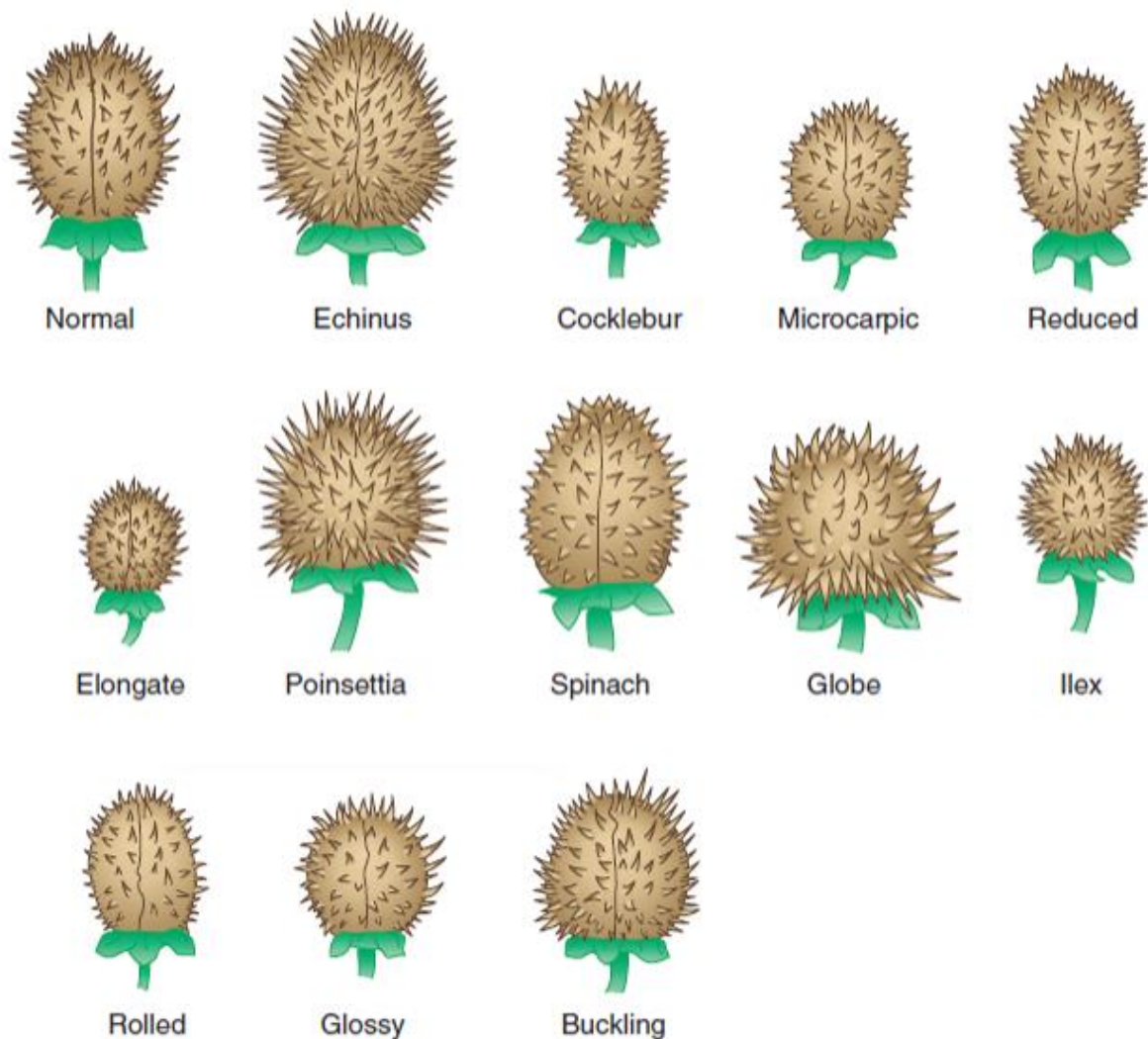
схематично, клетки с каким набором хромосом и в каком соотношении образуются после второго деления мейоза, если диплоидная клетка млекопитающего с набором половых хромосом XX вступит в мейоз, в котором произойдет:

- а) нерасхождение по пятой паре аутосом в первом делении мейоза;
- б) нерасхождение по половым хромосомам во втором делении мейоза;
- в) нерасхождение по половым хромосомам в обоих делениях мейоза;
- г) нерасхождение по половым хромосомам в первом делении мейоза и по седьмой паре аутосом во втором делении.

На каждом схематичном рисунке необходимо изобразить только те хромосомы, с которыми связано нарушение в каждом из пунктов а-г. Для всех клеток на рисунках необходимо подписать общее число хромосом.

(12 баллов)

3. В клетках диплоидного растения *Datura leichhardtii* находится 12 пар хромосом. В таком случае растение имеет нормальный фенотип, как показано на картинке ниже (Normal). Далее показаны мутанты-трисомики по каждой из 12 пар хромосом, все они имеют разные фенотипы.



Какое потомство и в каком соотношении по хромосомному набору и по фенотипу вы ожидаете получить от скрещивания растений Reduced и Ilex между собой? Начните решение задачи с описания гамет, которые образует каждое из этих растений. Считайте, что

с вероятностью 10% в первом делении мейоза три гомологичные хромосомы у мутанта не расходятся вовсе. По нормальным парам гомологичных хромосом в первом делении мейоза и по всем хромосомам во втором делении мейоза со 100% вероятностью происходит расхождение. Если растение-потомок является трисомиком по нескольким парам гомологичных хромосом, оно не выживает. Если растение является тетрасомиком по какой-либо паре гомологичных хромосом, то оно проявляет фенотип SuperReduced или SuperPlex, соответственно.

(9 баллов)

4. У двудомного диплоидного цветкового растения с планеты Палисад определённая доминантная мутация по гену **A** приводит к накоплению в эндосперме тёмного пигмента. Чем больше доминантных аллелей по этому гену в клетках эндосперма, тем больше пигмента в них накапливается.

4.1. Вспомните пloidность эндосперма цветковых растений и, исходя из этого, напишите, сколько градаций окраски эндосперма может встречаться у растений с планеты Палисад. Ответ поясните.

4.2. Напишите схемы скрещиваний и ожидаемые расщепления для следующих скрещиваний:

а) женское растение **aa**, мужское растение **AA**;

б) мужское растение **aa**, женское растение **AA**;





в) женское растение – гетерозигота, мужское растение – рецессивная гомозигота;

г) мужское растение – гетерозигота, женское растение – доминантная гомозигота.

(10 баллов)

5. Окраска надкрылий у божьей коровки определяется четырьмя аллелями одного гена.

В таблице представлены фенотипы:

			
axyridis	conspicua	succinea	spectabilis

Чистые линии божьих коровок **conspicua** и **axyridis** скрестили между собой (**скрещивание 1**). В потомстве все особи имели фенотип **conspicua**. Затем скрестили чистые линии **spectabilis** и **succinea** (**скрещивание 2**). В потомстве все особи имели фенотип **spectabilis**. При скрещивании любых особей **succinea** между собой потомство всегда имело одинаковый фенотип. Потомков скрещивания 1 скрестили с потомками скрещивания 2 и получили фенотипы **spectabilis**, **conspicua** и **axyridis** в соотношении **1:2:1** (**скрещивание 3**).

5.1. Пропишите все упомянутые в задаче схемы скрещиваний с указанием генотипов всех особей.

5.2. Можно ли поставить скрещивание, в потомстве которого будут все 4 фенотипа? Ответ поясните.

5.3. Какое расщепление по генотипу и фенотипу вы ожидаете получить от скрещивания:

- а) потомства скрещивания 1 между собой;
- б) потомства скрещивания 2 между собой;
- в) особей **axyridis** из потомства скрещивания 3 с потомством скрещивания 1;
- г) особей **axyridis** из потомства скрещивания 3 с потомством скрещивания 2?

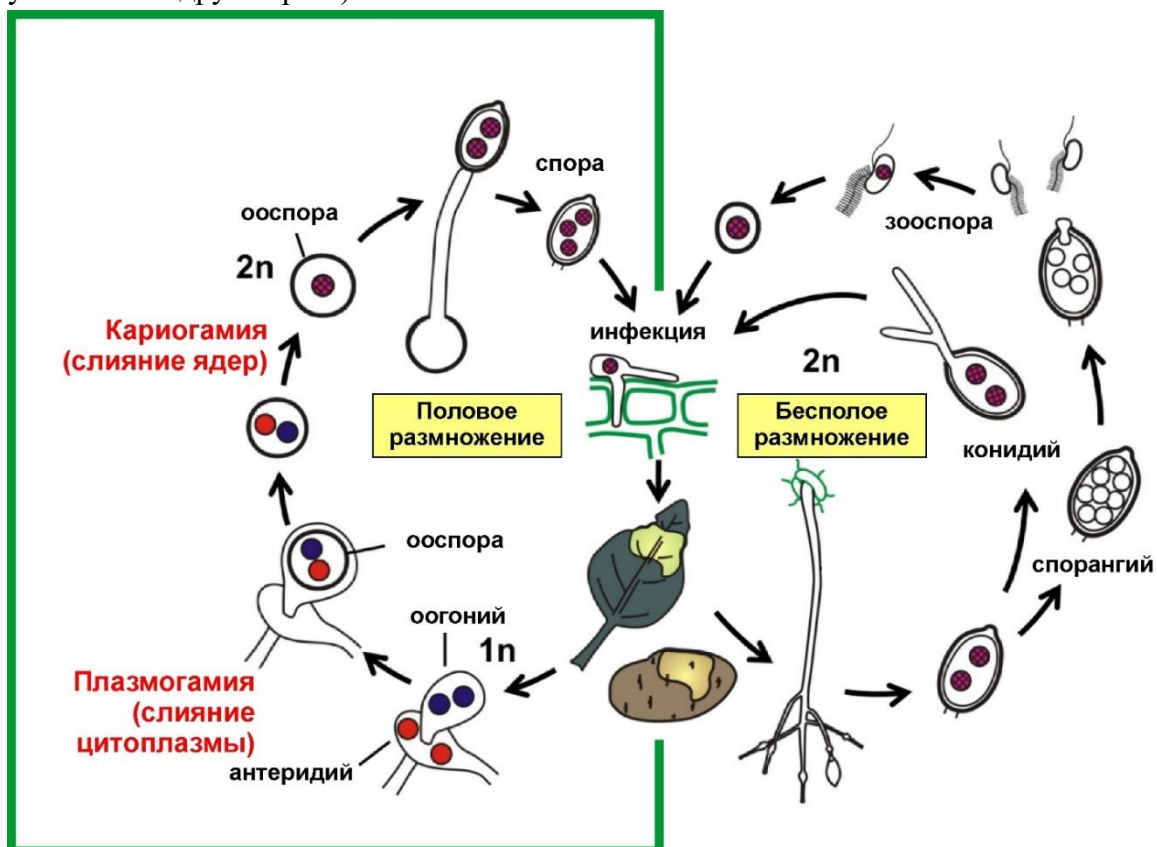
Для каждого пункта приведите решение.

(11 баллов)

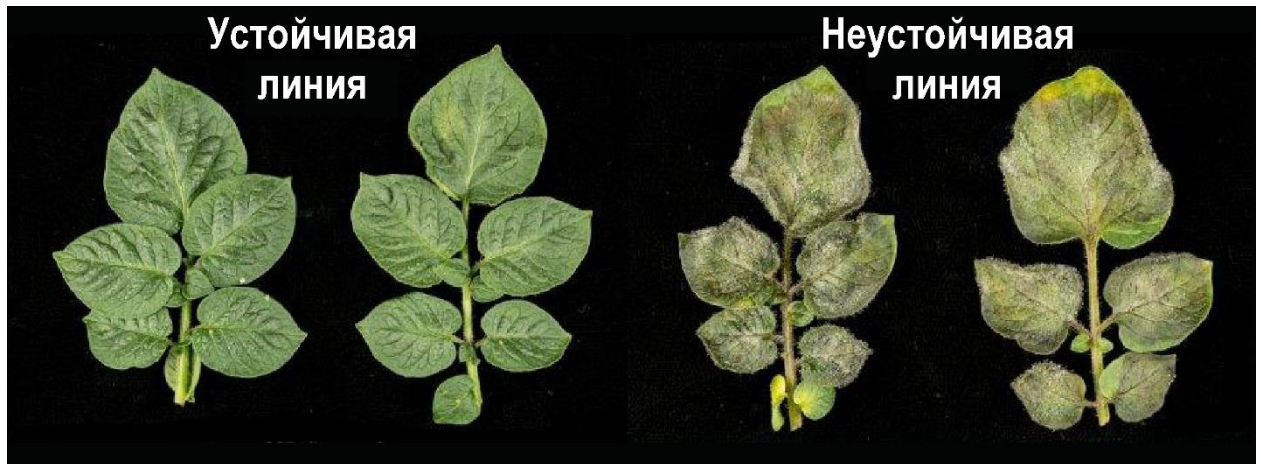
6. Гены А и В находятся в одной группе сцепления. При анализирующем скрещивании гетерозиготы АаВв было получено расщепление, в котором доля особей АаВв составила 28%, Ааbb - 22%, ааВв - 22%, аabb - 28%. Какой будет доля особей с генотипом ААbb в потомстве при скрещивании дигетерозигот, полученных от скрещивания чистых линий ААВВ и аabb?

(9 баллов)

7. Фитофтора (*Phytophthora infestans*) – опасное заболевание картофеля, поражающее листья, надземные стебли, а в дальнейшем – клубни, как показано на рисунке. Потери урожая картофеля от заболевания во влажные годы особенно велики. Для борьбы с заболеванием выводят устойчивые сорта, скрещивая определённые линии растений. При этом каждая линия устойчива к какой-то одной расе фитофторы (но может быть не устойчива к другой расе).

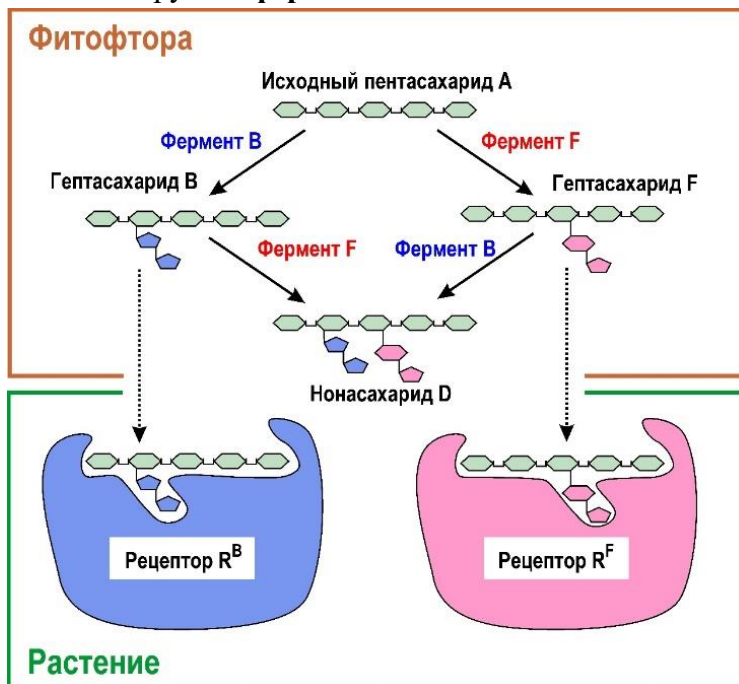


Пораженные листья и клубни картофеля. Жизненный цикл фитофторы.



Реакция на некоторую расу фитофторы устойчивого и неустойчивого картофеля.

Фитофтора в процессе метаболизма выделяет олигосахариды, которые участвуют во взаимодействии с растением-хозяином. Предположим, что исходно фитофтора синтезирует линейный пентасахарид А. Далее фермент В добавляет боковую цепочку ко второму остатку углевода (показано синим), а фермент F – боковую цепочку к третьему остатку (показано красным). За образование фермента В отвечает ген В, у гомозигот bb фермент В не синтезируется. Аналогично, за образование фермента F отвечает ген F, у гомозигот ff не синтезируется фермент F. Гены В и F находятся в разных хромосомах.



Неразветвлённый пентасахарид А не взаимодействует с рецепторами растения. Разветвлённый гептасахарид В может взаимодействовать с рецептором R^B, который находится на мембране растительной клетки. Если рецептор узнал этот гептасахарид, развивается иммунная реакция: в клетке образуется много перекиси водорода, клетка погибает, а вместе с ней погибает и фитофтора. Точно так же, разветвлённый гептасахарид F может взаимодействовать с рецептором R^F клетки картофеля, и при этом инфекция также будет неудачной: клетка растения погибнет вместе с фитофторой. Эта реакция называет

реакцией сверхчувствительности и позволяет растению пожертвовать небольшой частью клеток, но при этом растение в целом остается здоровым.

Допустим, что в растении ген рецептора **R** представлен тремя аллелями: **R^B**, **R^F** и **r** (без рецептора). Если ни один из рецепторов не распознал олигосахариды фитофторы, или рецепторов нет, то реакции сверхчувствительности нет, гифы гриба могут проникать дальше и возникает инфекция.

7.1. В результате отбора проб на поле картофеля вы обнаружили расу фитофторы, которая синтезирует **нонасахарид D** и содержит все промежуточные продукты биосинтеза. Какими могут быть генотипы этой расы? Своё мнение обоснуйте.

7.2. На одном из рисунков выше показаны «карманы» в белках-рецепторах, соответствующие **гептасахариду В** или **гептасахариду F**. Будут ли эти рецепторы взаимодействовать с **нонасахаридом D**? Почему?

7.3. В лабораторных условиях вы скрестили две гомозиготные расы фитофторы: у одного родителя присутствует **гептасахарид В**, а у другого – **гептасахарид F**. Предложите генотипы родительских рас и гибридных спор первого поколения.

7.4. Гибридные споры, полученные в результате скрещивания, вы тестируете на растениях с генотипами **R^BR^B**, **R^FR^F**, и **R^BR^F**. Предскажите результаты (инфекция/сверхчувствительность) тестирования для каждого генотипа. Ответ поясните.

7.5. Используя линию картофеля **rr**, вы вырастили мицелий из спор первого поколения и собрали споры второго поколения. Предложите расщепление среди этих спор по генотипам в виде решетки Пеннета. В клетках решетки также укажите, какой набор олигосахаридов (**A, B, D, F**) вы ожидаете для спор каждого из генотипов.

7.6. Далее провели тестирование спор второго поколения на растениях с генотипами **R^BR^B**, **R^FR^F**, и **R^BR^F**, высевая одиночные споры на листья растения-хозяина. Какова доля спор, которые смогут инфицировать растения в каждом случае? Каковы их генотипы? Какие олигосахариды они синтезируют? Ответ обоснуйте.

7.7. Вы взяли густую суспензию из спор второго поколения и нанесли в виде укола в одну точку на лист растения с генотипом **R^BR^F**. Возникнет ли инфекция? Почему?

(15 баллов)

8. В 1968 году Роберт Холли, Хар Гобинд Корана и Маршалл Ниренберг получили нобелевскую премию за «Расшифровку генетического кода и его роли в синтезе белков». Одним из основных свойств генетического кода является триплетность, то есть кодирование одного аминокислотного остатка в белке с помощью трёх идущих подряд нуклеотидов.

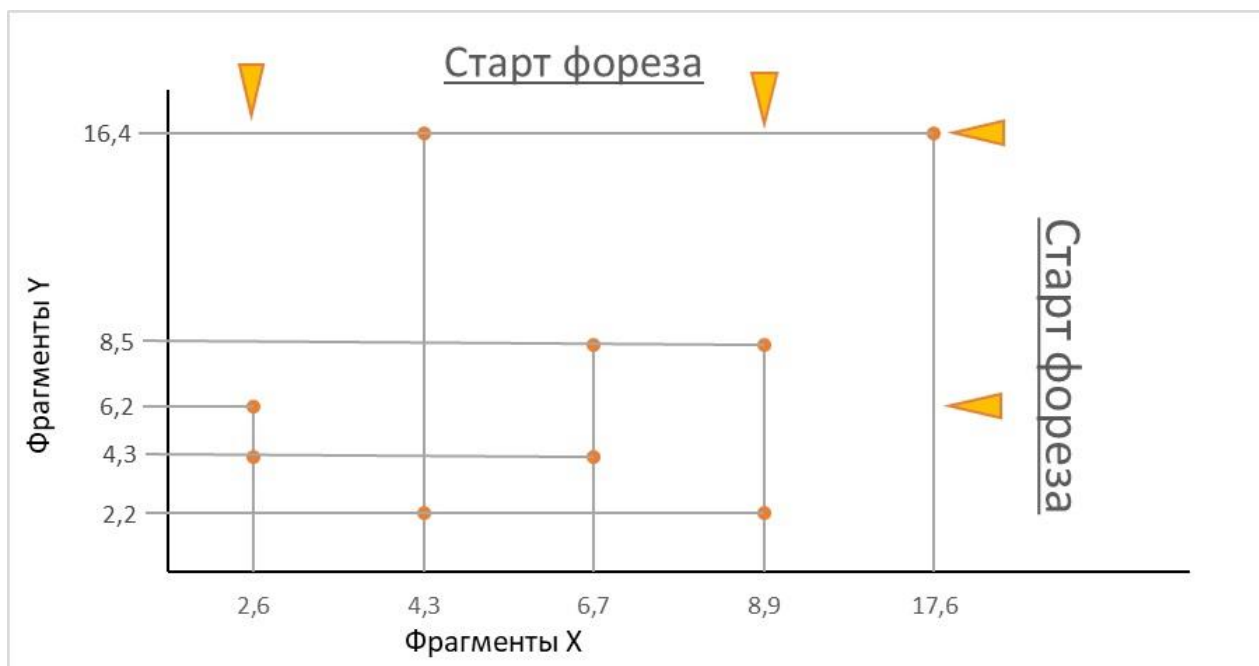
В ходе расшифровки генетического кода учёные использовали полинуклеотидные цепочки, полученные путем соединения нуклеотидов из раствора одного или нескольких нуклеотидов. Затем такие цепочки использовались в *in vitro* реакции синтеза белка. Таким образом было установлено, что полинуклеотид, синтезированный из смеси, содержащей только уридилы нуклеотиды, кодирует полифенилаланиновые цепочки белков. А полимер из цитидиловых нуклеотидов кодирует полипролиновые пептиды. В таблице ниже показаны результаты нескольких таких экспериментов.

Нуклеотиды в смеси	Полученные аминокислоты в пептидных цепочках
U	Фенилаланин
C	Пролин
U и C (соотношение 1:1) (эксперимент 3)	Фенилаланин, Пролин, Лейцин и Серин (в равных количествах)
U и C (соотношение 5:1) (эксперимент 4)	Фенилаланин, Пролин, Лейцин и Серин (Фенилаланин > Лейцин = Серин > Пролин)

По результатам этих экспериментов заполните таблицу на листе №6 Бланка ответов.

(8 баллов)

9. Эндонуклеазы рестрикции (далее рестриктазы) вносят асимметричные или реже симметричные двуцепочечные разрывы в молекулы ДНК. Каждая эндонуклеаза рестрикции узнаёт свою определённую последовательность нуклеотидов в ДНК (сайт рестрикции) и вносит разрыв в районе этой последовательности. Для определения, на каком расстоянии друг от друга и от концов линейного фрагмента ДНК находятся сайты рестрикции двух рестриктаз, провели следующий эксперимент. В первом опыте к 5'-концам линейного фрагмента химическим путём присоединили определённую метку и полностью расщепили линейный фрагмент ДНК по отдельности каждой из двух рестриктаз. Фрагменты, которые после рестрикции оказались мечеными, показаны на рисунке ниже треугольными стрелками. Во втором опыте немеченные линейные фрагменты ДНК полностью расщепили по отдельности каждой из двух рестриктаз. Фрагменты, полученные после первого и после второго опытов, разделили с помощью электрофореза с использованием очень широких лунок в геле. А далее осуществили полный перенос разделившихся фрагментов из геля на определённую мембрану. Разделение фрагментов, полученных в первом и втором опытах после обработки каждой из рестриктаз, на электрофорезе проводили отдельно. Однако перенос этих фрагментов на мембрану для опытов с одной рестриктазой проводили в вертикальном направлении, а для опытов с другой рестриктазой – в горизонтальном направлении. В результате такого переноса на мембране образовывались участки, где одновременно присутствуют определённые по размеру фрагменты от рестрикции первой рестриктазой и определённые по размеру фрагменты от рестрикции второй рестриктазой. Если в таких фрагментах были взаимно комплементарные последовательности, то такие фрагменты взаимодействовали между собой, что на рисунке ниже показано кружками. Используя эти данные, постройте карту рестрикции исходного линейного фрагмента ДНК двумя изучаемыми рестриктазами: на рисунке изобразите расстояния между сайтами рестрикции, а также от сайтов рестрикции до концов линейного участка ДНК.



(8 баллов)

10. Для оценки генетического разнообразия популяции используются такие параметры, как *полиморфизм* и *гетерозиготность*.

Полиморфизм – это отношение числа полиморфных локусов в генотипе к общему числу исследуемых локусов. Полиморфными считаются локусы с более чем одним аллелем. Однако некоторые аллели могут встречаться в популяции с чрезвычайно низкой частотой, а другие – с крайне высокой. Для повышения репрезентативности параметра полиморфизма дополнительно вводят *критерий полиморфности*: локус с несколькими аллелями считается полиморфным, если частота самого распространенного аллеля этого локуса не превышает критерий полиморфности.

Гетерозиготность – это доля гетерозигот в популяции по исследуемому локусу. Различают *наблюдаемую* и *ожидаемую* гетерозиготность. Наблюдаемая гетерозиготность рассчитывается как отношение числа гетерозигот к общему числу особей. Ожидаемая гетерозиготность рассчитывается, исходя из предположения, что популяция подчиняется закону Харди-Вайнберга. Избыток гетерозигот относительно ожидаемой гетерозиготности свидетельствует о селективном преимуществе гетерозигот, а нехватка – о нарушении панмиксии в популяции.

Было проведено исследование генетического разнообразия популяции жука с планеты Карапаксиан по 20 локусам, из которых по 6 локусам в популяции присутствует единственный аллель. По остальным локусам частоты аллелей представлены в таблице (см. следующую страницу).

№ локуса	Частота аллеля					Гетерозиготность	
	1	2	3	4	5	$H_{набл}$	$H_{ожид}$
1	0,972	0,028				0,058	
2	0,121	0,022	0,857			0,224	
3	0,130	0,370	0,430	0,070		0,724	
4	0,134	0,843	0,023			0,282	
5	0,008	0,014	0,953	0,025		0,040	
6	0,342	0,074	0,267	0,207	0,110	0,795	
7	0,012	0,974	0,014			0,049	
8	0,023	0,623	0,354			0,497	
9	0,398	0,602				0,478	
10	0,270	0,730				0,416	
11	0,478	0,522				0,500	
12	0,023	0,007	0,006	0,003	0,961	0,078	
13	0,756	0,134	0,110			0,391	
14	0,167	0,833				0,281	

10.1. Рассчитайте полиморфизм популяции (P), если критерий полиморфности равен 0,95.

10.2. Чему равна средняя наблюдаемая гетерозиготность популяции по всем локусам? Чему равна средняя наблюдаемая гетерозиготность популяции по полиморфным локусам? Приведите решение.

10.3. Рассчитайте ожидаемую гетерозиготность по полиморфным локусам и заполните таблицу на листе №7 Бланка ответов. Выпишите номера локусов, по которым наблюдается отбор в пользу гетерозигот.

(8 баллов)