

Вопрос 1. Мальчик Вася привез из нескольких путешествий в дальние страны семена разных растений и собирается высеять их на клумбу, которую он вскопал под окнами своей квартиры в Москве. «Не делай этого! Это может привести к большой беде!» - говорит Васин дядя, работающий на биофаке МГУ. Как вы думаете, что может вызывать дядины опасения? Назовите как можно больше «бед», которые могут произойти, если Вася его не послушает

Ответ

Основные идеи ответа следующие:

- 1) Выросшие растения или их части могут оказаться ядовитыми (жгучими, давать аллергенную пыльцу, ядовитый для каких-то видов опылителей нектар и т.п.), и от контакта с ними могут пострадать люди или животные. Если они распространятся с клумбы и станут инвазивными видами – проблема усугубится.
- 2) Даже если эти растения не обладают опасными свойствами, их широкое расселение может принести вред природным экосистемам или агроэкосистемам (агроценозам). Они могут, например, образовывать густые заросли, затеняя почву и вытесняя местные виды флоры (и как следствие – связанных с этими видами флоры животных), или могут оказаться злостными сорняками.
- 3) В семенах (или на семенах) этих растений или на них могут содержаться болезнетворные (скорее всего – фитопатогенные) организмы: грибы, бактерии, вирусы или животные (нематоды, личинки насекомых и т.п.). Даже если семена погибнут, эти организмы могут попасть в почву и заразить местные виды растений (с меньшей вероятностью – животных), не обладающие устойчивостью к соответствующим болезням.

Возможны и другие варианты ответа.

Вопрос 2. Два друга растолстели и решили сесть на диету. Оба стали подсчитывать энергетическую ценность потребляемой пищи и потребляли в день ровно по 2000 килокалорий. Однако вскоре они обнаружили, что один из них начал худеть, а другой продолжает набирать вес. Почему так могло получиться? Назовите как можно больше возможных причин. (Автор задачи – П.Н. Петров)

Ответ

Основные идеи ответа следующие:

- 1) Наиболее очевидный вариант – разная двигательная активность друзей. Если один из них много бегает, плавает или отжимается от пола, а второй все дни сидит за компьютером – первый будет тратить больше калорий и начнет худеть, а второй может продолжать набирать вес (хотя потребление 2.000 ккал в сутки достаточно обычно только для детей или стариков, см. пункт 3).

- 2) Кроме подвижности, на затраты энергии могут влиять и другие параметры образа жизни. Если, например, у первого друга в квартире было заметно холоднее, чем у второго, то похудеть первому было намного легче. На холоде больше энергии тратится на поддержание температуры, и это может даже сильнее влиять на потерю массы, чем двигательная активность.
- 3) Еще один очевидный фактор – возраст. Потребность менее 2000 ккал обычна для детей 7-9 лет и людей старше 60 лет. Если один из друзей относился к этой категории, а другой был, например, молодым человеком в возрасте 18-20 лет, то первый мог продолжать набирать вес, а второй – начать его довольно стремительно терять.
- 3) Важный фактор, влияющий на потребности в энергии (особенно для детей и подростков) – масса тела. Если друзьям было по 14-15 лет, но первый весил 40 кг (и растолстел, поскольку был маленького роста), а второй – 60 кг, то второй мог начать терять вес, а первый – продолжать его набирать.
- 4) В то же время для взрослого при более высокой степени ожирения потребности в энергии снижаются. Таким образом, если оба друга имели одинаковую массу, но первый растолстел сильнее (имел более высокий индекс массы), то при той же калорийности пищи он мог продолжать толстеть, в то время как второй начал худеть. Связано это с более низким уровнем основного обмена жировой ткани и меньшими потерями тепла при толстой жировой прослойке.
- 5) Еще один фактор – пол. Если друзьям было, например, по 60 лет, и один из друзей был мужчиной, а другой – женщиной (формулировка это в принципе допускает), то женщина могла продолжать набирать вес, а мужчина – начать худеть. Связано это различие с тем, что у женщин меньше процент мышечной массы (потребляющей больше энергии) и больше процент жировой ткани (в том числе толще подкожная жировая прослойка).
- 6) Генетические факторы могут влиять на уровень основного обмена: у друга с более низким генетически детерминированным уровнем мог продолжиться набор веса, в то время как его товарищ с более благоприятным для похудения генотипом мог начать худеть. Среди генов, вариации которых влияют на уровень основного обмена, известны белки-разобщители окислительного фосфорилирования и дыхания, рецепторы адреналина, некоторые другие гены сигнальных путей.
- 7) На результаты усилий друзей могли влиять самые разные патологии: начиная от гормональных нарушений и кончая глистными инвазиями. Не исключено, что какая-то из таких патологий (повышение уровня тироксина или заражение гельминтами) «помогла» начать худеть одному из друзей, возникнув одновременно с решением сбавить вес.

Возможны и многие другие идеи, которые учитывались при проверке.

Вопрос 3. Маша и Катя беседуют в продуктовом магазине.

Маша: «Одни яйца продаются по 40 рублей десятком, а другие – по 60 рублей. Срок хранения одинаковый, на вкус они тоже одинаковые. Сэкономлю 20 рублей!»

Катя: «Ничего ты не сэкономишь, а наоборот. Яйца по 40 рублей мельче!»

Маша: «Ну и что? Ты посмотри, они короче всего на четверть, а стоят дешевле на треть!»

Катя: «Да, но по массе-то они различаются сильнее!»

Маша: «А насколько сильнее?»

Катя: «Не знаю...»

Маша: «А еще, наверное, у крупных яиц скорлупа толще! Ну ладно, неважно. А вот интересно – цыплята из крупных яиц вылупляются тоже более крупные?»

Катя: «Вряд ли... Цыпленок ведь получается только из желтка, а желток у них почти одинаковый»

Маша: «Как только из желтка? Ведь яйцо – это яйцеклетка! Желток – ядро, белок – цитоплазма, а скорлупа – оболочка! Значит, цыпленок получается из всего яйца!»

Катя: «Глупенькая ты! Как же так может быть, сама подумай?»

Прочитав текст, ответьте на следующие вопросы (постарайтесь **кратко обосновать** каждый из них):

1. Если диаметр одного яйца 3 см, а другого – 4 см, насколько сильно они различаются по массе?
2. Правда ли в итоге, что Маша прогадает, если купит яйца по 40 рублей?
3. Правда ли, что у крупных яиц скорлупа толще?
4. Вылупятся ли из более крупных яиц (не купленных в магазине, конечно!) более крупные цыплята?
5. Правда ли Маша «глупенькая», если считает, что желток – ядро, белок – цитоплазма, а скорлупа – оболочка яйцеклетки?
6. А интересно, вылупившийся цыпленок будет весить столько же, сколько яйцо, больше или меньше?

Ответ

1. Соотношение масс будет таким же, как у двух шаров того же диаметра, то есть $113/268$. Таким образом, яйцо диаметром 4 см более чем вдвое превышает по объему яйцо диаметром 3 см.
2. Правда (см. пункт 1).
3. Правда, но только «при прочих равных условиях». В целом, чем крупнее яйцо, чем толще скорлупа. Эта зависимость наблюдается как среди всех птиц, так и внутри каждого вида, в том числе и у кур. Большая толщина скорлупы обеспечивает ее большую прочность, а это необходимо, чтобы яйцо большей массы и диаметра не было раздавлено при насиживании. Но на толщину скорлупы влияет множество факторов, особенно при содержании в неволе. У некоторых пород кур в некоторых конкретных случаях самой толстой

оказывалась скорлупа яиц среднего размера, а у крупных и мелких яиц она была тоньше.

4. Да, вылупятся. Размер цыпленка пропорционален запасу питательных веществ в яйце. Для инкубации обычно отбирают крупные яйца, поскольку выживаемость крупных цыплят выше.

5. Правда. На самом деле яйцеклетка – это желток, а белок, пергаментная оболочка и скорлупа – третичные оболочки, их выделяют стенки яйцевода. Это ясно хотя бы потому, что через скорлупу, конечно же, не смог бы пройти сперматозоид; оплодотворение происходит до образования всех третичных оболочек яйца.

6. Масса вылупившегося цыпленка намного (почти вдвое) меньше, чем масса свежееотложенного яйца. Это обусловлено двумя главными причинами: 1) В яйце идет обмен веществ (поглощается кислород, выделяется углекислый газ, и часть органических веществ расщепляется до углекислого газа и воды для получения энергии). Выделяется столько же молей углекислого газа, сколько и поглощается кислорода; но молярная масса углекислого газа выше. Часть воды тоже испаряется через скорлупу, объем воздушной камеры яйца по мере развития увеличивается. 2) При вылуплении цыпленок сбрасывает скорлупу, и вес его в этот момент существенно уменьшается.

Вопрос 4. Африканские пигмеи, как известно, имеют средний рост, примерно соответствующий росту детей европейцев 12-14 лет. Главный регулятор роста – соматотропин (он же – гормон роста, ГР), вырабатываемый клетками передней доли гипофиза. У пигмеев и в детском, и во взрослом возрасте концентрация ГР в крови нормальная или лишь немного пониженная (не выходит за пределы нормы для европейцев). Тем не менее, низкий рост пигмеев, видимо, в основном определяется генетически, а не связан просто с влиянием условий жизни. Мутации в каких участках генома могли привести к уменьшению роста пигмеев? Ответ обоснуйте.

Ответ

Первый и наиболее очевидный вариант ответа – мутации гена рецептора соматотропина, приводящие к снижению их способности связывать ГР (или передавать сигнал) при нормальной концентрации гормона. Рецептор ГР – это рецептор с тирозинкиназной активностью, сигнал от которого передается в ядро и запускает транскрипцию многих генов-мишеней. Естественно, мутации могли произойти и в любом из генов сигнальных белков, участвующих в этом сигнальном пути. На самом деле пока ни специфичные мутации гена рецептора, ни мутации других генов, кодирующих белки внутриклеточного пути передачи сигнала, у пигмеев не обнаружены.

Второй вариант – могут произойти мутации генов (или регуляторных участков) инсулиноподобных факторов роста (ИФР), которые синтезируются в печени под действием ГР (то есть генов-мишеней сигнального пути).

Именно ИФР действуют на большинство тканей, стимулируя их рост. И действительно – в одной из работ показано, что у пигмеев во взрослом возрасте уровень экспрессии одного из ИФР понижен в несколько раз: видимо, мутировал промотор или другой регуляторный участок этого гена.

Третий вариант – возможное нарушение в синтезе или действии на ткани гормонов щитовидной железы. Дело в том, что гормон роста вызывает нормальный рост тела только при синергичном (совместном, взаимоусиливающем) действии с тироксином и трийодтиронином. По некоторым данным, у пигмеев снижена чувствительность щитовидной железы к тиреотропному гормону (у них реже встречается зоб при пониженном уровне йода в пище). Возможно, у них понижено и содержание йодсодержащих гормонов в крови. Естественно, могут быть нарушены и другие этапы этого пути передачи гормональных сигналов – синтез или структура тиреолиберина (см. задачу «Странный ген», https://elementy.ru/problems/763/Stranny_gen), рецепция тироксина/трийодтиронина и т.п.

Можно также предположить, что у пигмеев из-за мутации регуляторного элемента гена усилен синтез соматостатина или произошла мутация гена рецептора соматостатина типа gain-of function – когда рецептор постоянно передает сигнал даже в отсутствие гормона-лиганда.

Наконец, еще один вариант (хотя формулировка задачи его маскирует) – это возможное отсутствие «пубертатного взрыва» при росте. Указано, что концентрация ГР нормальная у пигмеев в детстве и во взрослом возрасте. Однако есть еще подростковый возраст, а обычно в период полового созревания уровень ГР резко повышается, и рост ускоряется. Это ускорение связано с действием андрогенов и эстрогенов – половых гормонов – на ДНК. Если мутировали регуляторные элементы генов ГР или соматолиберина, чувствительные к андрогенам, то это могло замедлить рост в период полового созревания и привести к появлению «пигмейского» фенотипа.

Возможны и другие варианты ответа. При проверке учитывалась грамотность изложения (мутации происходят только в ДНК, но не в белках!) и разумность предлагаемого механизма с учетом условий задачи.

Вопрос 5. Бывает, что снижение видового разнообразия (обычно связанное с деятельностью человека) в определенной местности в конце концов приводит к увеличению частоты инфекционных и паразитарных заболеваний среди выживших видов диких животных, а также у домашних животных и людей. Как вы думаете, почему это может происходить? Приведите как можно больше объяснений. (Автор задачи – П.Н. Петров).

Ответ

Здесь возможно множество вариантов ответа. Например, если рассматривать большие временные интервалы, то можно отметить, что снижение видового разнообразия (уничтожение охотничьих видов животных) способствовало переходу от охоты и собирательства к земледелию и скотоводству. Это по многим причинам увеличило частоту инфекций среди людей и появившихся при этом домашних животных (см., например, https://elementy.ru/novosti_nauki/431343/Zarozhdenie_selskogo_khozyaystva_pri_VELO_k_rostu_infektsionnykh_zabolevaniy_i_snizheniyu_agressii). Однако из условия задачи скорее следует, что мы рассматриваем те времена, когда домашние животные уже существовали. Поэтому будем отталкиваться от того, что люди в данной местности ведут оседлый образ жизни, и изменения экосистем не столь значительны, чтобы этот образ жизни изменить (например, породить голод и волну миграции – очевидно, что среди голодающих беженцев частота инфекционных заболеваний повысится).

Почему же в данной местности частота инфекций и паразитарных инвазий может увеличиться из-за снижения видового разнообразия? Одна из вероятных причин – это увеличение численности переносчиков инфекций (насекомых и клещей). Это может произойти из-за исчезновения части их естественных врагов – насекомоядных птиц, хищных насекомых и др.

Другая сходная причина – увеличение численности источников возбудителей (например, грызунов или летучих мышей, от которых человек и другие животные нередко получают вирусные или бактериальные инфекции). К таким последствиям может привести монокультура сельскохозяйственных растений, которыми питаются эти животные, или уничтожение хищников, контролировавших их численность.

Уничтожение хищников может вызвать и эпизоотии среди любых диких животных – ведь сам по себе рост численности увеличивает шансы распространения инфекций. Кроме того, в ряде случаев хищники, видимо, «отбраковывают» больных и ослабленных жертв.

Еще одно возможное следствие снижения видового разнообразия – смена мест обитания или спектра питания уцелевших видов животных. Например, эти виды могут начать искать пропитание в новых биотопах, где больше переносчиков инфекций. Или животные могут начать осваивать в качестве пищевых объектов новые виды жертв, которые чаще являются промежуточными хозяевами паразитов. Хотя данные о том, избегают ли хищники поедания зараженных паразитами жертв, противоречивы, вполне возможно, что такие особенности поведения есть у многих хищников. Очевидно, такое избегание может быть ослаблено, если из-за снижения видового разнообразия выбрать особо не приходится.

Изменение спектра питания и большее однообразие пищевых объектов может приводить и к ослаблению иммунитета или к таким патологиям (например, к авитаминозам), которые облегчают заражение паразитами и проникновение инфекции в организм.

Можно выстроить и другие, более сложные цепочки возможных причинно-следственных связей между видовым разнообразием и частотой инфекционных болезней. Оценивались все разумные варианты ответа.

Вопрос 6. По статье в Википедии https://ru.wikipedia.org/wiki/Лактозный_оперон ознакомьтесь с устройством и принципом работы лактозного оперона кишечной палочки (если статья покажется Вам слишком сложной, Вы можете самостоятельно найти дополнительные источники информации на русском языке в сети Интернет). После этого ответьте на вопрос:

Мутации в каких участках генома кишечной палочки могут привести к появлению бактерий А) не способных расти на среде, где единственный источник углерода – лактоза; Б) способных усваивать лактозу даже в присутствии глюкозы; В) производящих ферменты для усвоения лактозы даже при ее отсутствии в среде.

Среди мутаций в данной задаче будем иметь в виду только «поломки» (то есть полную утрату нормальной функции белка или участка генома).

Ответ

Этот вопрос отчасти похож на вопрос №4, но условия задачи более определенные.

А) 1. Могут «испортиться» структурные гены лактозного оперона (например, ген лактазы).

2. Может «сломаться» промоторный/операторный участок а) так, что на него не сможет «садиться» РНК-полимераза; б) так, что от него не сможет отделяться белок-репрессор даже при связывании с лактозой; в) так, что к нему не сможет присоединиться CAP-белок.

3. Может «сломаться» ген белка-репрессора – так, что белок не сможет связываться с лактозой или даже при связывании с ней не будет отделяться от оператора.

4. Может «сломаться» ген аденилатциклазы – так, что этот фермент больше не будет активироваться при отсутствии в клетке глюкозы и не сможет фосфорилировать CAP-белок

Б) 1. Мутация в гене CAP-белка, при которой он постоянно связан с промотором (независимо от фосфорилирования)

2. Мутация в гене аденилатциклазы, при которой она постоянно активна и может фосфорилировать CAP-белок, даже если в клетке есть глюкоза

3. Мутация промотора, при которой РНК-полимераза может связываться с ним даже в отсутствие CAP-белка

4. Мутация гена РНК-полимеразы, при которой РНК-полимераза может связываться с промотором даже в отсутствие CAP-белка.

В) 1. Мутация промотора/оператора, при которой он перестает связывать белок-репрессор, но по-прежнему может связывать CAP-белок и РНК-полимеразу;

2. Мутация гена белка-репрессора, при которой он больше не способен «садиться» на оператор

Вероятно, возможны и другие варианты ответа (но менее вероятные).

Вопрос 7. Бутылочные тыквы (лагенарии) ныне культивируются по всему миру. Американские индейцы использовали тыквы уже 10.000 лет назад (это доказано археологическими находками). Родина этого вида растений – Африка. Существует две версии: 1) тыквы были занесены в Америку из Африки морскими течениями и независимо «окультурены» индейцами; 2) культурные сорта (или дикие предки) бутылочной тыквы попали в Америку вместе с людьми в ходе ее заселения.

Предположим, Вы получили грант для решения этой проблемы. Попробуйте спланировать исследования, которые бы подтвердили одну из гипотез и опровергли противоположную. Опишите, при каких результатах каждого эксперимента или наблюдения была бы опровергнута первая гипотеза и подтверждена вторая (или наоборот).

Ответ

В ответе не обязательно было приводить четкий план исследования – важно было описать, какие данные нужно получить и как их можно интерпретировать.

1) Можно пытаться найти археологические свидетельства пути распространения лагенарии в Новом Свете. Если археологические находки семян или других сохранившихся частей лагенарии наиболее древнего возраста будут обнаружены в районе Аляски или других северо-восточных районах Северной Америки, а по мере продвижения к югу и западу их возраст будет уменьшаться – это сильный довод в пользу гипотезы 2. Если же наиболее древние остатки тыкв будут найдены на западном побережье Южной или Центральной Америки – это довод в пользу гипотезы 1. Кроме остатков тыкв, дополнительные данные можно получить, например, исследуя древние рисунки.

2) Можно использовать генетические данные (как для ископаемого, так и для современного материала).

Если окажется, что американские лагенарии генетически ближе к азиатским (причем наиболее близки к азиатским тыквам образцы из Северной Америки) – это сильный довод в пользу гипотезы 2. Если же окажется, что они генетически ближе к современным африканским лагенариям, и особенно к

Вопрос 9. Брахиалангия вызывается доминантной мутацией, которая в гомозиготном состоянии летальна, а в гетерозиготном вызывает укорочение пальцев. Способность свертывать язык в трубочку доминирует над неспособностью. У обоих родителей брахиалангия, один из них не способен сворачивать язык, а другой – способен и гетерозиготен по этому гену. Каким будет расщепление по фенотипу по обоим признакам среди детей от такого брака?

Приведите ход решения.

Ответ

A – брахидактилия, a – норма; B – способность сворачивать язык, b – неспособность.

Генотипы родителей – Aabb и AaBb (это очевидно из условия и в обосновании особо не нуждается).

Решетка Пеннета:

	Ab	ab
AB	леталь	Брахидактилия способен
Ab	леталь	Брахидактилия неспособен
aB	Брахидактилия способен	Норма способен
ab	Брахидактилия неспособен	Норма неспособен

Расщепление среди выживших детей – 2 брахидактилия способен : 2 брахидактилия неспособен : 1 норма способен : 1 норма неспособен сворачивать язык трубочкой

Вопрос 10. У кошки нормальная окраска - серая. Доминантный аллель W препятствует миграции пигментных клеток к основаниям волос, что приводит к альбинизму. Ген O, сцепленный с X-хромосомой, нарушает синтез черного пигмента, что приводит к появлению рыжей окраски. Какие расщепления по фенотипу в потомстве будут от скрещиваний а) $ww X^O X^o \times Ww X^O Y$? б) $Ww X^O X^o \times Ww X^O Y$? Укажите также фенотипы родителей. Приведите ход решения (например, решетку Пеннета).

Ответ

Как в любой задаче, где есть сцепленный с полом ген, здесь расщепление нужно определить отдельно для самцов и для самок. В данном же случае это особенно важно – нужно установить, какой фенотип имеют самки с генотипом $ww X^O X^o$. Окраска у них проявляется, но как? На первый взгляд кажется, что они будут рыжими. Но на самом деле это неверно – окраска у них черепаховая (из чередующихся серых и рыжих пятен). Это связано с тем,

что у самок млекопитающих в разных клетках путем случайного выбора инактивируется одна из X-хромосом. Так происходит в том числе и в клетках-предшественниках меланоцитов, поэтому некоторые из них (с активной хромосомой X^0) будут вырабатывать только рыжий пигмент, а некоторые (с активной хромосомой X^o) – серый. Очевидно, что все особи с генотипом $W---$ - альбиносы (иногда этот тип альбинизма называют ложным). В остальном это обычная задача на дигибридное скрещивание, которую можно решить с помощью решетки Пеннета.

а) кошка черепаховая, кот альбинос

	wX^o	wX^o
WX^o	Кошка альбинос	Кошка альбинос
WY	Кот альбинос	Кот альбинос
wX^o	Кошка черепаховая	Кошка серая
wY	Кот рыжий	Кот серый

Итак, расщепление среди самок: 2 альбиноса : 1 серая : 1 черепаховая
Среди самцов: 2 альбиноса : 1 серый : 1 рыжий

б) кошка альбинос, кот альбинос

	WX^o	WX^o	wX^o	wX^o
WX^o	Кошка альбинос	Кошка альбинос	Кошка альбинос	Кошка альбинос
WY	Кот альбинос	Кот альбинос	Кот альбинос	Кот альбинос
wX^o	Кошка альбинос	Кошка альбинос	Кошка рыжая	Кошка черепаховая
wY	Кот альбинос	Кот альбинос	Кот рыжий	Кот серый

Расщепление среди самок: 6 альбиносы : 1 рыжая : 1 черепаховая
Среди самцов: 6 альбиносы : 1 рыжий : 1 серый