

## Решения заочного тура олимпиады Ломоносов по Биологии

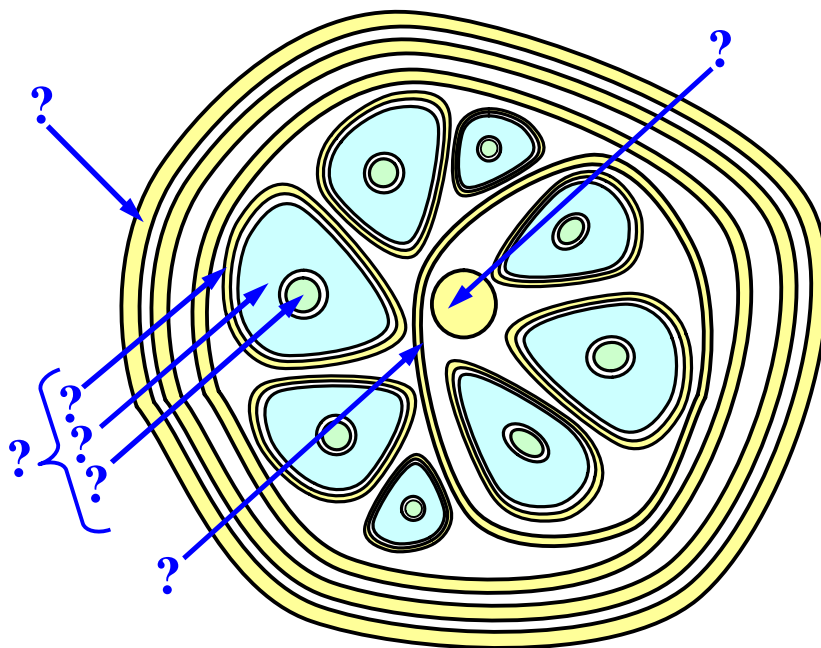
### 5-7 классы

**Задание 1.** Удаление многих ненужных веществ у животных осуществляется через выделительную систему. А какие вещества, с помощью каких органов или частей тела и зачем выделяют растения?

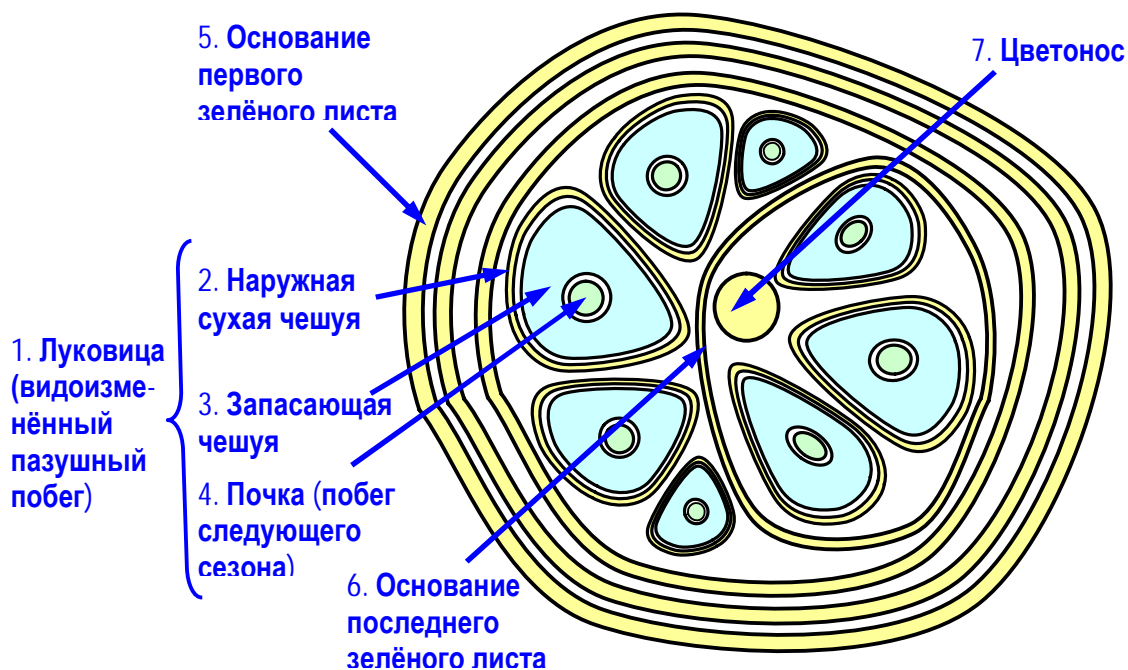
**Ответ:**

- Избавление от избытка поглощённой соли (при засолении почв) или солей тяжёлых металлов и других ксенобиотиков (при загрязнении ими почвы): аккумуляция соли в листьях и дальнейшее их сбрасывание.
- Также вместе со старыми листьями растения избавляются от ненужных продуктов обмена (балластных веществ, например, оксалатов).
- Выделение воды с помощью устьиц и/или гидатод для поддержания вертикального тока воды и растворённых веществ по растению, для охлаждения листьев и удаления избытка воды.
- Выделение (с помощью вторично активного транспорта) ионов натрия корнями.
- Выделение хелатирующих соединений корнями в почву для повышения эффективности поглощения труднодоступных и слаборастворимых элементов минерального питания (например, ионов железа). Выделение органических кислот.
- Выделение видоспецифичных сигнальных вторичных метаболитов корнями для узнавания потенциальными симбиотическими бактериями и грибами и образования симбиозов (клубеньки, микориза).
- Выделение (секреция) летучих соединений-аттрактантов органами цветка для привлечения опылителей или плодами для привлечения распространителей семян.
- Выделение летучих соединений (эфирные масла) для отпугивания травоядных животных.
- Выделение пищеварительных ферментов и кислот пищеварительными железами на листьях или цветках у хищных насекомоядных растений.
- Выделение слизи клетками корневого чехлика. Выделение сахаров, азотистых соединений, витаминов вместе с отслаивающимися клетками корневого чехлика для формирования ризосферы.
- Выделение нектара в нектарниках для насекомых-опылителей.
- Выделение веществ, препятствующих росту других растений (аллелопатия).

**Задание 2.** При размножении чеснока высаживают индивидуальные луковицы («зубчики»), из которых в течение лета возникают сборные луковицы («головки»). На продольном и поперечном срезе схематически нарисуйте ряд стадий развития, на которых показано, как формируется сборная луковица. Подпишите указанные на рисунке части сборной луковицы. Какие из них соответствуют надземным органам?



Решение.



#### Шаг 1. Надписи на рисунке.

Итак, одиночный «зубчик» – это отдельная луковица (1). Луковицей называют видоизменённый побег, служащий для запасаания питательных веществ в основном в тканях листьев (чешуях). Снаружи луковица покрыта сухой чешуёй (2). Это – видоизменённый первый лист бокового побега. Надземных частей у этого листа нет. Под сухой чешуёй находится сочная запасающая чешуя (3). Это – видоизменённый второй лист бокового побега. Он также не имеет надземных частей. В центре к донцу прикреплены 3-й и последующие листья, которые принадлежат тому же боковому побегу и формируют почку (4). Листья, находящиеся в почке, в

следующем сезоне разовьются в зелёные надземные листья. Все листья чеснока - замкнутые в основании.

Следующим летом при созревании луковиц зелёные листья отмирают, и от них остаются кольцевые сухие чешуи, укрывающие настоящие луковицы. Сухое кольцевое основание нижнего листа образует самую наружную общую чешую сборной луковицы (5). Из основания самого верхнего (последнего) листа получается самая внутренняя чешуя сборной луковицы (6). В центре сборной луковицы – сухой остаток цветоноса (7). 5, 5 и 7 - органы, имеющие надземную часть.

Особенность чеснока – образование нескольких боковых побегов в пазухе одного и того же листа. Именно поэтому под одной сухой чешуёй (например, 6) можно найти не одну, а несколько луковиц («зубчиков»). Несколько побегов, расположенных в пазухе одного листа «бок о бок» друг к другу называются коллатеральными («бокобочными»). Таким образом, луковицы у чеснока – это видоизменённые коллатеральные побеги.

## **Шаг 2. Построение серии продольных и поперечных срезов**

Теперь можно нарисовать срез отдельной луковицы («зубчика») чеснока с натуры. Коричневым тонировано донце луковицы (это – видоизменённый стебель). Голубым цветом показана запасующая сочная чешуя (=лист), жёлтым – защитная сухая чешуя (=лист). Зелёным в центре показана почка и зачаток надземного листа.

Поскольку каждый лист в основании замкнут (кольцевой), то на продольном срезе он попадает дважды: со стороны без листовой пластинки, и со стороны с листовой пластинкой.

Далее запасы питательных веществ в чешуе луковицы расходуются (это показано «сжатием» внутреннего контура чешуи), нарастают зелёные листья. Каждый новый лист располагается под углом 180 градусов к предыдущему, поэтому листовые пластинки отходят то справа, то слева. Для простоты на схеме показаны лишь 3 зелёных листа (на самом деле их бывает больше).

После полного исчерпания запасов питательных веществ, сочная чешуя окончательно разрушается. Сухая чешуя расщепляется на несколько частей из-за того, что происходит утолщение оснований зелёных листьев.

Далее закладывается цветонос (расположен в центре). Детали строения цветоноса не показаны. Они не важны для обсуждения появления сборной луковицы. В этот момент в пазухах зелёных листьев в основании (фактически – на донце) появляются боковые почки – отдельные луковицы или «зубчики». Каждый лист окрашен в соответствии с предыдущими схемами. Обратите внимание, что зубчики должны располагаться с той же стороны, где отходит листовая пластинка наружного (кроющего) листа.

Самая крупная отдельная луковица располагается строго посередине – соответствует центральной жилке зелёного листа. Остальные отстают в росте и появляются неодновременно.

В сборной луковице чеснока как правило две группы отдельных луковиц («зубчиков»): одна находится в пазухе самого верхнего, последнего зелёного листа, а другая – в пазухе предпоследнего. Очень редко в формировании сборной луковицы участвует другое число листьев.

**Задание 3.** У каких членистоногих система кровеносных сосудов развита лучше, а у каких она редуцирована и почему?

**Ответ.** У всех членистоногих кровеносная система незамкнутая, т.е. кровь часть пути течёт по сосудам, а часть – по полостям между органами. Различное развитие системы кровеносных сосудов у разных групп членистоногих связано с различием выполняемых функций.

Наименьшее развитие наблюдается у насекомых, т.к. кровь у них не участвует в транспорте кислорода (система трахейного дыхания доставляет кислород непосредственно в органы).

Наиболее развиты сосуды у большинства ракообразных, т.к. они дышат жабрами, через которые должна проходить кровь. Из жабр кровь засасывается в сердце через специальные отводящие сосуды, а от сердца по нескольким артериям изливается в полости переднего и заднего концов тела.

У паукообразных система сосудов имеет промежуточное развитие, т.к. кровь обогащается кислородом, двигаясь в полости тела и омывая лёгочные мешки.

**Задание 4.** Какие беспозвоночные используют фильтрацию как механизм питания, и на основе каких структур у них сформировались фильтрующие аппараты? Какие общие черты свойственны всем животным-фильтраторам?

**Ответ.** Фильтраторы – это водные организмы, получающие пищу путём фильтрации воды с выделением взвешенных в ней органических веществ. Активные фильтраторы сами создают ток воды через наружные или находящиеся внутри тела фильтрационные приспособления при помощи движения ресничек, сокращения мускулатуры и т.п. Пассивные фильтраторы используют течения, которые приносят взвешенные частицы.

Общие черты, свойственные всем животным - фильтраторам:

- фильтраторы ведут прикрепленный или малоподвижный образ жизни.
- фильтраторы питаются мелкими пищевыми объектами: бактериями, протистами, водорослями, мелкими беспозвоночными, детритом.

Основные группы фильтраторов:

**Тип Губки.** У губок одни и те же клетки – хоаноциты – создают ток воды за счёт биения своих жгутиков и улавливают из неё пищевые частицы, задерживающиеся на воротничке из микроворсинок вокруг жгутика.

**Тип круглые черви класс коловратки**

На головном конце тела находится коловращательный аппарат, образованный длинными ресничками. Мерцание ресничек (напоминает вращение колеса – отсюда название органа и самих животных) образует водоворот, втягивающий частицы пищи в ротовое отверстие.

**Тип кольчатые черви класс полихеты**

Многочетинковые сидячие черви фильтруют воду щупальцами, расположенными вокруг рта

**Тип Членистоногие:**

**Класс Ракообразные**

**Отряд Веслоногие раки**

**Отряд Усоногие**

**Отряд Ветвистоусые раки**

**Класс насекомые, личинки комаров и мошек**

Создают ток воды и осуществляют фильтрацию с помощью ножек, ротовых придатков и антенн.

**Тип Моллюски Класс Двустворчатые моллюски**

Через нижний (вводной) сифон вода поступает внутрь мантийной полости, проходит сквозь жабры и через верхний (выводной) сифон выходит наружу. Ток воды создается ресничным эпителием, выстилающим жабры. Двустворчатые моллюски фильтруют воду с помощью жабр и с помощью слизи осуществляют захват и транспорт ко рту пищевых частиц.

#### **Тип плеченогие и тип мшанки**

Осуществляют фильтрацию щупальцами с мерцательными ресничками, которые создают постоянный приток воды в мантийную полость, доставляя пищевые частицы

#### **Тип Иголокожие Классы Морские Лилии и Голотурии**

Морские лилии и голотурии фильтруют воду с помощью окологротовых амбулакральных ножек.

#### **Тип Хордовые подтип Оболочники.**

У асцидий току воды способствует мерцательный эпителий ротового сифона, на дне которого располагается ротовое отверстие, окружённое щупальцами. Рот ведёт в мешковидную глотку, пронизанную жаберными отверстиями. Эта глотка выполняет две функции - дыхания и фильтрации пищевых частиц.

У аппендикулярий фильтрующий аппарат секретируется в виде сети или мешка из слизистых нитей.

## 8-9 классы

**Задание 1.** У растений при превращении липидов (растительного масла) в глюкозу, необходимую для образования клеточной стенки, теряется примерно 25% атомов углерода. При использовании крахмала такие потери не возникают. Тем не менее, многие растения используют липиды в качестве запасных веществ в разных частях семени.

Какие преимущества может дать использование липидов в качестве запасных веществ (по сравнению с крахмалом)? Какие недостатки есть у липидов как запасных веществ семян?

### Решение.

1. Запасные липиды состоят из глицерина, который связан сложноэфирной связью с тремя остатками жирных кислот. Например, триглицерид олеиновой кислоты имеет формулу  $(C_{17}H_{33}COO)_3C_3H_5$ . В приведённом в примере составе липида на 57 атомов углерода приходится 104 атома водорода и только 6 атомов кислорода. Крахмал – это полимер глюкозы с общей формулой  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Если взять для сравнения 54 атома углерода, то в крахмале на них придётся 90 атомов водорода и 45 атомов кислорода. Если считать «полезной» массу углерода, то в липидах «полезная масса» составит около 77%. Для крахмала «полезная масса» углерода составляет около 44%. Таким образом, липиды оказываются более «концентрированным» источником углерода, чем крахмал.

2. В составе крахмала содержится много ОН-групп, которые взаимодействуют с водой, прочно удерживая её. Кроме крахмала в семенах содержится ещё и связанная с ним вода. Таким образом, липиды позволяют снизить массу запасённых питательных веществ (при том же содержании углерода). Важно для растений с относительно небольшой массой семени.

Плотность крахмальных зёрен (со связанной водой) больше  $1 \text{ г/см}^3$ . Запасные липиды – гидрофобные вещества, которые практически не связывают воду. Плотность липидов меньше  $1 \text{ г/см}^3$ . Таким образом, липиды должны запасаться у семян с повышенной «плавучестью» (низкой плотностью) – здесь размер семени не играет роли.

Липиды нерастворимы в воде, поэтому их нельзя транспортировать по растению. Крахмал легко превращается в растворимые сахара, которые используются для транспорта.

### 3. Экологические адаптации

Запас липидов важен прежде всего для снижения массы семени при распространении ветром. У большинства растений, имеющих приспособления для полёта, преобладающими запасными веществами являются липиды. Пример – семена хлопчатника, окутанные волосками (ватой) для полёта. Снижение массы также важно для сорных растений, у которых образуется много мелких семян. Примеры – сурепка, горчица, рыжик. Повышение плавучести важно для семян и плодов, распространяющихся водой. Пример – кокосовая пальма (в эндосперме семени много липидов).

### 4. Преимущества и недостатки липидов

Если сравнивать липиды с крахмалом, то окажется, что при превращении липидов в углеводы теряется не менее 25% атомов углерода, тогда как при превращении крахмала в липиды теряется не менее 33% атомов углерода. Потери углерода происходят из-за того, что из одной молекулы глюкозы в процессе гликолиза сначала должны образоваться 2 молекулы пировиноградной кислоты ( $2 \times 3 = 6$  атомов углерода), а потом из двух молекул пировиноградной кислоты с потерей двух молекул углекислого газа получается две молекулы ацетилкоэнзима А – непосредственного предшественника жирных кислот (остаётся  $2 \times 2 = 4$  атома углерода из начальных 6). Таким образом, и превращение

липидов в углеводы, и превращение углеводов в липиды происходит с потерей атомов углерода. Но превращение липидов в углеводы «экономичнее».

Крахмал в качестве запасающего вещества невыгодно использовать в тех частях семени, в которых при прорастании потребуется интенсивно развитая мембранная система. В первую очередь, высока потребность в липидах при формировании хлоропластов. Так, у тыквы семядоли выносятся на поверхность земли и превращаются в фотосинтезирующие семядольные листья. В них содержится много липидов. У гороха семядоли остаются в земле, запасы питательных веществ должны транспортироваться в надземную часть.

Здесь преобладает крахмал.

Крахмал легко набухает в воде, семя быстрее поглощает воду при прорастании. Липиды этого преимущества лишены.

Часто в семенах накапливаются как крахмал, так и липиды.

**Задание 2.** Обычно два вида, потребляющие один и тот же вид пищи, находятся в конкурентных отношениях друг с другом, и один вид стремится вытеснить другой. В условиях степных местообитаний травоядные копытные и травоядные грызуны потребляют один и тот же вид пищи – зеленые части растений. Логично было бы ожидать, что исчезновение одного из конкурентов принесет выгоду другому члену этой системы, однако в данном случае исчезновение травоядных копытных сказывается на кормовой базе грызунов самым негативным образом. Предложите возможные объяснения этой ситуации.

**Ответ:** Копытные, будучи крупными животными, образующими стада, потребляют большое количество пищи. В период вегетации они выедают различные виды растений относительно равномерно, не давая возможности доминирующим видам вытеснить остальные. Грызуны же питаются преимущественно одним или несколькими определёнными видами растений, изменяя соотношение в биоценозе не в их пользу. Поэтому исчезновение копытных приводит к изменению спектра видов в пользу тех, которые не поедаются грызунами, что снижает кормовую базу грызунов. В зимний период копытные достают высохшую растительную пищу из-под снега. Уничтожая зимой сухую растительность, копытные способствуют лучшему прорастанию семян весной, что ведёт к развитию более плотного травяного покрова.

Кроме того, вытаптывая большие участки и втоптывая семена степных злаков в почву, они способствуют их сохранению и прорастанию. Таким образом при умеренном количестве копытных поддерживают естественный растительный покров степи.

**Задание 3.** В физиологии хорошо известен закон, который получил название закон «все или ничего». Объясните, как Вы понимаете этот закон. Попробуйте объяснить следующий эффект: одиночное мышечное волокно отвечает на раздражение по закону «все или ничего». Однако при раздражении целой мышцы наблюдается увеличение амплитуды сокращения при увеличении силы раздражения. С чем это связано?

**Решение:**

1. Согласно закону «всё или ничего» возбудимая ткань (нервная и мышечная) в ответ на действие раздражителей или совсем не отвечает на раздражение, если величина его недостаточна (ниже порога), или отвечает максимальной реакцией, если раздражение достигает пороговой величины; с дальнейшим увеличением силы раздражения величина и длительность ответной реакции ткани не меняются.

2. Мышца содержит множество мышечных волокон, сокращение каждого вызывается собственным нерво-мышечным синапсом.
3. Порог раздражения для разных волокон различен. При небольшой величине стимула возбуждаются и сокращаются наиболее возбудимые волокна, имеющие более низкий порог возбудимости, при больших силах – волокна менее возбудимые.
4. Чем большее количество волокон возбудится и сократится, тем сильнее будет сокращение всей мышцы.

**Задание 4.** *У людей, живущих в высокогорных районах, показатели крови отличаются от соответствующих показателей жителей равнин. В чем заключаются эти отличия? Чем они объясняются?*

**Решение:** Одним из основных различий в условиях жизни жителей этих двух групп является содержание кислорода в воздухе. Известно, что в высокогорных районах атмосферное давление понижено, что приводит к понижению парциального давления кислорода. В результате гемоглобин не полностью насыщается кислородом, и кровь приносит меньше кислорода в ткани.

Для компенсации недостатка  $O_2$  происходит несколько изменений в системе его транспорта:

1. увеличивается скорость образование эритроцитов, что приводит к повышению содержание эритроцитов в крови у жителей высокогорных районов с 5-6 млн. до 7-8 млн. на мкл;
2. Увеличивается содержание гемоглобина в эритроцитах;
3. увеличивается размер эритроцитов;
4. вышеуказанные причины приводят к увеличению вязкости крови, вследствие чего увеличивается объем сердца и размер сердечной мышцы.



## 10-11 классы

**Задание 1.** Какие беспозвоночные используют фильтрацию как механизм питания, и на основе каких структур у них сформировались фильтрующие аппараты? Какие общие черты свойственны всем животным-фильтраторам?

**Ответ.**

Фильтраторы – это водные организмы, получающие пищу путём фильтрации воды с выделением взвешенных в ней органических веществ. Активные фильтраторы сами создают ток воды через наружные или находящиеся внутри тела фильтрационные приспособления при помощи движения ресничек, сокращения мускулатуры и т.п. Пассивные фильтраторы используют течения, которые приносят взвешенные частицы.

Общие черты, свойственные всем животным – фильтраторам:

- фильтраторы ведут прикрепленный или малоподвижный образ жизни.
- фильтраторы питаются мелкими пищевыми объектами: бактериями, протистами, водорослями, мелкими беспозвоночными, детритом.

Основные группы фильтраторов:

**Тип Губки.** У губок одни и те же клетки – хоаноциты – создают ток воды за счёт биения своих жгутиков и улавливают из неё пищевые частицы, задерживающиеся на воротничке из микроворсинок вокруг жгутика.

**Тип круглые черви класс коловратки**

На головном конце тела находится коловращательный аппарат, образованный длинными ресничками. Мерцание ресничек (напоминает вращение колеса – отсюда название органа и самих животных) образует водоворот, втягивающий частицы пищи в ротовое отверстие.

**Тип кольчатые черви класс полихеты**

Многочетинковые сидячие черви фильтруют воду щупальцами, расположенными вокруг рта

**Тип Членистоногие:**

**Класс Ракообразные**

**Отряд Веслоногие раки**

**Отряд Усоногие**

**Отряд Ветвистоусые раки**

**Класс насекомые, личинки комаров и мошек**

Создают ток воды и осуществляют фильтрацию с помощью ножек, ротовых придатков и антенн.

**Тип Моллюски Класс Двустворчатые моллюски**

Через нижний (вводной) сифон вода поступает внутрь мантийной полости, проходит сквозь жабры и через верхний (выводной) сифон выходит наружу. Ток воды создается ресничным эпителием, выстилающим жабры. Двустворчатые моллюски фильтруют воду с помощью жабр и с помощью слизи осуществляют захват и транспорт ко рту пищевых частиц.

**Тип плеченогие и тип мшанки**

Осуществляют фильтрацию щупальцами с мерцательными ресничками, которые создают постоянный приток воды в мантийную полость, доставляя пищевые частицы

**Тип Иголкожие Классы Морские Лилии и Голотурии**

Морские лилии и голотурии фильтруют воду с помощью околоротовых амбулакральных ножек.

**Тип Хордовые подтип Оболочники.**

У асцидий току воды способствует мерцательный эпителий ротового сифона, на дне которого располагается ротовое отверстие, окружённое щупальцами. Рот ведёт в мешковидную глотку, пронизанную жаберными отверстиями. Эта глотка выполняет две функции - дыхания и фильтрации пищевых частиц.

У аппендикулярий фильтрующий аппарат секретируется в виде сети или мешка из слизистых нитей.

**Задание 2.** У людей, живущих в высокогорных районах, показатели крови отличаются от соответствующих показателей жителей равнин. В чем заключаются эти отличия? Чем они объясняются?

**Решение:**

Одним из основных различий в условиях жизни жителей этих двух групп является содержание кислорода в воздухе. Известно, что в высокогорных районах атмосферное давление понижено, что приводит к понижению парциального давления кислорода. В результате гемоглобин не полностью насыщается кислородом, и кровь приносит меньше кислорода в ткани.

Для компенсации недостатка  $O_2$  происходит несколько изменений в системе его транспорта:

1. увеличивается скорость образования эритроцитов, что приводит к повышению содержания эритроцитов в крови у жителей высокогорных районов с 5-6 млн. до 7-8 млн. на мкл;
2. Увеличивается содержание гемоглобина в эритроцитах;
3. увеличивается размер эритроцитов;
4. вышеуказанные причины приводят к увеличению вязкости крови, вследствие чего увеличивается объем сердца и размер сердечной мышцы.

**Задание 3.** Была определена последовательность нуклеотидов информационной РНК около начала кодирующего участка:

УАГАУГАЦУАААУГЦАУААГГУЦАГГГГАГУААГААУААГАЦГГУГАЦУАЦАГЦУУИспользуя таблицу генетического кода, определите, сколько аминокислотных остатков содержит закодированный в ней пептид и каким будет при pH 7,0 его заряд?

**Ответ:**

Поскольку точная точка начала синтеза белка не указана, существует две возможности:

**Первая** – точка начала синтеза находится перед приведённой последовательностью. Тогда разбивка на кодоны может происходить тремя способами (со сдвигом на один нуклеотид) и может реализоваться одна из трёх возможных рамок считывания. Пусть первая рамка начинается с первого нуклеотида приведённой поверхности: УАГ АУГ АЦУ ААА УГЦ и т.д. Первый кодон – УАГ – терминирующий, т.е. эта рамка не продолжается в приведённой последовательности. Вторая рамка начнётся со сдвигом на один нуклеотид:

У АГА УГА ЦУА ААУ Г и т.д. В этой рамке во втором положении оказывается терминирующий кодон (подчёркнут). Третья рамка УА ГАУ ГАЦ УАА АУГ содержит терминирующий кодон в третьем положении, т.е. тоже не кодирует пептида. Таким образом, начало синтеза не может находиться перед приведённой последовательностью.

**Второй** вариант – начало синтеза находится в приведённой последовательности. В этом случае в её начале должен находиться иницирующий кодон АУГ. Находим первый АУГ кодон (подчёркнут), а после него разбиваем последовательность на тройки УАГАУГ АЦУ ААА УГЦ АУА АГГ УЦА ГГГ ГГА ГУА АГА АУА АГА ЦГГ УГА ЦУА ЦАГ ЦУУ.

В последовательности имеется терминирующий кодон УГА (подчёркнут), на котором синтез будет заканчиваться.

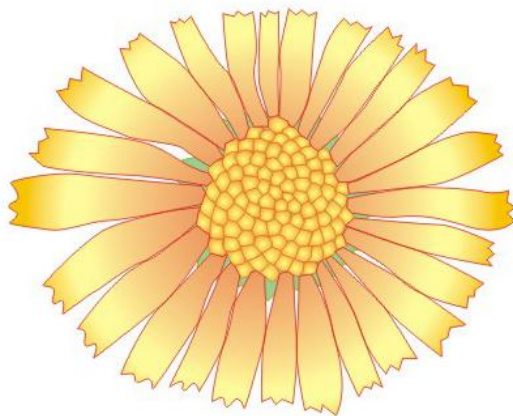
Кодируемая аминокислотная последовательность:

**метионин – треонин – лизин – цистеин – изолейцин – аргинин – серин – глицин – глицин – валин – аргинин – изолейцин – аргинин – аргинин**

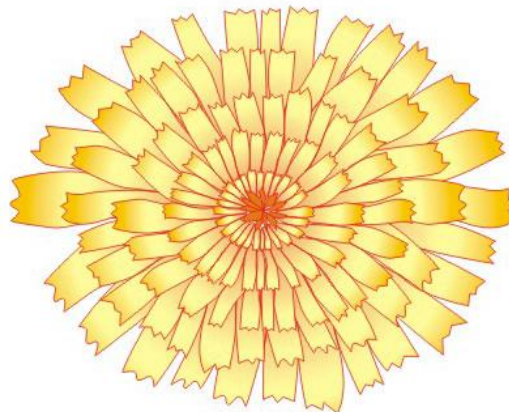
Закодированный пептид содержит 14 аминокислотных остатков.

В пептиде заряд N-концевой амино-группы (+1) компенсирует заряд C-концевой карбоксильной группы (-1), поэтому заряд пептида зависит от строения боковых групп аминокислотных остатков. Заряд аминокислоты, радикал которой не содержит карбоксильную группу и амино-группу, равен нулю. Если радикал аминокислоты содержит карбоксильную группу, то заряд аминокислоты равен -1. Если радикал аминокислоты содержит амино-группу, то заряд аминокислоты равен +1. Среди полученных аминокислотных остатков только лизин и аргинин имеют заряд, отличный от нуля (+1). Так как в пептиде четыре аминокислотных остатка аргинина и один аминокислотный остаток лизина, то заряд пептида равен +5.

#### Задание 4.



**Немахровый сорт**



**Махровый сорт**

У однолетнего декоративного растения из семейства Астровых (Asteraceae) есть два сорта: махровый и немахровый (см. рисунок). При выращивании только махровых растений семена не образуются. За признак махровости отвечает ген М. Все растения с генотипом ММ махровые. Среди гетерозигот Мм большинство растений – махровые, однако 20% гетерозигот всегда оказываются немахровыми. Все гомозиготы мм немахровые.

При искусственном скрещивании махрового и немахрового растения на следующий год было получено 65% махровых и 35% немахровых экземпляров.

А) Какое из растений было использовано как отцовское, а какое – как материнское? Ваше мнение обоснуйте.

Б) Нарисуйте схему продольного разреза цветков махрового и немахрового растения, подписав завязь, венчик, тычинки и столбик с рыльцем. Укажите различия в строении цветков.

В) Установите генотипы родительских растений.

Г) Рассчитайте соотношение генотипов и фенотипов во втором поколении.

Д) Каким станет соотношение генотипов и фенотипов, если в первом поколении посеять только те семена, которые образовались на махровых растениях?

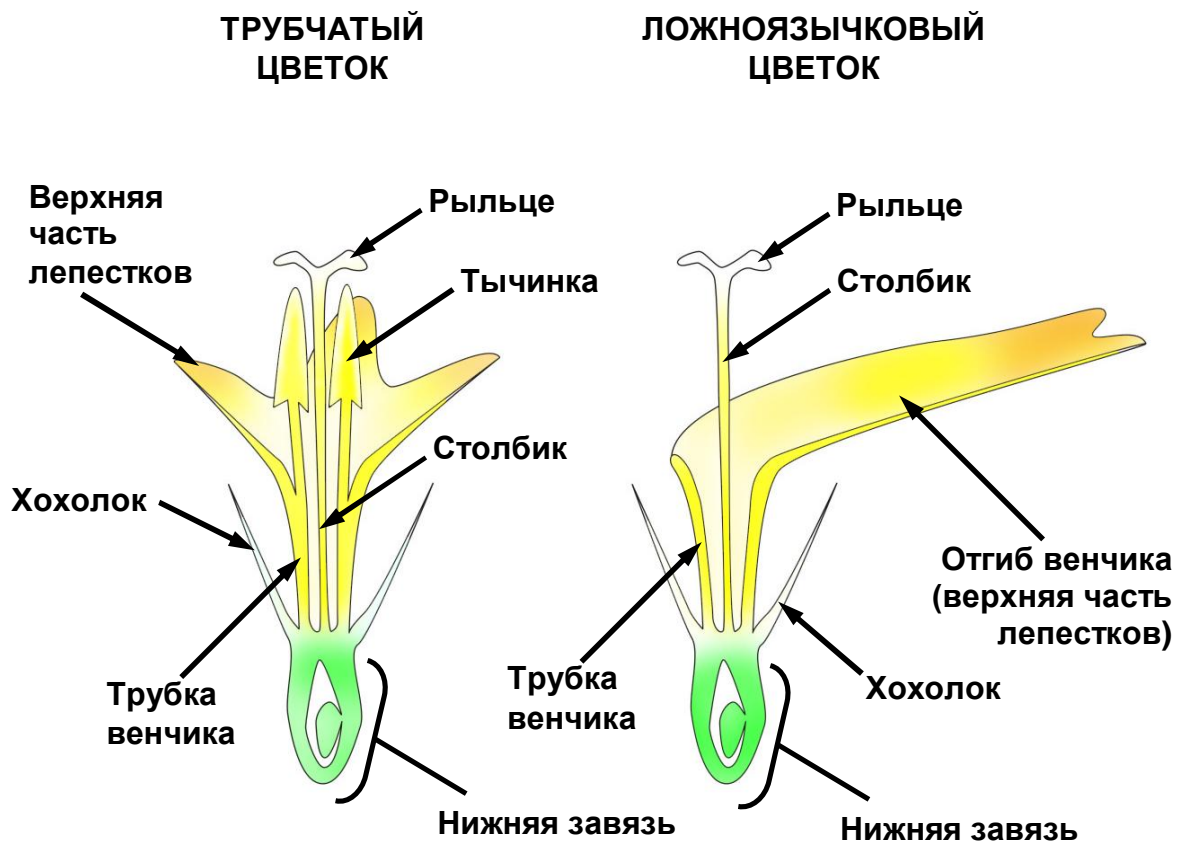
**Решение.**

**А.** У растений из семейства Астровых (Asteraceae) цветки собраны в соцветия-корзинки. У части видов все цветки одинаковые (представлены обоеполыми язычковыми цветками). При этом отгиб венчика состоит из 5 сросшихся лепестков. Часто это видно как пять зубчиков на верхушке отгиба. У других видов в корзинках встречаются обоеполые трубчатые цветки (в центре корзинки) и краевые ложноязычковые (по краю корзинки). Ложноязычковые цветки женские, без тычинок. Отгиб у таких цветков составлен тремя сросшимися лепестками (видны как три зубца на верхушке отгиба). Это прорисовано на рисунке в условии.

Таким образом, в соцветии-корзинке у немахрового сорта есть как обоеполые (трубчатые) цветки, так и женские (ложноязычковые краевые).

У махрового сорта все трубчатые цветки заменены на ложноязычковые. Таким образом, махровое растение не может образовать собственную пыльцу. **В скрещивании в качестве отцовских растений могут выступать только немахровые. Махровое растение использовано как женское.**

**Б.**



У немахрового сорта есть два типа цветков (трубчатые и ложноязычковые), у махровых – только один тип цветков (ложноязычковые). Достаточно привести два рисунка.

Завязь с семязачатком у Астровых нижняя, поэтому все остальные части цветка должны прикрепляться к верхушке завязи.

Хохолок – не обязательная структура для цветков Астровых. Поэтому его рисовать не обязательно. На рисунках указано, где он должен прикрепляться относительно завязи и основания трубки венчика. Венчик у Астровых спайнолепестный. В нижней части лепестки срастаются в трубку или воронку. Поэтому на продольном срезе трубка венчика должна быть как

справа, так и слева от столбика. Далее трубка венчика расширяется и переходит в отгиб. У трубчатых цветков венчик актиноморфный (на срезе должен быть более-менее симметричным относительно столбика). У ложноязычковых цветков венчик зигоморфный. Отгиб венчика (сросшиеся 3 лепестка) с одной стороны должен оказаться длиннее, чем с другой (несимметричен относительно столбика). На рисунке приведено строение венчика в той части, которая оказалась за плоскостью среза. Эту часть прорисовывать было не обязательно.

Тычинки есть только у трубчатых цветков. Тычиночные нити на значительном протяжении срастаются с трубкой венчика. Поэтому тычинки должны отходить довольно высоко на рисунке. Пыльники срастаются друг с другом, но это трудно изобразить на рисунке. У ложноязычковых цветков тычинок нет.

Столбик у Астровых довольно длинный, прикреплен в центре к верхушке завязи. Он проходит трубку венчика, трубку, образованную сросшимися пыльниками, и оказывается выше тычинок. На верхушке пестика – двулопастное рыльце.

**В.** Известно, что скрестили махровое и немахровое растение. Махровые растения могут быть как гомозиготами  $MM$ , так и гетерозиготами  $Mm$ . Согласно условию, среди гетерозигот 20% особей имеют немахровые соцветия. Поэтому немахровым (отцовским) растением может оказаться как гетерозигота  $Mm$ , так и гомозигота  $mm$ .

Рассмотрим все 4 возможных варианта сочетаний генотипов родителей.

Вариант 1. Родители:  $MM \times Mm$

F1: 50%  $MM$  и 50%  $Mm$

Гомозиготы  $MM$  всегда махровые, а среди гетерозигот  $Mm$  20% немахровых растений. Рассчитаем долю немахровых особей.

$0,5$  (доля в потомстве)  $\times 0,2$  (доля немахровых гетерозигот) =  $0,1$  (10%).

Таким образом, в этом варианте должно быть не более 10% немахровых растений, что не совпадает с условием.

Вариант 2. Родители:  $MM \times mm$

F1: 100%  $Mm$

Расщепления по генотипам не будет, все растения окажутся гетерозиготами. По условию доля немахровых растений среди гетерозигот – 20%. Ожидаемое расщепление по фенотипам не совпадает с данными условия.

Вариант 3. Родители:  $Mm \times mm$

F1: 50%  $Mm$  и 50%  $mm$

Гомозиготы  $mm$  по условию всегда немахровые. Это означает, что в скрещивании не менее половины растений должно оказаться немахровыми (а по условию их лишь 35%).

Вариант 4. Родители:  $Mm \times Mm$

F1: 25%  $MM$ ; 50%  $Mm$  и 25%  $mm$

25% растений с генотипом  $mm$  будут точно немахровыми. Рассчитаем долю немахровых гетерозиготных особей.

$0,5$  (доля в потомстве)  $\times 0,2$  (доля немахровых гетерозигот) =  $0,1$  (10%).

Теперь вычислим общую долю немахровых особей:  $25\% + 10\% = 35\%$ . Именно такая доля немахровых особей дана в условии.

**Таким образом, генотипы родителей могут быть только  $Mm$ .**

**Г.** Легко показать, что женские гаметы, несущие аллели  $M$  и  $m$ , в первом поколении образуются в равной пропорции.

Половина растений является гетерозиготами  $Mm$ . Они дадут гаметы  $M$  и  $m$  в равной пропорции. При этом доля гомозигот  $MM$  ( $1/4$  или 25%) и доля гомозигот  $mm$  ( $1/4$  или 25%) равны. Таким образом, общая доля женских гамет с генотипом  $M$  будет равна

$$1/4 \text{ (доля гомозигот } MM) + 1/2 \text{ (доля гетерозигот } Mm) \times 1/2 \text{ (доля женских гамет } M) = 1/4 + 1/4 = 1/2.$$

Аналогичный расчёт для женских гамет  $m$  также даёт  $1/2$ .

Для дальнейшего решения необходимо учесть, что пыльца образуется только на немахровых растениях, которые могут иметь фенотип как  $Mm$ , так и  $mm$ . Кроме того, на результаты скрещивания влияет доля гомозигот и гетерозигот среди немахровых растений.

Отвечая на вопрос В, мы уже рассчитали, что среди потомков в первом поколении 25% составят немахровые гомозиготы  $mm$ , и ещё 10% – немахровые гетерозиготы  $Mm$ . Сокращая, получим:

$$\begin{aligned} 25 \text{ } mm : 10 \text{ } Mm &= 5 \text{ } mm : 2 \text{ } Mm, \\ \text{или } 5/7 \text{ } mm : 2/7 \text{ } Mm, \\ \text{или приблизительно } 71,5\% \text{ } mm : 28,5\% \text{ } Mm. \end{aligned}$$

Теперь рассчитаем соотношение пыльцевых зёрен по генотипам. У гетерозигот половина пыльцевых зёрен несёт аллель  $M$ , а вторая половина – аллель  $m$ . Других источников пыльцевых зёрен с аллелем  $M$  нет. Рассчитаем долю пыльцевых зёрен  $M$  среди всех пыльцевых зёрен, участвующих в скрещивании.

$$\begin{aligned} 2/7 \text{ (доля гетерозигот } Mm) \times 1/2 \text{ (доля пыльцевых зёрен } M) &= 1/7, \\ \text{или приблизительно } 14,3\%. \end{aligned}$$

Учитывая наши предварительные расчёты, составим решётку, указав долю каждого типа гамет.

	$1/7 \text{ } M$	$6/7 \text{ } m$
$1/2 \text{ } M$	$1/14 \text{ } MM$	$6/14 \text{ } Mm$
$1/2 \text{ } m$	$1/14 \text{ } Mm$	$6/14 \text{ } mm$

Таким образом, получилось следующее расщепление по генотипам:

$$\begin{aligned} 1/14 \text{ } MM : 7/14 \text{ (} 1/2 \text{) } Mm : 6/14 \text{ (} 3/7 \text{) } mm; \\ \text{или } 1 \text{ } MM : 7 \text{ } Mm : 6 \text{ } mm; \\ \text{или приблизительно } 7\% \text{ } MM : 50\% \text{ } Mm : 43\% \text{ } mm. \end{aligned}$$

Теперь учтём, что 20% ( $1/5$ ) гетерозигот – это немахровые растения. Они дадут вклад  $0,2 \times 0,5 = 0,1$  (или  $1/10$ ) немахровых особей. Их нужно прибавить к немахровым гомозиготам  $mm$ .

$$3/7 + 1/10 = (30+7)/70 = 37/70 \text{ или приблизительно } 53\% \text{ немахровых растений.}$$

Остальные  $100\% - 53\% = 47\%$  (или  $33/70$ ) – это махровые растения.

Расщепление по фенотипам:

**33 махровых : 37 немахровых растений.**

**Д.** Здесь предстоит оценить влияние на популяцию искусственного отбора. Пропорция между генотипами пыльцевых зёрен останется прежней ( $1/7 \text{ } M : 6/7 \text{ } m$  – см. решение Г). Но из-за того, что с немахровых особей семена не собирают, изменится соотношение генотипов женских гамет.

Долю и генотипы махровых растений мы также предварительно оценивали (см. решение В):  $1/4$  (25%) составляют махровые гомозиготы  $MM$ , и ещё  $1/2 - 1/10 = 2/5$  (40%) составляют махровые гетерозиготы  $Mm$ . Сокращая, получим:

$$25\% \text{ } MM : 40\% \text{ } Mm = 5 \text{ } MM : 8 \text{ } Mm,$$

или  $5/13 MM : 8/13 Mm$ ,

или приблизительно 38,8%  $MM : 61,5\% Mm$ .

Женские гаметы, несущие аллель  $m$  способны дать только гетерозиготы  $Mm$ , причём таких гамет окажется ровно половина у каждой особи.

Аналогично решению Г для пыльцевых зёрен, получим:

$8/13$  (доля гетерозигот  $Mm$ )  $\times 1/2$  (доля пыльцевых зёрен  $m$ ) =  $4/13$ ,

или приблизительно 30,8 %.

Остальные  $9/13$  (69,2%) – это женские гаметы, несущие аллель  $M$ .

Учитывая наши предварительные расчёты, составим решётку, указав долю каждого типа гамет.

	$1/7 M$	$6/7 m$
$9/13 M$	$9/91 MM$	$54/91 Mm$
$4/13 m$	$4/91 Mm$	$24/91 mm$

Таким образом, получилось следующее расщепление по генотипам:

$9/91 MM : 54/91 + 4/91 = 58/91 Mm : 24/91 mm$ ;

или  $9 MM : 58 Mm : 24 mm$ ;

или приблизительно 9,9%  $MM : 63,7\% Mm : 26,4\% mm$ .

Теперь учтём, что 20% ( $1/5$ ) гетерозигот – это немахровые растения. Они дадут вклад

$0,2 \times 0,637 = 0,1274$  (12,7%),

или  $58/91 \times 1/5 = 58/455$  немахровых особей.

Их нужно прибавить к немахровым гомозиготам  $mm$ .

$58/455 + 24/91 = (58+120)/455 = 178/455$  или приблизительно 39,1% % немахровых растений.

Остальные  $100\% - 39,1\% = 60,9\%$  (или  $277/455$ ) – это махровые растения.

Расщепление по фенотипам:

**277 махровых : 178 немахровых растений.**

Из решения задачи видно, что сбор семян только с махровых растений позволяет заметно повысить долю махровых особей в потомстве.