

Время выполнения заданий — 240 минут.

Приступая к выполнению заданий, вы подтверждаете, что профиль и класс заданий соответствуют сведениям, указанным вами при регистрации.

Пишите разборчиво. Ответ пишите на странице с соответствующим номером вопроса. Если используете дополнительный лист, обязательно напишите об этом на основном листе ответа. Если не знаете ответа, ставьте прочерк. Черновики не оцениваются.

Максимальное количество баллов — 100.

Задание №1 (12 баллов). Эксперимент.

Полосы у зебры — это не просто декоративный элемент! Есть несколько версий, для чего они нужны: 1) защита от насекомых; 2) маскировка; 3) идентификация.

Возможно, что и несколько версий сразу правильные. Какие эксперименты нужно провести, чтобы выяснить правильность каждой из этих трех версий?

Учтите, что для проведения каждого эксперимента нужно:

- 1) подобрать условия, в которых меняется только один фактор;
- 2) поставить правильный контроль;
- 3) обеспечить достаточное количество повторов;
- 4) сделать правильный вывод

Опишите все четыре пункта для каждого придуманного Вами эксперимента.

Обратите внимание, что в правильно поставленном эксперименте должен изменяться только один параметр. Например, в эксперименте для проверки варианта №1 мы не можем закрасить черной краской белые полосы и сравнить количество севших насекомых с обычной зеброй в качестве контроля. Дело в том, что в таком эксперименте изменены сразу два параметра: полосатость и добавлена краска, которая сама по себе может отпугивать насекомых (например, запахом). В этом примере неправильно подобран контроль. Поэтому внимательно отнеситесь к придумыванию условий эксперимента и подбору контроля.

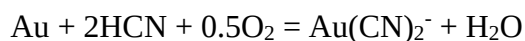
Чем больше правильных экспериментов Вы придумаете, тем выше будет оценка. За неправильные версии оценка не снижается.

Задание №2 (11 баллов). Расчетная задача.

Пишите подробное решение и поясняйте Ваши действия.

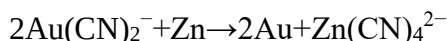
Биовыщелачивание — это процесс, при котором микроорганизмов используют для извлечения различных металлов из бедной руды, для которой применение традиционных методов металлургии было бы неэффективным и нерентабельным.

В ходе промышленного биовыщелачивания руду измельчают, чтобы увеличить суммарную площадь ее поверхности, а затем добавляют культуры микроорганизмов, способных продуцировать синильную кислоту (HCN), и питательную среду, содержащую необходимые для их роста вещества. К таким культурам относятся, например, бактерии *Pseudomonas putida*. За каждые 20 часов литр культуры этих бактерий образует в среде 20 мг HCN. Синильная кислота растворяет золото, образуя растворимый комплекс «золото–цианид», по следующей реакции:



Эффективность такого процесса, к сожалению, невелика: всего 15% образованной синильной кислоты оказывается связанной с золотом. Удивительно, что все это происходит на открытом воздухе, вне строений, поскольку требует очень больших площадей - именно из-за низкого содержания целевого металла в используемой руде.

После растворения золото можно извлечь из раствора различными методами — электролизом, восстановлением с помощью различных металлов или других химических восстановителей. Самый дешевый, эффективный (95% золота оказывается регенерированным) и масштабно применяемый способ – восстановление цинком:



Посчитайте, сколько чистого золота можно получить после через 20 часов после засева золотой руды 3000 литрами активной культуры. Все вычисления проводите с точностью до сотых. Ответ дайте в граммах.

Справочные материалы: молярная масса золота — 197 г/моль, синильной кислоты (HCN) — 27 г/моль, цинка — 65 г/моль, кислорода (O₂) — 32 г/моль. Число Авогадро составляет $6,022 \times 10^{23}$. Молярный объём газа при нормальных условиях равен 22,4 л/моль.

Задание № 3 (14 баллов). Расчетная задача.

Пишите подробное решение и поясняйте Ваши действия.

Для мантикор характерен совершенно удивительный способ образования гамет, больше не встречающийся ни у каких животных. Мантикоры диплоидны, при гаметогенезе происходит мейоз. Однако, если в гаплоидной клетке, образовавшейся после второго деления мейоза, есть аллель *a*, такая клетка делится надвое митозом. Затем все гаплоидные клетки превращаются в гаметы. Аллель *A* не приводит к делению клетки-предшественницы гаметы. По сравнению с таким поразительным феноменом окраска гривы у мантикор наследуется до смешного просто: доминантный аллель *B* определяет рыжую окраску гривы, рецессивный аллель *b* – чёрную. Гены *A* и *B* расположены в одной аутосоме, частота кроссинговера между ними составляет 24%. У всех генотипов плодовитость одинакова, а окраска гривы не влияет на успешность размножения.

Исследователи поставили два скрещивания:

Скрещивание 1: *aaBb* × *AAbb*

Скрещивание 2: *AABb* × *aabb*

Самок с рыжей гривой из потомства первого скрещивания скрестили с рыжегривыми самцами из первого поколения второго скрещивания. Было получено множество детёнышей. Какое расщепление по окраске гривы мы можем ожидать у них?

Ответ запишите в процентах с точностью до десятых.

Задание №4 (15 баллов). Анализ текста.

Внимательно прочитайте текст. Ответьте на вопросы, используя информацию из текста и свои знания по биологии.

Клетки человеческого организма имеют ограниченный потенциал для деления. Вероятно, это означает, что достижение физического бессмертия невозможно. Неудивительно, что

это – одна из самых интересных и активно исследуемых тем молекулярной биологии. Основная причина невозможности бесконечного деления заключается в том, что линейная молекула ДНК в ходе каждого раунда репликации укорачивается. А это значит, что рано или поздно будут разрушены жизненно-важные гены, и клетка погибнет.

Впервые эту проблему еще в 1971 г. предсказал советский биолог А.М. Оловников. Она получила название «проблема концевой репликации линейной ДНК». Дело в том, что все существующие в природе ДНК-полимеразы физически не могут полностью скопировать концевые последовательности ДНК, так как неспособны начинать синтез ДНК на одноцепочечных матрицах. Им обязательно нужна затравка (праймер) длиной хотя бы 10-20 нуклеотидов, формирующая короткий двуцепочечный участок (рис.1). У РНК-полимераз такого ограничения нет, они могут начинать синтез без затравок, поэтому именно они синтезируют РНК-праймеры для ДНК-полимераз. В конце репликации эти РНК-праймеры заменяются на ДНК, но на самом конце это невозможно, так как нужно начинать синтез без затравки (см. вверху справа на рис.1). Поэтому после каждого цикла репликации на конце остается небольшой одноцепочечный участок ДНК, который вскоре разрушается специальными ферментами, и ДНК таким образом укорачивается, причем укорочение превышает размер затравки и составляет 50-200 нуклеотидов.

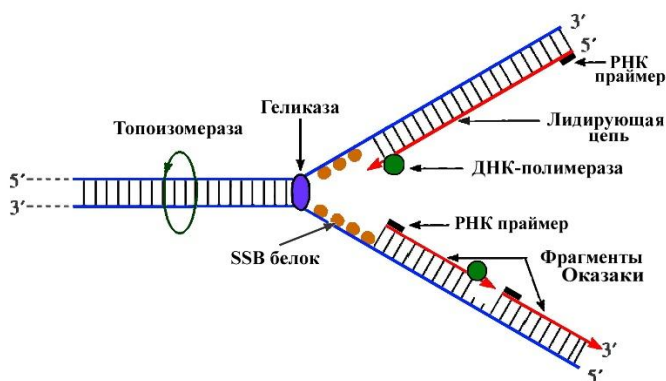


Рисунок 1. Схема репликации ДНК. РНК-праймеры (затравки) показаны черными прямоугольниками.

Чтобы не повреждались гены, на концах всех хромосом есть специальные не кодирующие белок последовательности ДНК – теломеры. У человека они имеют длину около 10 тысяч пар нуклеотидов и состоят из короткой многократно повторяющейся последовательности TTAGGG. Теломеры связаны со специализированным комплексом белков шелтеринном, который обеспечивает дополнительную защиту: без него концы хромосом были бы восприняты клеткой как двуцепочечные разрывы, что привело бы к активации программы клеточной смерти (например, апоптоза).

В 1961 году американский ученый Л. Хейфлик обнаружил, что нормальные человеческие фибробласты (клетки соединительной ткани) могут делиться не более 40-60 раз в культуре на чашке Петри, после чего они перестают делиться и входят в состояние постоянного покоя. Это явление получило название «предел Хейфлика». Позже, благодаря идеям Оловникова, была установлена главная причина этого ограничения: прогрессивное укорочение теломер. Когда теломеры становятся критически короткими, они уже не могут

должным образом защищать хромосомные концы, и клетка воспринимает это как сигнал опасности. В ответ активируются специальные системы, которые останавливают деление. Главным белком этих систем является p53 – фактор транскрипции, который активируется в ответ на укорочение теломер и на повреждения ДНК и активирует гены, ответственные за остановку клеточного деления (рис.2).

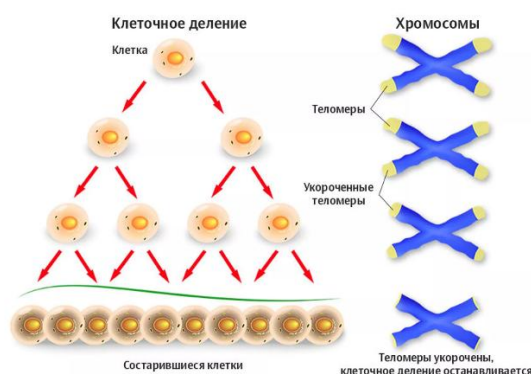


Рисунок 2. Теломеры на концах хромосом и их укорочение в ходе клеточных делений.

Состояние, в котором находятся достигшие предела Хейфлика клетки, называется сенесценсом (senescence) или клеточным старением. Сенесцентные клетки не делятся и остаются живыми, но функционируют хуже. Они выделяют различные воспалительные цитокины, а также в них происходят глубокие перестройки: изменяется экспрессия генов, накапливаются повреждения ДНК. Сенесценция служит важным механизмом защиты от рака, не позволяя размножаться поврежденным клеткам. Однако эта защита срабатывает только в том случае, если p53 функционирует нормально.

Проблема возникает, когда клетка каким-то образом - благодаря накоплению набора мутаций (особенно часто они возникают именно в p53) - преодолевает запрет на деление и продолжает делиться, несмотря на продолжающееся все более опасное укорочение теломер. В результате клетка вступает в фазу репликативного кризиса. Во время репликативного кризиса теломеры становятся нестабильными и подвергаются слияниям с концами других хромосом. Это приводит к образованию циклических хромосом, содержащих слитые концы, которые разрывают друг друга при попытке деления митозом. Такие события генерируют геномную нестабильность и создают множество опасных хромосомных поломок.

Большинство клеток, входящих в репликативный кризис, погибает от апоптоза. Однако некоторые редкие клетки, которые накопили достаточно дополнительных генетических изменений, способны активировать фермент теломеразу, превращаясь в раковые клетки. Теломераза - это специальный фермент, который умеет удлинять теломеры. Ее существование было предсказано А. Оловниковым и впоследствии блестяще подтвердилось. Дело в том, что иначе невозможно объяснить, почему человеческая популяция до сих пор еще жива. Если бы клетки зародышевой линии, эмбриональные и стволовые клетки не были способны удлинять теломеры, размножение организмов было

бы вообще невозможным, так как все клетки погибали бы после нескольких десятков делений. Именно в этих трех типах клеток теломераза активна. А почти во всех остальных соматических клетках, составляющих почти весь человеческий организм, она не работает. Однако в раковых клетках теломераза реактивируется, позволяя им обойти предел Хейфлика и приобрести способность к неограниченному делению. А это - основное свойство раковых клеток, называемое бессмертием. Получается интересная картина: у человека есть клетки, где теломераза активна на «законном основании», и эти клетки (например, клетки зародышевой линии) реально бессмертны и необходимы для выживания и отдельного организма, и всего вида. Но все остальные клетки, если тоже «захотят» бессмертия и активируют теломеразу, бессмертия действительно получают (культуры раковых клеток в самом деле делятся бесконечно), но не надолго, так как убьют породивший их организм.

Длина теломер может служить показателем клеточного старения и «молекулярными часами» клеточной жизни. Интересно, что она уменьшается не только при делении, но и при неблагоприятных условиях, например, при наличии химически активных веществ, повреждающих ДНК. В этом случае в теломерах образуются множественные разрывы, что вызывает их укорочение. Показано, что теломеры укорачиваются при хроническом стрессе, бессоннице, курении и некоторых других негативных особенностях образа жизни.

Из всего этого следуют два вывода. Один, который многим может показаться грустным, состоит в том, что физическое бессмертие невозможно. Второй, более оптимистичный: образ жизни прямо сказывается на скорости старения, и это значит, что старение можно замедлить, продлив здоровую, активную и радостную жизнь.

Задания

В каждом задании содержится не менее одного верного утверждения. Вам нужно выбрать все верные утверждения (или неверные – в зависимости от формулировки вопроса). Запишите соответствующие им буквы в таблицу к вопросу №4 в бланке ответов.

№1. Выберите верную последовательность (верные последовательности) событий.

А) Молодая клетка делится - клетка достигает сенесценса и перестает делиться - теломеры укорачиваются - в клетке мутирует и инактивируется p53 - наступает репликативный кризис - клетка продолжает делиться, теломеры становятся критически короткими - клетка погибает, но в редких случаях в результате дополнительных мутаций становится раковой

Б) Молодая клетка делится - в клетке мутирует и инактивируется p53 - теломеры укорачиваются - клетка достигает сенесценса и перестает делиться - наступает репликативный кризис - клетка продолжает делиться, теломеры становятся критически короткими - клетка погибает, но в редких случаях в результате дополнительных мутаций становится раковой.

В) Молодая клетка делится - клетка продолжает делиться, теломеры становятся критически короткими - наступает репликативный кризис - теломеры укорачиваются -

клетка достигает сенесценса и перестает делиться - в клетке мутирует и инактивируется p53 - клетка погибает, но в редких случаях в результате дополнительных мутаций становится раковой.

Г) Молодая клетка делится - теломеры укорачиваются - клетка достигает сенесценса и перестает делиться - в клетке мутирует и инактивируется p53 - клетка продолжает делиться, теломеры становятся критически короткими - наступает репликативный кризис - клетка погибает, но в редких случаях в результате дополнительных мутаций становится раковой.

№2. Выберите верные утверждения о теломерах.

- А) В соматической клетке человека 92 теломеры.
- Б) Чем старше человек, тем в среднем короче у него теломеры в соматических клетках.
- В) Все клетки человека имеют одинаковую длину теломер.
- Г) Основной функцией теломер является хранение генетической информации для синтеза белков.
- Д) Если клетка способна делиться бесконечно, то у нее должен работать механизм восстановления длины теломер.

№3. Выберите верные утверждения

- А) Вирусы с линейным РНК-геномом сталкиваются с проблемой репликации концов.
- Б) Проблема концевой репликации актуальна и для ядерной, и для митохондриальной ДНК клеток человека.
- В) Вирусы с линейным ДНК-геномом не сталкиваются с проблемой концевой репликации.
- Г) У большинства соматических клеток человека существует максимально возможное число делений, достигнув которого, нормальные клетки перестают делиться.

№4. Выберите верные утверждения о теломеразе.

- А) Теломераза активна в клетках зародышевой линии человека.
- Б) Можно ожидать, что вещества, ингибирующие теломеразу, будут иметь анти-раковую активность.
- В) Теломераза активна во всех соматических клетках человека.

Г) Если во всех клетках организма активировать теломеразу, то можно ожидать повышения вероятности образования раковых опухолей.

Д) Теломераза реактивируется в большинстве случаев у всех здоровых соматических клеток, позволяя им достичь бессмертия.

№5. Выберите верные утверждения.

А) Чем старше человек, тем выше у него вероятность возникновения рака.

Б) Сенесценс – это адаптивный механизм, предотвращающий размножение клеток с дефектами.

В) При выращивании в чашке Петри максимальное число делений фибробластов 40-летнего человека будет больше, чем у фибробластов 20-летнего.

Г) С возрастом число сенесцентных клеток в организме увеличивается.

Д) Можно ожидать, что в раковых опухолях частой поломкой будут мутации гена белка p53, делающие его нефункциональным.

Особенность заданий № 5-№7 - наличие большого числа решений. Помните, что чем больше разумных вариантов ответа Вы приведете, тем более высокой будет оценка. ВАЖНО: учитываются только верные ответы; за неверные гипотезы оценка не снижается!

Задание №5 (16 баллов).

Известно, что в тропиках окраска оперения птиц ярче, чем в средней полосе. Какими причинами это может быть вызвано и почему?

Задание № 6 (16 баллов).

Зачем растениям вырабатывать токсины, если можно защищаться только шипами и жёсткими тканями? Приведите и объясните возможные причины.

Задание №7 (16 баллов).

К настоящему времени получены сотни клеточных линий из разных тканей человека: например, линии клеток печени, кишечника или лейкоцитов. Клетки этих линий можно выращивать в чашках Петри и проводить с ними различные эксперименты. Студент Миша изучает работу нового фермента человека футурина, недавно открытого лаборатории, где он работает. Ему дали линию, клетки которой синтезируют этот фермент. Чтобы понять роль этого фермента в клетке, Мише нужно сделать так, чтобы он перестал работать. Какими способами можно «выключить» фермент?