

ВВЕДЕНИЕ

Под микроскопом трудно различить клетки млекопитающих между собой и определить: человек это, грызун или слон, но в их молекулярных структурах (гены, ДНК) скрыта природная материальная система, управляющая индивидуальным типом развития.

Современный старшеклассник должен быть знаком с законами наследственности. Один из важнейших показателей владения этими знаниями – умение решать задачи по биологии. Оно необходимо для освоения логики генетического анализа, для изучения частной генетики видов, селекции культур растений и пород животных.

Данный сборник содержит более ста задач по генетике, цитогенетике, основам молекулярной генетики и отражает необходимый уровень знания о роли наследственности и изменчивости. В него включены задачи, аналогичные предлагаемым выпускникам школы на едином государственном экзамене (ЕГЭ) по биологии и на заключительных этапах вузовских олимпиад для школьников, потому он может служить пособием для подготовки к олимпиадам и ЕГЭ.

Цель пособия – помочь в овладении практически приемами решения наиболее сложных заданий ЕГЭ по биологии: 28 – задача по цитологии на применение знаний в новой ситуации и 29 – задача по генетике на применение знаний в новой ситуации (нумерация заданий приведена по контрольно-измерительным материалам 2023 г.). Эти задания трудны для самостоя-

тельного решения, так как требуют представления о клеточных процессах, которые нельзя наблюдать в повседневной жизни, и развитого абстрактного мышления.

Для понимания строения ДНК, гена, хроматина, хромосом, фаз мейоза, этапов биосинтеза белка, чередования гаплоидной и диплоидной фаз в жизненном цикле растений в пособии приведены рисунки и схемы, представлен словарь основных терминов по разделам «Цитология» и «Генетика».

Задачи по биосинтезу белка, с применением принципа антипараллельности цепей нуклеиновых кислот, отнесены к разделу «Цитология». Задачи, в которых принцип антипараллельности просто отмечается 3' и 5' концами молекул, но в решении нет действий по принципу антипараллельности, отнесены к разделу «Генетика» и предназначены в качестве тренировочных для овладения принципом комплементарности и усвоения знаний по строению гена и механизмам генной мутационной изменчивости.

Процесс решения любой задачи подчиняется общему алгоритму, который включает в себя следующие этапы:

- 1) анализ задачи (выделение исходных данных и вопросов);
- 2) схематическая запись решения (запись результатов анализа задачи);
- 3) поиск способа решения (распознавание вида задачи);
- 4) осуществление решения (запись решения общепринятым способом);
- 5) проверка решения (установление соответствия между полученными результатами и вопросами задачи);
- 6) формулирование ответа (запись ответа в соответствии с вопросом задачи).

Задачи повышенного уровня сложности обозначены звездочкой (*), высокого – двумя звездочками (**), олимпиадного – буквой О (°). К каждой задаче сборника приведен разбор решения и дано содержание верного ответа.

ЦИТОЛОГИЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Клетка как биологическая система. Эукариотическая клетка имеет сложную структуру (рис. 1).

Органеллы клетки выполняют различные важные для организма функции, в числе которых размеще-



Рис. 1. Строение животной эукариотической клетки

ние генетического материала и выполнение процесса синтеза белка (рис. 2). Биосинтез белка начинается в ядре со списывания информации о структуре белковой молекулы с ДНК на иРНК по принципу комплементарности, проходит следующие стадии: *инициация* (начинается со старт-кодона АУГ, который кодирует метионин), *элонгация*, *терминация* и заканчивается стоп-кодоном.

Свойства генетического кода

1. *Триплетность* – в состав РНК входят четыре типа нуклеотидов, азотистые основания которых представлены аденином (А), гуанином (Г), цитозином (Ц), урацилом (У). Тимин (Т) не встречается в РНК (кроме тРНК), вместо тимина в РНК – урацил.

Природа создала трехбуквенный (триплетный) код. Это означает, что каждая аминокислота зашифрована последовательностью трех нуклеотидов, называемых триплетом, или кодоном. Из четырех нуклеотидов можно создать 64 различные комбинации по три нуклеотида в каждой.

2. *Вырожденность* – каждая аминокислота шифруется более чем одним кодоном. Исключение составляют аминокислоты метионин и триптофан, каждая из которых кодируется только одним триплетом.

3. *Однозначность* – каждый кодон шифрует только одну аминокислоту. У всех здоровых людей в гене, несущем информацию о β -цепи гемоглобина, триплет ГАА или ГАГ, стоящий на шестом месте, кодирует глутаминовую кислоту. У больных серповидно-клеточной анемией второй нуклеотид в этом триплете заменен на У. Триплеты ГУА и ГУГ, которые в этом случае образуются, кодируют аминокислоту валин.

4. *Дискретность* (наличие знаков препинания между генами) – как в печатном тексте в конце каждого предложения стоит точка, так и в конце гена должен быть знак, отделяющий один ген от следующего. Для этого в генетическом коде есть специальные триплеты (стоп-кодоны), находящиеся в конце гена, – УАА, УАГ, УГА, которые не кодируют аминокислоту и являются сигналом окончания синтеза белка.

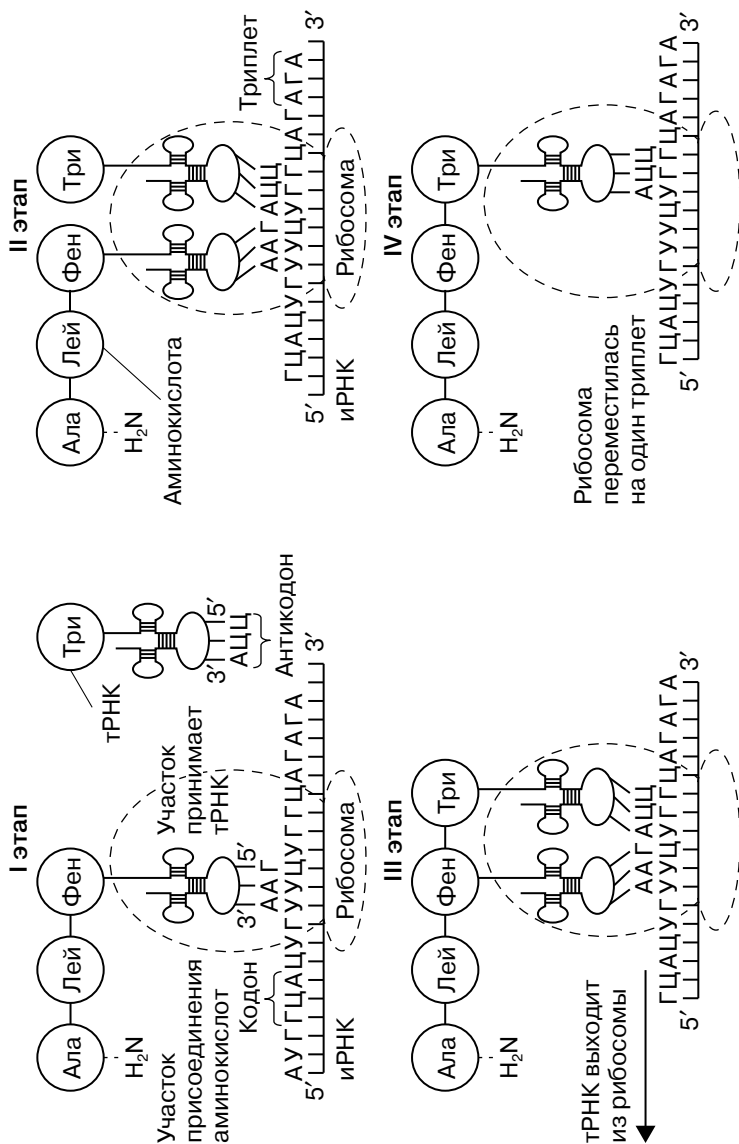


Рис. 2. Схема биосинтеза белка

5. *Непрерывность считывания информации внутри гена* – при выпадении нуклеотидов информация нарушается, и синтез белка будет отличаться от нормального.

6. *Универсальность* – генетический код един для всех живущих на Земле существ. У грибов, бактерий, растений, животных и человека одни и те же триплеты кодируют одни и те же аминокислоты (табл. 1).

Сокращенные названия аминокислот даны в соответствии с международной терминологией:

Ала – аланин	Гис – гистидин
Арг – аргинин	Гли – глицин
Асн – аспарагин	Глн – глутамин
Асп – аспарагиновая кислота	Глу – глутаминовая кислота
Вал – валин	Иле – изолейцин

Таблица 1

Генетический код иРНК (ДНК)

Первое основание	Второе основание				Третье основание
	У(А)	Ц(Г)	А(Т)	Г(Ц)	
У(А)	Фен	Сер	Тир	Цис	У(А)
	Фен	Сер	Тир	Цис	Ц(Г)
	Лей	Сер	Стоп-кодон	Стоп-кодон	А(Т)
	Лей	Сер	Стоп-кодон	Три	Г(Ц)
Ц(Г)	Лей	Про	Гис	Арг	У(А)
	Лей	Про	Гис	Арг	Ц(Г)
	Лей	Про	Глн	Арг	А(Т)
	Лей	Про	Глн	Арг	Г(Ц)
А(Т)	Иле	Тре	Асн	Сер	У(А)
	Иле	Тре	Асн	Сер	Ц(Г)
	Иле	Тре	Лиз	Арг	А(Т)
	Мет	Тре	Лиз	Арг	Г(Ц)
Г(Ц)	Вал	Ала	Асп	Гли	У(А)
	Вал	Ала	Асп	Гли	Ц(Г)
	Вал	Ала	Глу	Гли	А(Т)
	Вал	Ала	Глу	Гли	Г(Ц)

Лей – лейцин

Лиз – лизин

Мет – метионин

Про – пролин

Сер – серин

Тир – тирозин

Тре – треонин

Три – триптофан

Фен – фенилаланин

Цис – цистеин

От чередования различных нуклеотидов в определенном локусе ДНК зависит последовательность расположения аминокислот в белковой молекуле (табл. 2). Чтобы определить закодированную триплетом аминокислоту, в табл. 1 нужно найти первый нуклеотид слева, второй – вверху, третий – справа и провести от них

Таблица 2

Соответствие аминокислот и кодонов иРНК

Аминокислота	Смысловые кодоны иРНК
Фенилаланин	УУУ, УУЦ
Лейцин	УУА, УУГ, ЦУУ, ЦУЦ, ЦУА, ЦУГ
Изолейцин	АУУ, АУЦ, АУА
Метионин	АУГ
Валин	ГУУ, ГУЦ, ГУА, ГУГ, АГУ, АГЦ
Серин	УЦУ, УЦЦ, УЦА, УЦГ
Пролин	ЦЦУ, ЦЦЦ, ЦЦА, ЦЦГ
Треонин	АЦУ, АЦЦ, АЦА, АЦГ
Аланин	ГЦУ, ГЦЦ, ГЦА, ГЦГ
Тирозин	УАУ, УАЦ
Гистидин	ЦАУ, ЦАЦ
Глицин	ГГУ, ГГЦ, ГГА, ГГГ
Аспарагин	ААУ, ААЦ
Лизин	ААА, ААГ
Аспарагиновая кислота	ГАУ, ГАЦ
Глутаминовая кислота	ГАА, ГАГ
Цистеин	УГУ, УГЦ
Триптофан	УГГ
Аргининовая кислота	ЦГУ, ЦГЦ, ЦГА, ЦГГ
Аргинин	АГА, АГГ
Глутамин	ЦАА, ЦАГ

линии, в месте пересечения которых указано название аминокислоты.

По табл. 1 удобно определять по заданному триплету соответствующую ему аминокислоту, по табл. 2 – по заданной аминокислоте соответствующие ей триплеты. Положение каждой тройки нуклеотидов (триплет) в молекуле ДНК определяет место включения аминокислот в белковую молекулу, образование которой происходит при участии РНК.

При решении задач нужно помнить: количество аденина равно количеству тимина, количество гуанина равно количеству цитозина в молекуле ДНК, а в молекуле РНК тимин заменен урацилом.

Митоз и мейоз. Наиболее четко хромосомы видны в метафазе и анафазе. В телофазе митоза происходит декомпактизация вещества хромосом, оно приобретает структуру интерфазного хроматина.

В отличие от митоза, который происходит во всех соматических клетках, мейоз протекает в специализированных диплоидных клетках и только в определенные моменты жизни данного организма. Только в начале мейоза происходит *кроссинговер* – обмен гомологичными участками хромосом. В результате мейоза из одной $2n$ клетки образуются четыре гаплоидные (n) гаметы или споры (у растений).

Гамета – это клетка, которая, сливаясь с другой гаметой, образует диплоидную зиготу. *Зигота* – оплодотворенная яйцеклетка. Зигота затем может делиться мейотически, образуя четыре гаплоидные клетки, или митотически, давая начало многоклеточному $2n$ организму.

У растений гаплоидные клетки могут функционировать как самостоятельные одноклеточные организмы. Если сформировался многоклеточный $2n$ организм, то со временем он будет образовывать гаплоидные споры или гаметы посредством мейоза.

Спора – это клетка, которая может развиваться в целый организм без объединения с другой клеткой. Споры часто делятся митотически, и в результате формируется гаплоидный многоклеточный организм, у которого путем митоза образуются гаметы.

Подсчет количества молекул ДНК и хромосом. Рассмотрим примеры задач, в которых требуется определить количество хромосом и молекул ДНК у конкретного организма на разных стадиях мейоза, митоза. А именно:

а) в клетках растений (рис. 3а)

Задача. Хромосомный набор соматических клеток пшеницы равен 28. Определите хромосомный набор и число молекул ДНК в ядрах клеток семязачатка в анафазе первого деления мейоза и в конце телофазы первого деления мейоза. Объясните полученные результаты.

Ответ. В анафазе мейоза число хромосом – 28, число молекул ДНК – 56, к полюсам клетки расходятся гомологичные хромосомы, поэтому число хромосом и молекул ДНК не меняется. В конце телофазы мейоза после первого деления число хромосом – 14, число молекул ДНК – 28, происходит редукционное деление, образуются две клетки с гаплоидным набором хромосом, каждая хромосома состоит из двух сестринских хроматид.

б) в клетках человека (рис. 3б)

Задача. Общая масса всех молекул ДНК в 46 хромосомах в постсинтетический период интерфазы одной соматической клетки человека составляет 0,000 000 006 мг. Определите, чему равна масса всех молекул ДНК в ядрах клеток при овогенезе в конце телофазы первого деления мейоза.

Ответ. В синтетический период интерфазы происходит репликация ДНК, в результате чего количество ДНК удваивается и их масса составляет перед делением 0,000000012 мг. В телофазе первого деления мейоза после цитокинеза масса молекул ДНК становится в два раза меньше – 0,000000006 мг, так как к концу первого деления мейоза клетки содержат гаплоидный набор хромосом, каждая из которых состоит из одной молекулы ДНК.

в) в клетках пыльцевого зерна растения (рис. 3в)

Задача. Какой хромосомный набор характерен для вегетативной, генеративной клеток и спермиев пыльцевого зерна цветкового растения? Объясните, из каких исходных клеток и в результате какого деления образуются эти клетки.

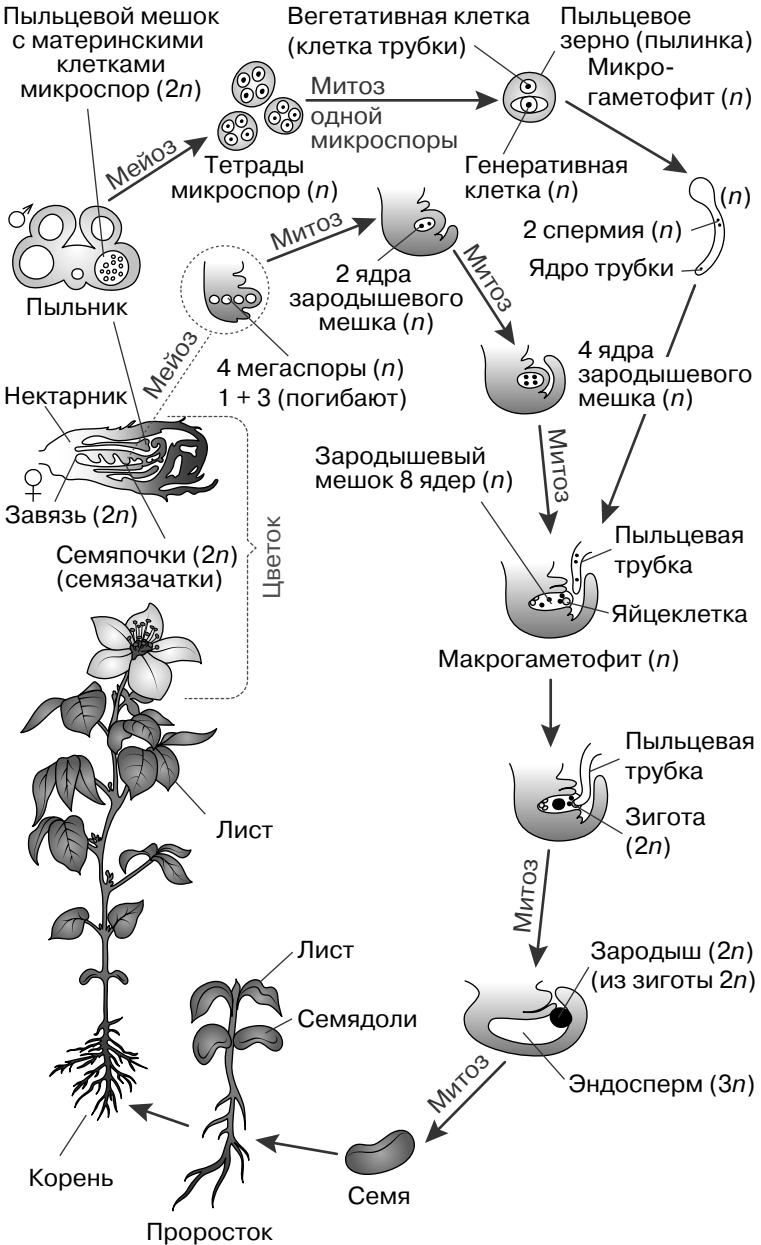


Рис. 3а. Жизненный цикл цветковых растений

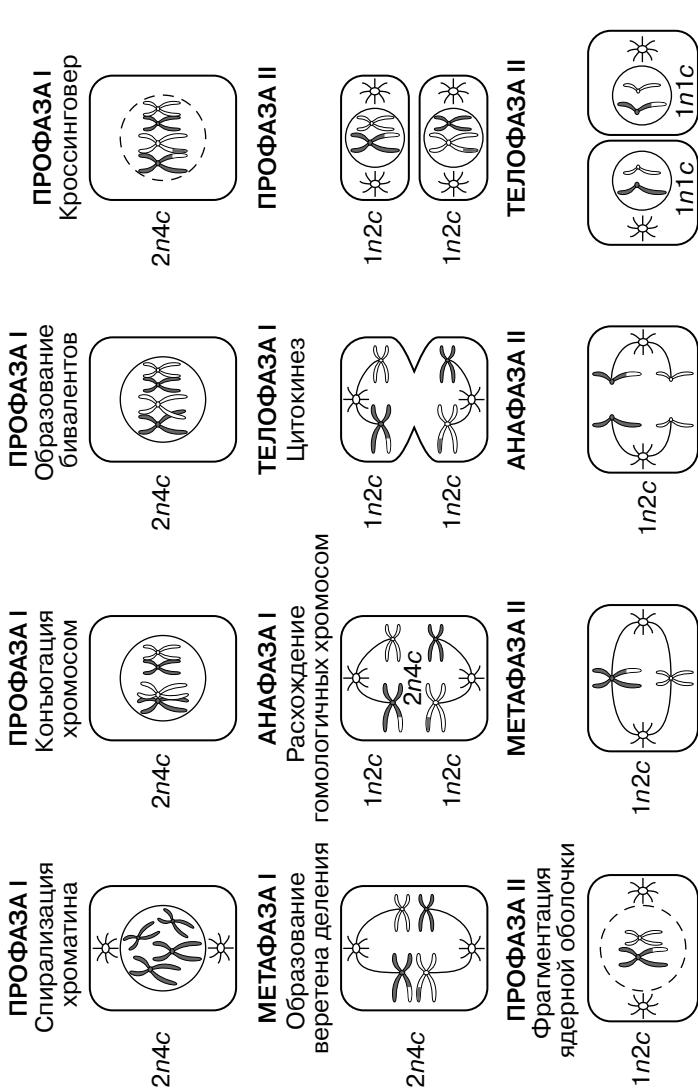
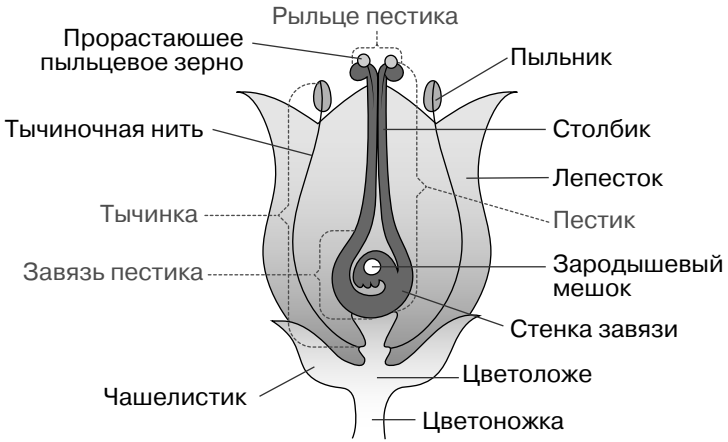
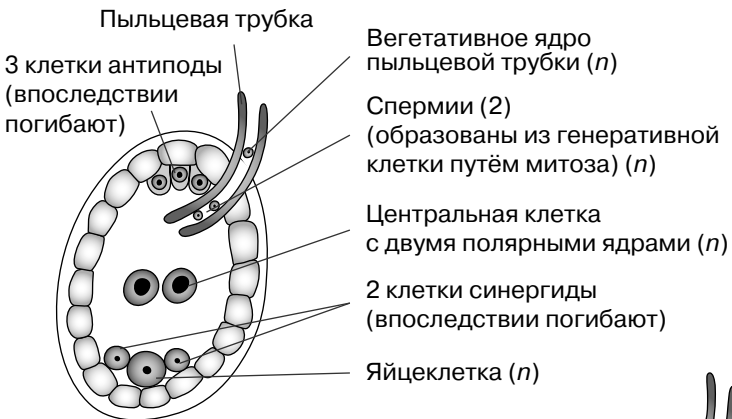


Рис. 36. Образование гамет (n) в результате мейоза
(1n – гаплоидный набор хромосом, 2n – диплоидный набор хромосом, c – количество ДНК)



Продольный разрез цветка



Зародышевый мешок (7 клеток) 8 ядер

1. Слияние спермия (n) с яйцеклеткой (n) с образованием зиготы ($2n$)
2. Слияние спермия (n) с центральной клеткой ($2n$), с образованием эндосперма ($3n$)

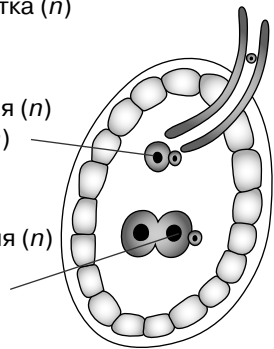


Рис. 3в. Двойное оплодотворение у цветковых растений

Ответ. Набор хромосом вегетативной и генеративной клеток – n . Эти клетки образуются путем митоза при делении гаплоидной микроспоры. Хромосомный набор спермиев – n , спермии образуются из генеративной клетки путем митоза.

г) в клетках заростка и корневища папоротника (рис. 3г)

Задача. Какой хромосомный набор характерен для клеток заростка и клеток корневища папоротника. Из каких исходных клеток и в результате какого деления образуются эти клетки?

Ответ. Заросток имеет гаплоидный набор хромосом. Заросток – гаметофит. Он образуется из гаплоидной споры путем митоза. Клетки корневища имеют диплоидный набор хромосом. Корневище образуется в результате деления клеток зародыша митотическим путем.

д) в клетках спор и гамет хламидомонады (рис. 3д)

Задача. У хламидомонады преобладающим поколением является гаметофит. Определите хромосомный набор спор и гамет хламидомонады. Из каких исходных клеток и в результате какого деления образуются эти клетки при половом размножении?

Ответ. Хромосомный набор споры – гаплоидный. Споры образуются из диплоидной зиготы путем мейоза. Хромосомный набор гамет – гаплоидный, гаметы образуются из клетки взрослого организма путем митоза.

е) в клетках иголок и спермиев сосны (рис. 3е)

Задача. Какой хромосомный набор характерен для клеток мякоти иголок и спермиев сосны? Из каких исходных клеток и в результате какого деления образуются эти клетки?

Ответ. В клетках иголок сосны набор хромосом – $2n$, в спермиях сосны – n . Взрослое растение сосны развивается из диплоидной зиготы путем митоза, спермии сосны развиваются из гаплоидных микроспор путем митоза.

ж) в клетках стебля и спорах мха (рис. 3ж)

Задача. Какой хромосомный набор характерен для клеток стебля, клеток ножки спорогона и спор растения мха кукушкин лён? Из каких исходных клеток и в результате какого деления они образуются?

Ответ. В клетках стебля кукушкина льна гаплоидный (n) набор хромосом, в клетках ножки спорогона – диплоидный ($2n$), в одноклеточных спорах – гаплоидный (n). Растение мха, представленное стеблем с мелкими листьями (выростами стебля) и ризоидами (не у всех мхов), является гаметофитом (n) и развивается из гаплоидной споры (n) путем митоза. Спорогон мха, представленный ножкой и коробочкой, в которой развиваются споры, является спорофитом ($2n$), который образуется из зиготы ($2n$) путем митоза прямо на гаметофите. Споры (n) мха созревают в коробочке спорогона, являющегося спорофитом ($2n$), путем мейоза.

Таким образом, чтобы определить общее количество хромосом в клетке, надо четко понимать, как изменяется их количество на каждом этапе митоза и мейоза.

ЗАДАЧИ

Генетический код. Биосинтез белка

1. Исходный фрагмент молекулы ДНК имеет следующую последовательность нуклеотидов (верхняя цепь – смысловая, нижняя – транскрибируемая):

5' – ГЦГГГЦТАТГАТЦТГ – 3'

3' – ЦГЦЦГАТАЦТАГАЦ – 5'.

В результате замены одного нуклеотида в ДНК четвертая аминокислота во фрагменте полипептида заменилась на аминокислоту Вал. Определите аминокислоту, которая кодировалась до мутации. Какие изменения произошли в ДНК и иРНК в результате замены одного нуклеотида? Благодаря какому свойству генетического кода одна и та же аминокислота у разных организмов кодируется одним и тем же триплетом? Ответ поясните. Для выполнения задания используйте таблицу генетического кода.

2. Фрагмент начала гена имеет следующую последовательность нуклеотидов (верхняя цепь – смысловая, нижняя – транскрибируемая):

5' – ГЦАТГГГЦТЦТГГАТЦТАГГ – 3'

3' – ЦГТАЦЦГАГАЦЦТАГАТЦЦ – 5'.

Ген содержит информативную и неинформативную части для трансляции. Информативная часть гена начинается с триплетта, кодирующего аминокислоту Мет. С какого нуклеотида начинается информативная часть гена? Определите последовательность аминокислот во фрагменте полипептидной цепи. Ответ поясните. Для выполнения задания используйте таблицу генетического кода.

3. Молекулы тРНК, несущие соответствующие антикодоны, входят в рибосому в следующем порядке: ГУА, УАЦ, УГЦ, ГЦА. Определите последовательность нуклеотидов смысловой и транскрибируемой цепей ДНК, иРНК и аминокислот в молекуле синтезируемого фрагмента белка. Ответ поясните. Для выполнения задания используйте таблицу генетического кода. При выполнении задания учитывайте, что антикодоны тРНК антипараллельны кодонам иРНК.

4. Определите последовательность аминокислот во фрагменте полипептидной цепи и обоснуйте свой ответ:
иРНК: 5' – ГУЦ-АЦА-ГЦГ-АУЦ-ААУ – 3'.

Какие изменения могли произойти в результате генной мутации во фрагменте молекулы ДНК, если вторая аминокислота в полипептиде заменилась на аминокислоту пролин (Про)? Какое свойство генетического кода определяет возможность существования разных фрагментов мутированной молекулы ДНК? Ответ обоснуйте. Для выполнения задания используйте таблицу генетического кода.

5. Некоторые вирусы в качестве генетического материала несут РНК. Такие вирусы, заразив клетку, встраивают ДНК-копию своего генома в геном хозяйской клетки. В клетку проникла вирусная РНК следующей последовательности:

5' – АУГГЦУУУУГЦА – 3'.

Определите, какова будет последовательность вирусного белка, если матрицей для синтеза иРНК служит цепь, комплементарная вирусной РНК. Напишите последовательность фрагмента ДНК, укажите 5' и 3' концы цепей. Ответ поясните. Для выполнения задания используйте таблицу генетического кода.

6. Фрагмент молекулы ДНК имеет последовательность нуклеотидов (верхняя цепь – смысловая, нижняя – транскрибируемая):

5' – ТАТТЦЦТАЦГГАААА – 3'

3' – АТААГГАТГЦЦТТТТ – 5'.

Определите последовательность аминокислот во фрагменте полипептидной цепи и обоснуйте свой ответ. Какие изменения могли произойти в результате генной мутации во фрагменте молекулы ДНК, если третья аминокислота в полипептиде заменилась на аминокислоту Цис? Какое свойство генетического кода определяет возможность существования разных фрагментов мутированной молекулы ДНК? Ответ обоснуйте. Для выполнения задания используйте таблицу генетического кода.

7. В биосинтезе белка участвуют молекулы тРНК с антикодонами 5' – ЦЦА – 3'; 5' – ГАЦ – 3'; 5' – УУА – 3'; 5' – ААУ – 3'; 5' – АУГ – 3'; 5' – ЦГА – 3'. Определите нуклеотидную последовательность двойной цепи ДНК (смысловой и транскрибируемой), в которой закодирована информация о структуре данного белка. Ответ обоснуйте. Для выполнения задания используйте таблицу генетического кода.

8. Фрагмент молекулы ДНК имеет следующую последовательность нуклеотидов (верхняя цепь – смысловая, нижняя – транскрибируемая):

5' – ГЦГГЦТАТГАТЦТГ – 3'

3' – ЦГЦЦГАТАЦТАГАЦ – 5'.

В результате замены одного нуклеотида в ДНК третья аминокислота во фрагменте полипептида заменилась на аминокислоту Гис. Определите аминокислоту, которая кодировалась до мутации. Какие изменения произошли в ДНК и иРНК в результате замены одного нуклеотида? Благодаря какому свойству генетического кода одна и та же аминокислота у разных организмов кодируется одним и тем же триплетом? Ответ поясните. Для выполнения задания используйте таблицу генетического кода.

9. Известно, что все виды РНК синтезируются на ДНК-матрице. Фрагмент молекулы ДНК, на которой

синтезируется участок центральной петли тРНК, имеет следующую последовательность нуклеотидов (верхняя цепь – смысловая, нижняя – транскрибируемая):

5' – ТГЦГЦТГЦАЦЦАГЦТ – 3'

3' – АЦГЦГАЦГТГГТЦГА – 5'.

Установите нуклеотидную последовательность участка тРНК, который синтезируется на данном фрагменте, обозначьте 5' и 3' концы этого фрагмента и определите аминокислоту, которую будет переносить эта тРНК в процессе биосинтеза белка, если третий триплет с 5' конца соответствует антикодону тРНК. Ответ поясните. Для выполнения задания используйте таблицу генетического кода.

10. Известно, что все виды РНК синтезируются на ДНК-матрице. Фрагмент молекулы ДНК, на которой синтезируется участок центральной петли тРНК, имеет следующую последовательность нуклеотидов (верхняя цепь – смысловая, нижняя – транскрибируемая):

5' – ТГЦЦАТТТТЦГАТАГ – 3'

3' – АЦГГТААААГЦТАТЦ – 5'.

Установите нуклеотидную последовательность участка тРНК, который синтезируется на данном фрагменте, обозначьте 5' и 3' концы этого фрагмента и определите аминокислоту, которую будет переносить эта тРНК в процессе биосинтеза белка, если третий триплет с 5' конца соответствует антикодону тРНК. Ответ поясните. Для выполнения задания используйте таблицу генетического кода.

Митоз. Мейоз. Жизненные циклы растений

11. Хромосомный набор соматических клеток коровы составляет 60 хромосом. Определите число хромосом и число молекул ДНК в клетке при гаметогенезе после первого и второго делений мейоза. Объясните все полученные результаты.

12. Какой хромосомный набор характерен для клеток микроспоры и спермия томата? Объясните, из каких исходных клеток и в результате какого деления они образуются.