

Решение задачи 1.

Известны виды животных, которые способны светиться, и используют это для различных видов коммуникации. Однако иногда светятся и более простые организмы: бактерии, одноклеточные эукариоты, грибы. В чем может заключаться биологический смысл свечения для таких организмов?

На этот вопрос нет однозначно известных науке ответов, поэтому при проверке могли быть учтены различные версии, если им было дано логичное обоснование.

Основными оцениваемыми версиями были следующие:

1. Для грибов самая распространенная версия – привлечение насекомых, которые могут разносить споры (1 балл). Дополнительный балл мог даваться, если школьник обсуждал возможности и проблемы, возникающие при доказательстве этой версии.

2. Согласно другой версии, насекомых привлекают светом грибы, которые могут этими насекомыми питаться (1 балл). Дополнительный балл также мог даваться за обсуждение возможностей доказательства.

3. Грибы потенциально могут использовать свечение вместо предупреждающей окраски, чтобы информировать тех, кто может их съесть, о своей ядовитости (1 балл). Естественно, если это работает, то можно предположить и мимикрию неядовитых грибов под ядовитые (1 балл).

4. Простейшие типа ночесветок, которые способны вспыхивать, если их тревожат, могут делать это, чтобы отвлечь поедателя их «хищника» (1 балл), или, как вариант, дезориентировать «хищника», за счет того, что светящиеся точки разбегаются в разные стороны (1 балл).

5. Поскольку большинство видов светящихся бактерий повсеместно были обнаружены помимо толщи воды также и в кишечниках морских рыб, то предполагается, что в данном случае свечение может быть направлено на привлечение рыб для поедания органических частиц, несущих на себе микроорганизмы (1 балл). Необходимо понимать, что светиться бактерии начинают только при достижении определенной плотности их популяции, что косвенно свидетельствует в пользу этой теории, поскольку в данном случае свечение имеет смысл только при достижении той интенсивности, которая может быть замечена рыбами.

Другая группа ответов связана с тем предположением, что свечение может на самом деле быть не нужно именно как свечение, а возникает как побочный эффект некоторых процессов (1 балл). Дополнительные баллы давались, если обсуждалось, какие именно процессы могут приводить к свечению.

Например, что оно может быть результатом уничтожения активных форм кислорода (вариант – свободных радикалов) (1 балл). Или использоваться для снижения температуры организма, если ему грозит перегрев (1 балл).

Решение задачи 2.

Существуют виды птиц, которые гнездятся группами, образуя целые гнездовые колонии. Плотность таких колоний может достигать 10 000 особей на одном участке. Можете ли вы привести примеры колониальных птиц и предположить, почему такой тип гнездования для этих видов предпочтительнее одиночного? Какие у него могут быть недостатки?

В этом вопросе оценивался каждый правильный пример колониально гнездящихся птиц (0,5 балла).

Также оценивались разумные версии того, почему для некоторых птиц колониальное гнездование может быть выгодным, и какие могут быть недостатки такой стратегии.

1. Колониальное гнездование возникает, как правило, в тех случаях, когда птицам не нужно охранять свой кормовой участок (1 балл). Обычно это связано с тем, что имеется обильный источник корма, который нет смысла охранять от других — например, море (1 балл). Бывают случаи, когда совместно гнездящиеся птицы используют общий кормовой участок и защищают его от чужаков (1 балл).

2. Часто колониальность возникает в ситуациях, когда для сбора корма птицам надо покидать гнездо на достаточно продолжительное время (1 балл).

3. Колониальным птицам может быть удобней добывать корм совместно (1 балл).

4. Колониальное размещение гнезд может быть важно при дефиците подходящих мест для гнездования, таких как пляжи или песчаные обрывы (1 балл).

5. Также к преимуществам колониальной жизни можно отнести возможность коллективной защиты от хищников (1 балл).

6. В большой колонии может работать принцип «всех не перережешь» - при каждой атаке хищника вероятность, что пострадает конкретная птица или гнездо, микроскопическая. В целом кто-то выживает, и каждая отдельная пара при групповом поведении "надеется что это будет она (2 балла). Однако краевые гнезда колонии в такой ситуации страдают гораздо больше, что усиливает конкуренцию за места в центре и увеличивает агрессивность внутри колонии.

7. Колониальная жизнь особенно выгодна там, где либо хищников вообще мало, либо они некрупные. Например, на мелких островах (2 балла).

8. Еще одно возможное преимущество – коллективное воспитание птенцов. Правда, это показано для единичных видов. В качестве подтвержденного примера приводят черноголовых хохотунов. Хрестоматийные пингвины «детские сады», конечно, помогают птенцам выжить в холодных условиях просто за счет коллективного сохранения тепла (и это, безусловно, преимущество), но взрослые пингвины мало озабочены воспитанием чужих птенцов. Однако есть примеры, когда взрослый пингвин защищает не только своего птенца, а весь «детский сад» (1 балл). В данном вопросе не оценивались ответы о «разделении труда» в колониях, поскольку такие случаи в природе не отмечены.

9. К недостаткам колониальной жизни можно отнести то, что для крупного и сильного хищника колония представляет собой удобную кормовую площадку, которой он может нанести значительный урон (1 балл).

10. Также важным недостатком колониальной жизни можно считать высокую агрес-

сивность внутри колонии, особенно по отношению к чужим птенцам. При крошечном размере индивидуального участка яйца или птенцы, случайно оказавшиеся за пределами своего участка, будут атакованы соседями, возможно убиты и даже съедены ими (1 балл).

11. Еще к недостаткам колониальности следует отнести высокий риск распространения инфекций и паразитов (1 балл).

Решение задачи 3.

Разные виды деревьев сильно различаются по прочности древесины. Какими особенностями строения на уровне тканей это может быть обусловлено? Какие преимущества может давать прочная – или, наоборот, мягкая или хрупкая древесина?

1. Твердость древесины на уровне тканей определяется в первую очередь ксилемой. А твердость ксилемы определяется лигнином, который пропитывает клеточные стенки элементов ксилемы (1 балл).

2. В состав ксилемы входят трахеиды и/или сосуды, а также механические элементы. У трахеид/сосудов в классических учебниках выделяют кольчатые, спиральные, лестничные точечные утолщения стенок – по возрастанию степени лигнификации. Но важно понимать, что древесина одного дерева, как правило, содержит все или почти все виды, только в разном соотношении. Важна толщина стенки и ее соотношение с просветом. Механические элементы имеют очень толстую и сплошь лигнифицированную стенку. Поэтому, чем больше их в древесине, тем она прочнее (1 или 2 балла в зависимости от раскрытия темы).

3. На прочность древесины в целом также влияет количество паренхимы, входящей в ее состав. Паренхимные клетки не имеют лигнифицированных стенок, поэтому чем их больше – тем древесина мягче (1 балл).

4. У многих древесных пород проведение воды осуществляют элементы ксилемы, образовавшиеся в последние несколько лет. Остальная ксилема воду уже не проводит. Сосуды/трахеиды заткнуты, клеточные стенки пропитаны дополнительными веществами, часто – фенольными соединениями. Это делает старую древесину более твердой. Твердость ствола дерева будет зависеть от соотношения водопрводящей и неработающей части (1 или 2 балла в зависимости от раскрытия темы).

5. Твердость древесины может быть связана со скоростью роста дерева в толщину, так как если дерево имеет проводящие элементы с крупной полостью, то оно растет быстрее и имеет менее прочную древесину, чем если просветы сосудов мелкие (1 балл).

Преимущества и недостатки

1. Менее твердая древесина содержит меньше лигнина и может требовать меньших затрат на рост. Соответственно, она полезна в случаях, когда нужен быстрый рост при частых повреждениях, например, при ледоходе. Твердая древесина подходит для медленно растущих и долго живущих деревьев. (1 балл)

2. Мягкая древесина может быть более гибкой и не ломаться при сгибании. Для одревесневающих лиан (если считать их за деревья) гибкость также важна из-за подвиж-

ности субстрата (1 балл).

3. Твердая древесина в целом более устойчива к повреждению животными и грибами (1 балл).

4. Твердая древесина позволяет дереву стоять, даже если значительная часть ствола прогнила (1 балл).

5. Мягкая древесина может легче отламываться, что может быть полезно при вегетативном размножении побегами (1 балл). 6. Некоторые грибы разлагают лигнин и не разлагают целлюлозу. Для защиты от таких видов может быть полезна мягкая древесина с меньшим содержанием лигнина (3 балла).

Решение задачи 4.

Известно, что длина генома прокариот существенно меньше, чем длина ядерного генома эукариот. Например, длина ДНК в клетке кишечной палочки примерно $4,6 \times 10^6$ пар оснований, в клетке растения Арабидопсис - $1,3 \times 10^8$ пар оснований, а в клетке человека $3,3 \times 10^9$. Как вы думаете, почему такое различие возникло в эволюции и сохраняется до настоящего времени?

У прокариот геном построен по минималистическому принципу. Гены упакованы в опероны, где у каждого оперона единая регуляторная область, которая обычно находится близко от промотора. Также в одном опероне обычно собраны гены, отвечающие за единый метаболический путь. Это очень удобно для быстрого включения конкретного метаболического пути. При появлении новой пищи получит преимущество тот, кто быстрее всего сможет включить нужный путь и начнет ее потреблять. Кроме того, такая организация генома удобна для групп прокариот, у которых часто случается параллельный перенос генов. В этом случае повышается вероятность получить одновременно целый блок ферментов для нового метаболического пути, что может оказаться очень выгодно.

Эукариоты утратили эти очевидные преимущества маленького, экономичного генома. Возможно, исходно это было следствием «несчастливого случая». Одна из наиболее логичных гипотез гласит, что на раннем этапе своей эволюции они подверглись нападению вирусов, которые внедрялись в их геном. Подавляющее большинство ранних эукариот погибло на этом этапе. Но те немногие, что выжили, научились жить с избыточным геномом. В этом геноме значительную часть заняла ДНК вирусов.

Эукариоты научились вырезать лишнюю РНК из кодирующей части белков (интроны) и вообще отделили место хранения генетической информации от места ее реализации (трансляция в цитоплазме). Выяснилось, что такое увеличение генома имеет целый ряд других эволюционных преимуществ:

- Появление интронов позволило развить альтернативный сплайсинг, когда из одного гена может появиться несколько белковых или РНКовых продуктов. Кроме того, в эволюции оказалось возможно довольно безопасно комбинировать функциональные части разных молекул. Они теперь разделены пустыми участками, по которым можно безопасно рвать, не повреждая активный центр.

- Увеличение генома позволило достаточно безопасно дублировать многие гены. С большой вероятностью копия попадет в неважный участок генома и не убьет организм

немедленно. В дальнейшем многие из этих копий послужили основой для появления новых генов с несколько иными свойствами, чем родительский ген.

- Наличие вирусной ДНК в геноме само по себе инициировало такое дублирование, так как для того, чтобы его осуществить часто использовались вирусные механизмы. Вирус, меняя свою дислокацию в геноме, может захватить и хозяйский ген или, что еще лучше, его копию.

- В эукариотическом геноме довольно быстро была утрачена оперонная организация. Для ее правильного функционирования необходима физическая близость входящих в нее генов. Вместо этого каждый ген стал регулироваться индивидуально. Увеличение генома позволило значительно увеличить регуляторную область. Она у эукариот, как правило, значительно длиннее и сложнее, что позволило развить более тонкие механизмы взаимодействия со средой и между отдельными клетками. Это безусловно было важно при возникновении такого сложного и нехарактерного для прокариот явления, как многоклеточность.

- Параллельный перенос генов стал происходить реже (хотя и не исключился полностью). Геном оказался защищен ядерной оболочкой. Кроме того, с утратой оперонной структуры резко упала вероятность сразу получить что-то очень полезное. В результате организмы стали быстрее накапливать различия. А это значит, что эволюция таких «замусоренных» геномов пошла быстрее. Что, собственно, мы и наблюдаем.

Конкретно в ответах участников оценивались следующие идеи:

1. В геноме эукариот есть части геномов нескольких организмов (1 балл). Дополнительный балл давался за уточнение, что большая их часть досталась эукариотам от вирусов.
2. Экзон-интронная организация генома эукариот (1 или 2 балла в зависимости от точности понимания этой структуры).
3. Регуляторные области генов у эукариот длиннее (1 балл).
4. Полицистронная организация у прокариот и утрата ее эукариотами (2 балла).
5. Возможность горизонтального переноса генов блоками (оперонами) у прокариот и отдельными генами и их частями у эукариот (2 балла).
6. У эукариот, в особенности многоклеточных, возникает тонкая настройка взаимодействий генов (1 балл).
7. В геноме эукариот много не кодирующих/молчащих участков, повторы /копии генов и т.п. (2 балла) Дополнительные баллы могли даваться за правильное обсуждение того, чем это может быть полезно.
8. Физически большая ДНК не смогла бы находиться в прокариотической клетке, в ядре же у эукариот существует сложная система компактизации ДНК (1 балл).
9. Прокариоты имеют плазмиды, на которых находится часть нужных генов. У эукариот плазмиды практически не встречаются (2 балла).
10. Стратегия размножения у прокариот такова, что им выгодно быстро размножаться, более короткий геном быстрее удваивается, поэтому преимуществом обладают организмы с малым геномом (2 балла).
11. Быстрое размножение прокариот компенсирует возникновение вредных мутаций у отдельных особей, а в геноме эукариот используется другая стратегия защиты (2

балла).

12. В геноме эукариот есть такие участки, как теломеры, центромеры и другие, обеспечивающие правильную работу всего генетического аппарата (2 балла).

13. Размер генома эукариот еще увеличился за счет того, что в ядро эукариот перешли части геномов митохондрий и хлоропластов (2 балла).

Решение задачи 5.

Одним из основных критериев при выделении видов является их неспособность скрещиваться и давать плодовитое потомство. В случае высших растений случается так, что два близких вида обитают на одной территории, однако, не скрещиваются.

Как вы думаете, какие механизмы могут препятствовать скрещиванию близких видов растений в природе? Как эти механизмы могут быть преодолены в тех случаях, когда гибриды все-таки образуются?

Родственные виды растений, долгое время существующие на одной территории, как правило, не скрещиваются, поскольку работают различные изолирующие механизмы. Экологические механизмы изоляции основаны на различных предпочтениях данных видов:

1. Они могут иметь разные сроки размножения, отличающиеся настолько, что перекрестное оплодотворение не происходит (1 балл). Дополнительный балл мог даваться за обсуждение разных условий для размножения: длины дня, температуры, сухого или влажного сезона (что конечно связано с разным временем размножения).

В этом случае к скрещиванию может привести смещение сроков размножения хотя бы части популяции одного из видов (1 балл).

2. Виды могут существовать в разных сообществах (например, в лесу и на лугу). При этом вероятность перекрестного оплодотворения низка, особенно если не существует какого-то агента, связывающего эти сообщества (1 балл).

В этом случае образованию гибридов могут способствовать появление такого агента, например – насекомого, которое может перелетать с луга в лес и обратно и опылять оба вида (1 балл).

3. Для цветковых растений часто очень важен вид опылителя. Если растения опыляют разные виды насекомых, то перекрестное оплодотворение не происходит (1 балл). Гибриды могут возникать, например, когда появляется новый вид опылителей, которому подходят оба вида растений. Ну или один из старых расширяет свои предпочтения (1 балл).

Иногда опыление не происходит по чисто «топографическим» причинам – пыльца разных видов налипает на разные части опылителя и, соответственно, этих разных частей касаются пестики.

Такой механизм может давать сбой, если опылитель залезает в цветок немного глубже или поворачивается в нем иначе, чем обычно (2 балла).

Физиологические механизмы включают в себя различные виды несовместимости:

1. Химическая несовместимость. Например, пыльца одного вида погибает на рыльце

другого из-за воздействия веществ, выделяемых рыльцем. Вариант – не прорастает или прорастает медленно, поэтому ее опережает быстро прорастающая пыльца своего вида. Даже если пыльцевая трубка достигает семязачки, может оказаться, что невозможно слияние клеток. Это обеспечивается наличием различных сигнальных молекул на их поверхности (*1 или 2 балла* в зависимости от точности и подробности ответа).

2. Иногда слияние происходит, но делящаяся яйцеклетка неспособна развиваться в полноценный зародыш, что, вероятно, связано с разницей механизмов регуляции развития (*1 или 2 балла* в зависимости от точности и подробности ответа).

Все эти механизмы в случае близкородственных видов могут давать сбои. Из большого количества пыльцы единичные пыльцевые зерна могут прорасти, оплодотворение изредка может происходить и некоторые зародыши все же могут развиваться. Особенно часто такая ситуация может возникнуть, когда растений одного вида в каком-то месте много, а другого мало (*1 или 2 балла* в зависимости от точности и подробности ответа).

Генетические механизмы:

1. Часто межвидовые гибриды, если и образуются, то неспособны к дальнейшему половому размножению. Чаще всего это происходит в связи с несовместимостью хромосомных наборов. При этом невозможен мейоз, поскольку хромосомы неспособны конъюгировать (*1 балл*).

Классический пример преодоления такого препятствия – скрещивание тетраплоидов. У растений полиплоидия распространена достаточно широко, поэтому такое скрещивание возможно не только в искусственных условиях (все знают про капустно-редечный гибрид), но и в природе (*1 балл*). Кроме того, даже если гибрид не размножается половым путем, он может размножаться вегетативно и активно распространяться таким способом (*1 балл*).

Дополнительные баллы могли даваться за правильные уточнения механизмов изоляции и способов их преодоления.

В заключение стоит сказать, что виды, изначально сформировавшиеся на разных территориях, часто не имеют изолирующих механизмов. Поэтому если они по какой-то причине встречаются, гибриды между ними могут образоваться гораздо легче, чем между видами, долго жившими рядом.