

Сумма баллов S считалась в соответствии со сложностью заданий по формуле:

$$S = 1 * N_1 + 3 * N_2 + 3 * N_3 + 1 * N_4 + 3 * N_5$$

где N_1, \dots, N_5 – баллы за задания с 1 по 5 соответственно.

Задача 1.

Вопрос: Известно, что истинное живорождение, когда зародыш развивается в теле самки и получает питательные вещества благодаря тесной связи с ее организмом, многократно возникало в различных группах животных. Самый известный пример – млекопитающие. Знаете ли вы какие-нибудь другие примеры животных или растений, когда потомство развивается в тесной связи с организмом взрослой особи? Какие преимущества и недостатки имеет такой подход?

Ответ: Живорождение в эволюции появлялось многократно в различных группах животных. Можно также сказать, что у растений также есть сходные механизмы воспроизводства, при которых молодой организм развивается за счет родительского организма.

Развитие живорождения подразумевает повышение удельного родительского вклада в потомство, поэтому связано с уменьшением числа потомков. Таким образом, живородящие виды – это, как правило, R- стратеги (sensu Pianka, 1970). Это означает, что рожденные детеныши имеют больше шансов на выживание. Живорождение может возникать в суровых условиях, например, при холодном и коротком лете (как это происходит у рептилий) или как механизм избегания хищников и животных, разоряющих кладки и поедающих личинок. Кроме того, живорождение появляется у водных животных, как это было у ихтиозавров, не имеющих возможности выйти на сушу для откладки яиц.

Переход к живорождению разнообразен и многостадийен. В узком смысле под живорождением принято подразумевать развитие зародыша за счет организма матери. Такой механизм воспроизводства известен для млекопитающих (хориональная плацента), рептилий (например, некоторые скунги, у которых возникает плацента из аллантоиса) и хрящевые рыбы (акулы-няньки, у которых связь плода с организмом матери обеспечивается через оболочку желточного мешка). Нечто вроде плаценты также формируется у некоторых карпозубых рыб (пецилли, молинезии, гуппи).

Помимо истинного живорождения известно также яйцевиворождение, когда яйца задерживаются в половых путях самки, где проходят полное развитие. Так происходит у некоторых насекомых (тараканы, кокциды, трипсы, жуки, мухи), у рептилий, например – живородящие ящерицы. Однако у последних существуют яйцекладущие популяции (восточная Европа) и обычные яйцевиворождающие популяции, как у нас в Подмосковье.

Связь развивающегося организма не всегда возникает с материнским организмом. В некоторых случаях развитие эмбрионов происходит за счет организма отца, чей родительский вклад выше, чем у самок, так как именно самец играет роль живого инкубатора и поставляет питательные вещества своему потомству. Подобный тип размножения возможен только у видов, откладывающих икру, и известен для рыб (морские иглы, морские коньки, у которых икра развивается в специальных сумках у самца, куда самка откладывает яйца); также самцы некоторых амфибий, например, лягушки *Rhinoderma darvini*, вынашивают потомство у себя в горловом мешке, а эмбрионы срастаются со стенками мешка, получая питательные вещества от самца. В некоторых случаях икра развивается на теле самки, после того, как она оплодотворена самцом. Так происходит у ряда амфибий (пипа), у которых икра развивается на спине, и у некоторых рыб (барбусы из сем. *Burbotidae*), у которых икра развивается на брюшке, где образуется псевдоплацента. Икра может развиваться даже в желудке, где на период вынашивания эмбрионов происходит остановка выработки пищеварительных ферментов (рыбки семейства *Arogonidae*). Не только высокоорганизованные животные способны к подобному способу заботы о потомстве. Развитие некоторых асцидий происходит в выводном сифоне взрослой особи, при этом также формируется связь с родительским организмом.

Очевидно, что живорождение накладывает определенные ограничения на организм. Во-первых, родитель становится менее подвижным, а это значит, что он может хуже защищаться от хищников или добывать пищу, поэтому живорождение может приводить к прочным парным союзам особей. Во-вторых, живорождение затрудняет жизнь летающим животным и, видимо, по этой причине нет живородящих птиц.

Условно одной из форм живорождения может считаться почкование (гидры, асцидии и т.д.). При этом молодая особь представляет собой клон родительской особи и первое время развивается исключительно за счет взрослого организма. Вегетативное размножение растений (усы у клубники, «детки» каланхоэ) тоже можно отнести к такой условной форме размножения.

Если говорить о растениях, то у них тоже встречаются варианты задержки развития на теле материнского организма, например, зародыши мангров прорастают на ветвях деревьев и падают вниз, где уже готовые проростки втыкаются в ил и укореняются. У всех наземных растений есть эмбрионизация в антеридии – зиготу кормят клетки антеридии. А еще – у семенных растений гаметофит живет на спорофите – и спорофит его кормит. Это, конечно, не совсем то, о чем говорится в вопросе, но тенденция та же.

В ответе на данный вопрос правильные (при этом не однотипные) примеры и идеи относительно плюсов и минусов живорождения оценивались в 1 балл.

Задача 2.

Вопрос: В некоторой популяции животных частоты аллелей одного из генов составляют: A1 – 40%, а A2 – 60%.

При этом частоты гомозигот A1A1 – 20%, а A2A2 – 50%. О каких процессах, происходящих в популяции, это может говорить?

Ответ: Согласно закону Харди-Вайнберга, частоты гомозигот должны быть равны квадрату частоты соответствующего аллеля, то есть в данном случае – 16% и 36%. То есть, в нашем случае частоты гомозигот (причем обеих) повышены.

Нарушение закона Харди-Вайнберга говорит о нарушении его предположений. Их четыре:

- 1) популяция бесконечно большая;
- 2) нет притока и оттока аллелей за счет мутаций и миграций;
- 3) в популяции свободное скрещивание;
- 4) генотипы не различаются по приспособленности.

Если нарушено первое предположение, то в популяции идет генетический дрейф – случайные колебания частот аллелей, которые тем более выражены, тем меньше размер популяции. Однако сам по себе генетический дрейф не меняет частоты генотипов.

Приток и отток аллелей за счет мутаций также не должен отразиться на частотах генотипов, а вот миграции – могут. Например, если в данную популяцию приходят иммигранты из другой, где все особи гомозиготны по данному гену, то доля гомозигот повысится относительно ожидаемой по закону Харди-Вайнберга. Соответственно, повышенная частота обеих гомозигот может повыситься при миграции из двух популяций, где много соответствующих гомозигот. А вот нарушение предположения о свободном скрещивании легко приводит к неправильной «перетасовке» аллелей. Например, если в популяции подобные предпочитают скрещиваться с подобными, гомозиготы реже скрещиваются с гомозиготами по другому аллелю (и, может быть, с гетерозиготами), чем это должно было бы происходить при случайном скрещивании. Близкородственное скрещивание, или инбридинг, также приводит к повышению частот гомозигот, так как родственники скорее будут иметь общие аллели.

Естественный отбор, вызванный различиями по приспособленности, может приводить к нарушению равновесных частот, если действует на этапе до рождения, то есть, например, если гетерозиготные особи чаще погибают на ранних стадиях развития.

Упоминание в ответе закона Харди-Вайнберга оценивалось в 1 балл. Обсуждение нарушения каждого из четырех предположений данного закона оценивалось в 2 балла.

Задача 3.

Вопрос: Известно, что кроме 20 аминокислот, закодированных в генетическом коде, в белках можно встретить некоторые другие аминокислоты. Придумайте как можно больше способов, которыми клетки могли бы обеспечивать наличие таких аминокислот в белках.

Ответ: При ответе на этот вопрос учитывались как известные, реализующиеся в природе механизмы, так разумные предположения школьников.

Из реальных механизмов известны два основных:

- 1) Нестандартная аминокислота может получаться в результате посттрансляционной химической модификации, то есть удаления, присоединения или изменения ферментами некоторых химических групп «стандартных» аминокислот в готовом белке.
- 2) Существуют также такие аминокислоты, как селеноцистеин и пирролизин. Они могут включаться в белки за счет того, что один из стоп-кодонов становится кодоном этой аминокислоты. Обычно это происходит в том случае, если в некодирующей части мРНК имеется специфическая шпилька. Иногда (показано для селеноцистеина), таким образом может заменяться и смысловой кодон (цистеин). Обсуждение каждой из этих идей оценивалось *от 1 до 3 баллов*, в зависимости от степени раскрытия темы.

Можно предположить у каких-то организмов стабильную замену значения одного из кодонов мультикодонной аминокислоты на новое. (1 балл)

Можно также предположить по аналогии с ДНК, что кодон может менять свое значение, оказавшись внутри характерной последовательности нуклеотидов (достаточно длинной, чтобы не встречаться случайно). (2 балла)

Менее вероятно, хотя тоже можно принять как предположение, что сигналом служат последовательность из нескольких уже вставленных в белок аминокислот (2 балла).

Идея о вероятной незаменимости таких нестандартных аминокислот и/или необходимости поступления их с пищей и/или от симбионтов желудочно-кишечного тракта оценивалась в 1 балл.

Задача 4.

Вопрос: Как правило, контурное оперение птенцов у воробьиных птиц отличается по окраске от оперения взрослых особей. В первый осенний сезон молодые птицы линяют и приобретают наряд, сходный с взрослыми. Тем не менее, очень часто эта линька неполная, и некоторые области оперения (на голове, груди, крыльях) так и остаются «птенцовыми». Из-за этого в первый год жизни окраска птиц отличается по окраске от оперения более старых особей. Предположите, с чем может быть связано это явление, и какие выгоды оно может приносить молодым птицам.

Ответ:

I. Причины «экономического» характера.

Линька – небыстрый и энергозатратный процесс. У молодых птиц, как правило, меньше времени на линьку, чем у взрослых. Они начинают линять позже, так как взрослые могут линять уже во время гнездования, а закачивают зачастую раньше, поскольку молодые особи нередко отлетают на зимовку перед взрослыми. К тому же линька снижает функциональность оперения, что для молодых птиц может быть особенно опасно. Поэтому на полную замену всего оперения может не хватать времени и сил. (2 балла)

II. Поведенческие причины.

Основная функциональная роль, которую теоретически могут играть не сменившиеся остатки контурного оперения – это возможность определения возраста, различения первогодков и взрослых птиц. (1 балл)

Важно понимать, что «заявлять публично» о своем молодом возрасте не очень-то принято в мире животных – ведь молодые птицы заведомо менее опытные и еще не прошли «проверку временем», поэтому в среднем их качество как производителей ниже, чем старых.

Тем не менее, зачастую птицам бывает выгодно сигнализировать о своей молодости и «низкокачественности».

1) Это может снижать агрессию со стороны «старожилов», молодых птиц будут меньше гонять с территории. Так, у североамериканского вида – лазурных овсянковых кардиналов – молодые неяркие самцы более успешны в размножении по сравнению с яркими, поскольку они могут занять хорошие участки рядом с территориями старых доминантных самцов. И даже тот факт, что многие возвращаемые ими потомки – это, на самом деле, потомки соседей-доминантов, не сводит это преимущество на нет. (1 балл)

2) У тропических птиц, возможно, то же самое может быть связано с помощничеством молодежи в гнездовых делах своих родителей – известны случаи, когда молодые птицы «работают няньками», помогая выращивать своих младших братьев и сестер. (2 балла)

Можно придумать и другие вероятные причины того же свойства.

3) К примеру, молодым птицам может быть выгодно образовывать пару с молодыми же, а старым – со старыми, так как это исключает возможность скрещивания с собственными родителями (может быть актуально для оседлых видов с ограниченным распределением в пространстве).

4) Или же то, что молодым самцам выгодно быть похожими на самок, чтобы незаметно пробираться на чужие территории и спариваться с самками других самцов (а самкам, в общем случае, выгодно иметь потомство от нескольких отцов, так как это увеличивает его генетическое разнообразие).

5) У птиц развита забота о потомстве, в которой нередко участвуют оба пола. А между качеством родителя и его заботливостью нередко имеет место обратная зависимость. К примеру, было показано, что «высококачественные» самцы бурой пеночки склонны к полигамии и мало участвуют в заботе о потомстве (да и не смогли бы в ней эффективно участвовать, поскольку этого потомства у них слишком много). Напротив, самцы похуже более верны своим подругам и проявляют заботу о птенцах, поэтому более слабые самки, которые не в состоянии выкормить птенцов сами, образуют пары именно с ними.

6) Если виду свойственно образование «молодежных банд», нестандартная окраска оперения может быть признаком, отличающим сверстников. Обсуждение идей 3-6 оценивалось в 2 балла за каждый пункт.

III. «Защитные» причины.

Ювенильное (детское) перо обычно имеет покровительственную окраску, соответственно, даже частичное ее сохранение может улучшать маскировку от хищников, пускай и в ущерб привлекательности для партнеров. Молодой неопытной птице такая окраска может быть важна. (1 балл)

Наконец, возможны ситуации, в которых наблюдаемый характер линьки имел какую-то особую функцию у предков современных видов, а у них самих он сохраняется в качестве безвредного или ограниченно полезного «рудимента». (2 балла)

Задача 5.

Вопрос: Еще со времен Ч. Дарвина эволюцию живых организмов принято представлять в виде ветвящегося дерева. При этом предполагается, что гены передаются от предков к потомкам. Однако сейчас стало понятно, что иногда генетическая информация может быть получена от неродственных организмов. Это так называемый параллельный перенос генов. Предположим, что мы имеем расшифрованный геном организма. По каким признакам можно догадаться, какие гены ему достались от предков по эволюционному дереву, а какие пришли относительно недавно от неродственных организмов?

Ответ: Основная идея – сравнить геном с известными геномами родственных и неродственных организмов. На какие признаки обращать внимание?

1) Посмотреть, находится ли такой ген в геноме родственных (по эволюционному дереву) организмов. Если ничего похожего нет – это повод заподозрить параллельный перенос. Если похожие гены находятся, нужно посмотреть на их последовательности.

2) Можно проанализировать характер и расположение мутаций в гене по сравнению с тем же геном у близких и более дальних родственников и у неродственных групп. Если окажется, что сходство выше с генами неродственного организма, это может быть указанием на происхождение гена из этой отдаленной группы.

- 3) Можно проанализировать окружение интересующего нас гена. Если ген (или группа генов) находится в необычном окружении, это может указывать на то, что эта часть ДНК переместилась в эту область недавно. Тогда можно пытаться понять, пришла она из другого места собственного генома или от неродственных организмов.
- 4) Если рядом с геном обнаруживаются какие-то характерные элементы, указывающие на внедрение вируса – например, концевые повторы или типично вирусные гены, – это может говорить о том, что какой-то участок ДНК мог внедриться вместе с вирусом и в этом районе могут располагаться перенесенные вирусом гены. Их в первую очередь стоит проверить на «родство».
- 5) У эукариот можно изучить состав и распределение мобильных генетических элементов вокруг гена или группы «подозрительных» генов. Если они сильно отличаются от близкородственных видов, то ДНК скорее всего привнесённая.
- 6) Также в геноме эукариот можно искать гены, не имеющие интронов. Это может говорить о происхождении данного гена от прокариот. Хотя отсутствие интронов может быть обусловлено и другими причинами. Например тем, что ген получился в результате обратной транскрипции. Также можно искать последовательности, похожие на известные прокариотические регуляторные элементы.

Как это бывает в подобных случаях, обнаружив какой-то из вышеприведенных признаков, мы далеко не всегда можем однозначно сказать, что ген подвергся параллельному переносу, но можем предполагать это с разумной вероятностью. *Идея №1 оценивалась в 1 балл, №2 в 2 балла, идеи №№3-6 оценивались в 3 балла каждая. Ответы типа «нужно сравнить геномы» без раскрытия данной идеи не оценивались.*