

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Смоленский государственный университет»

Кафедра биологии и декоративного растениеводства

«Утверждаю»

Проректор по учебно-
методической работе
_____ Ю.А. Устименко
«09» сентября 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины
Б1.В.ДВ.12.01 Генетические основы адаптаций**

Направление подготовки: 05.03.06 Экология и природопользование

Направленность: Экология и природопользование

Курс – 4

Семестр – 8

Форма обучения – очная

Всего зятных единиц – 2, часов – 72

Лекции – 20 час.

Практические занятия – 20 час.

Самостоятельная работа – 32 час.

Форма отчетности: зачет – 8 семестр

Программа составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки
05.03.06 Экология и природопользование

Программу разработал:

канд. биол. наук, доцент Максимова Т.И.

Одобрена на заседании кафедры биологии и декоративного растениеводства
«02» сентября 2021 года, протокол № 1

Смоленск
2021

1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.12.01 «Генетические основы адаптаций» относится к блоку дисциплин по выбору вариативной части ОП по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование.

Курс «Генетические основы адаптаций» изучается после биологии, общей экологии, экологии растений, экологии животных, анатомо-морфологических и физиологических основ адаптаций, параллельно с экологией человека и тесно взаимосвязан с ними.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование и развитие следующих профессиональных и специальных компетенций:

- ОПК-2 – владением базовыми знаниями фундаментальных разделов физики, химии и биологии в объеме, необходимом для освоения физических, химических и биологических основ в экологии и природопользования; методами химического анализа, знаниями о современных динамических процессах в природе и техносфере, о состоянии геосфер Земли, экологии и эволюции биосферы, глобальных экологических проблемах, методами отбора и анализа геологических и биологических проб, а также навыками идентификации и описания биологического разнообразия, его оценки современными методами количественной обработки информации.
- ПК-15 - владение знаниями о теоретических основах биогеографии, экологии животных, растений и микроорганизмов.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен

Знать: основы структурно-функциональной организации генетического материала, механизмы передачи, реализации наследственной информации и ее изменения под воздействием факторов среды; направления и механизмы адаптациогенеза на разных уровнях организации генетического материала; основы популяционной генетики, генетические основы стабильности популяций, основы генетики человека.

Уметь: объяснять причины, направления и механизмы адаптаций организмов к среде обитания, формы и причины изменчивости наследственной информации под влиянием факторов среды, изменения генетической структуры популяций, факторы, приводящие к патологическим процессам в организме человека.

Владеть: навыками решения генетических задач, использования полученных знаний при анализе возникающих экологических проблем и для определения вероятности проявления генетически обусловленных аномалий.

3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Введение. Общие свойства генетического материала.

Раздел 2. Структурно-функциональная организация генетического материала.

Раздел 3. Онтогенез как процесс реализации наследственной информации.

Раздел 4. Основные закономерности наследования признаков.

Раздел 5. Генетика популяций и основы эволюции. Адаптациогенез.

Раздел 6. Основы генетики человека.

4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий		
			Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа

1.	Введение. Общие свойства генетического материала.	3	1	-	2
2.	Структурно-функциональная организация генетического материала.	21	7	8	6
3.	Онтогенез как процесс реализации наследственной информации.	14	2	4	8
4.	Основные закономерности наследования признаков	14	2	4	8
5.	Генетика популяций и основы эволюции. Адаптациогенез.	10	4	2	4
6.	Основы генетики человека.	10	4	2	4
ИТОГО:		72	20	20	32

5. Виды учебной деятельности

Лекции

1. Введение: предмет, цель, задачи, основные понятия курса (генетика, эволюция, адаптация, адаптивный характер эволюции). Наследственность и изменчивость организмов. Общие свойства генетического материала (способность к самовоспроизведению, к поддержанию постоянства своей организации, к приобретению и воспроизведению изменений) и уровни его организации (генный, хромосомный, геномный). Генный уровень организации наследственного материала. Генетическая информация. Генетический код, его свойства.
2. Репликация ДНК. Механизмы стабилизации нуклеиновой последовательности ДНК. Генные мутации, их причины, последствия. Механизмы, снижающие неблагоприятный эффект генных мутаций (вырожденность генетического кода, диплоидность хромосом, экстракопирование генов, неравнозначность замен аминокислот в полипептидах). Реализация генетической информации (транскрипция, процессинг, трансляция, посттрансляционные преобразования белков).
3. Хромосомный уровень организации наследственного материала, его значение в функционировании генного аппарата, хромосомная теория наследственности. Химический состав, структура и морфология хромосом эукариот и прокариот. Хромосомные мутации, их значение и классификация.
4. Геномный уровень организации наследственного материала. Геном. Генотип. Кариотип. Комбинативная изменчивость. Кроссинговер. Геномные мутации. Механизмы поддержания постоянства кариотипа в ряду поколений организмов. Генотип как сбалансированная по дозам система взаимодействующих генов. Типы взаимодействия генов. Регуляция экспрессии генов у про- и эукариот.
5. Особенности организации наследственного материала и эволюция геномов прокариот и эукариот. Роль горизонтального переноса генетического материала в эволюции генома. Другие пути приобретения организмами биологической информации.
6. Онтогенез как процесс реализации наследственной информации. Периодизация онтогенеза. Видоизменения периодов онтогенеза, имеющие экологическое и эволюционное значение. Провизорные органы зародышей позвоночных. Механизмы онтогенеза (деление, миграция, сортировка, дифференцировка, гибель клеток). Генетический контроль индивидуального развития. Роль наследственности и среды в формировании фенотипа и пола организма.

7. Основные закономерности наследования признаков (аутосомное, сцепленное с полом, независимое, сцепленное, моно- и дигенное, цитоплазматическое).
8. Основы эволюции. Популяция как элементарная эволюционная система. Генетические характеристики популяции. Элементарные факторы эволюции (мутационный процесс, популяционные волны, изоляция, дрейф генов, естественный отбор). Наследственный полиморфизм и генетический груз природных популяций. Адаптации организмов к среде обитания. Происхождение биологической целесообразности.
9. Основы генетики человека. Человек как объект генетических исследований. Методы изучения генетики человека.
10. Наследственные болезни человека. Их причины и профилактика. Медико-генетическое консультирование.

Практические занятия

Занятие 1. Структура и функции нуклеиновых кислот

Задания:

Задание 1. Прочитайте § 1 «Строение нуклеиновых кислот».

Впервые нуклеиновые кислоты были обнаружены в 1869 г. швейцарским биохимиком Иоганном Фридрихом Мишером. Из остатков клеток, находящихся в гное, он выделил вещество, содержащее азот и фосфор. Ученый назвал это вещество нуклеином (от лат. *nucleus* — ядро), полагая, что оно содержится лишь в ядрах клеток. Позднее Мишер установил, что нуклеин обладает кислотными свойствами, и он был назван нуклеиновой кислотой.

В природе существуют нуклеиновые кислоты двух типов, различающиеся по составу и строению. Одна из них содержит углеводный компонент **дезоксирибозу** и названа дезоксирибонуклеиновой кислотой (**ДНК**). Другая кислота, содержащая рибозу (рис. 1), названа рибонуклеиновой кислотой (РНК). Нуклеиновые кислоты — это важнейшие биополимеры, определяющие основные свойства живого.

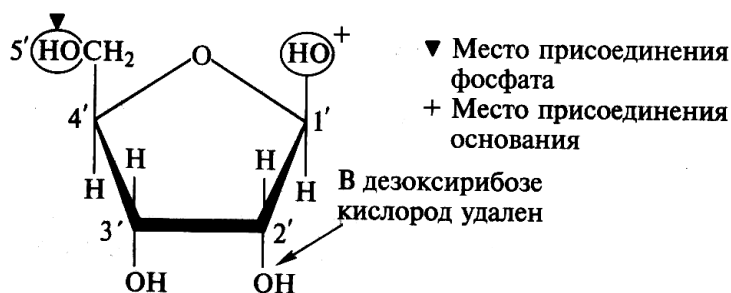


Рис. 1. Структурная формула рибозы

В молекуле дезоксирибозы к 3'-атому углерода присоединен водород вместо ОН-группы.

ДНК представляет собой полимерную молекулу, состоящую из тысяч и даже сотен тысяч мономеров — дезоксирибонуклеотидов. Протяженность молекулы составляет много тысяч нанометров. При полном гидролизе она расщепляется до пуриновых и пиримидиновых оснований, дезоксирибозы и фосфорной кислоты.

Пуриновые основания производные пурина. В состав нуклеиновых кислот входят пурины аденин и гуанин. Пиримидиновые основания - производные пиримидина. В ДНК содержатся цитозин и тимин, в РНК - цитозин и урацил. Тимин отличается от урацила наличием метильной группы ($-\text{CH}_3$), которая отсутствует в урациле. Благодаря наличию метильной группы ДНК оказывается защищенной от действия ферментов рестриктаз,

которые в бактериальных клетках выполняют защитную функцию - разрушают ДНК бактериофагов. Пуриновые и пиримидиновые основания называют азотистыми основаниями.

При щадящем гидролизе ДНК получают соединения, в которых дезоксирибоза связана с пуриновым или пиримидиновым основанием посредством гликозидной связи (С — N) по Г-положению в молекуле сахара. Подобные соединения получили название нуклеозидов. Нуклеозиды, соединяясь с одной молекулой фосфорной кислоты (по 5'-положению), образуют более сложные вещества - нуклеотиды. Именно они являются мономерами нуклеиновых кислот ДНК и РНК.

Итак, нуклеотид состоит из остатка азотистого основания, сахара и фосфорной кислоты (рис. 2).

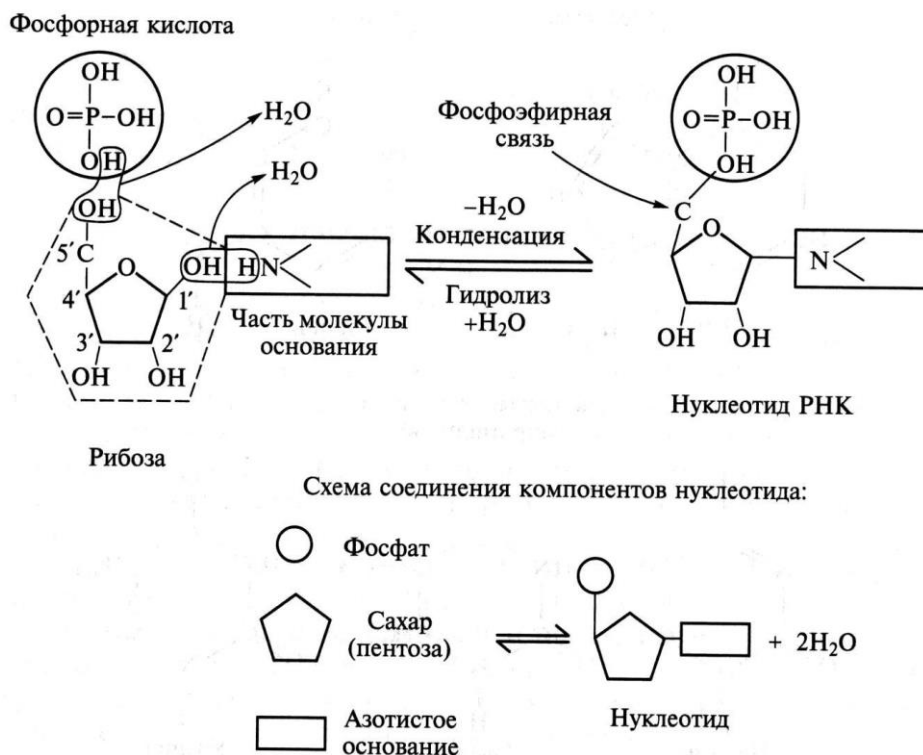


Рис. 2. Строение нуклеотида

Нуклеотидный состав ДНК впервые количественно проанализировал американский биохимик Эдвин Чаргафф в 1950—1951 гг. Он обнаружил, что у всех изученных им видов организмов количество пуринового основания аденина (А) равно количеству пиримидинового основания тимина (Т), т. е. $A = T$. Сходным образом количество второго пурина — гуанина (Г) всегда равно количеству второго пиримидина — цитозина (Ц), т. е. $G = C$. Таким образом, число пуриновых оснований в ДНК всегда равно числу пиримидиновых, причем количество аденина равно количеству тимина, а гуанина — количеству цитозина. Такие закономерности получили название *правил Чаргаффа*. Правила Чаргаффа объясняются тем, что в ДНК адениновый нуклеотид всегда соединен водородными связями с тиминным нуклеотидом, а гуаниновый - с цитозинным (рис. 3).

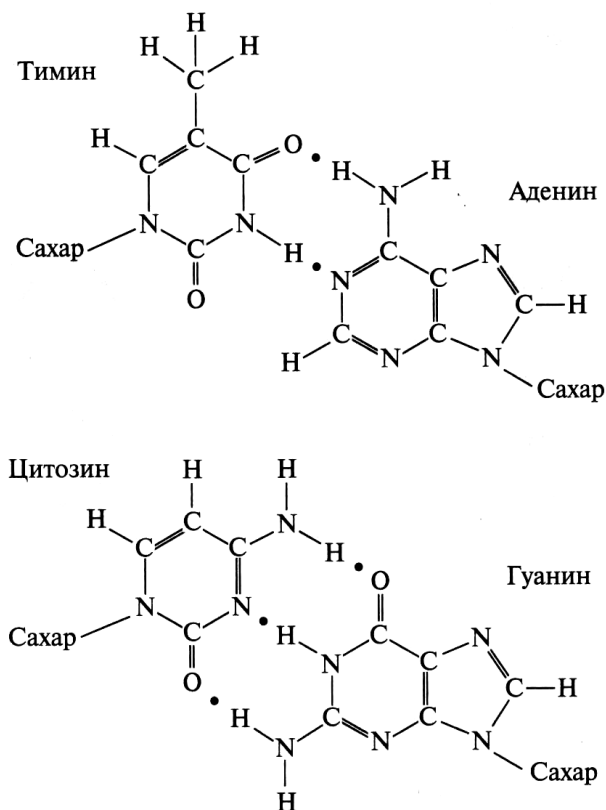


Рис. 3. Пары оснований, связанных в ДНК водородными связями

Каждая из пар оснований обладает симметрией, позволяющей ей включиться в двойную спираль в двух ориентациях: (АТ или ТА; ГЦ или ЦГ). В каждой из цепей ДНК основания могут чередоваться всеми существующими способами. Если известна последовательность оснований в одной цепи (например, ТЦГЦАТ), то благодаря специфичности спаривания (принцип дополнения, или комплементарности) становится известной и последовательность оснований ее партнера — второй цепи (АГЦГТА). Противоположные последовательности и соответствующие полинуклеотидные цепи называют **комплементарными**.

Хотя водородные связи, стабилизирующие пары оснований, относительно слабы, каждая молекула ДНК содержит их так много, что в нормальных физиологических условиях (температуре, рН) комплементарные цепи никогда не разделяются.

В начале 1950-х гг. группа исследователей под руководством английского ученого А. Тодда установила точную структуру связей, соединяющих нуклеотиды *вдоль* каждой цепи. Все эти связи оказались одинаковыми: углеродный атом в 5'-положении остатка дезоксирибозы одного нуклеотида соединяется через фосфатную группу с углеродным атомом в 3'-положении соседнего нуклеотида (рис. 4).

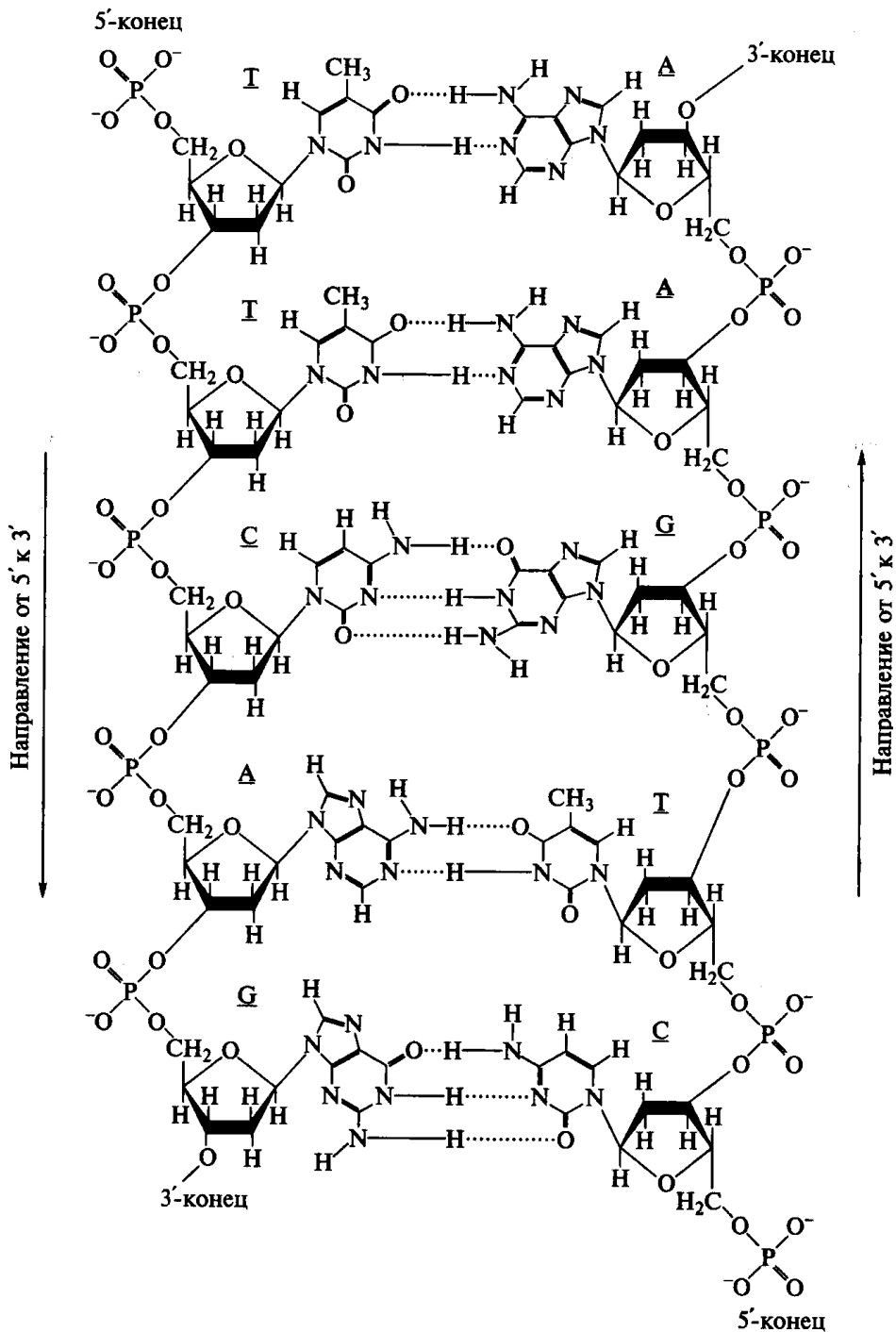


Рис. 4. Соединение нуклеотидов вдоль цепей ДНК фосфодиэфирными связями (обратите внимание на антипараллельность комплементарных цепей)

А. Тодд с сотр. пришли к выводу, что полинуклеотидные цепи ДНК, так же как полипептидные цепи белка, строго линейные. Кроме того, обе *комплементарные цепи антипараллельны*: 5'-фосфатный конец одной цепи комплементарен 3'-концу другой цепи и наоборот.

Задание 2. Нарисуйте в тетради:

- структурную формулу рибозы (см. рис. 1). Пронумеруйте атомы углерода. Запомните, чем рибоза отличается от дезоксирибозы;
- схему строения нуклеотида (см. рис. 2);

в) схему соединения комплементарных нуклеотидов водородными связями в молекуле ДНК (см. рис. 3);

г) соединение четырех нуклеотидов в полинуклеотидную цепь (см. рис. 4).

Задание 3. Прочитайте § 2 «РНК». Выпишите в тетрадь функции разных типов РНК.

РНК представляет собой однонитевую молекулу, мономерами которой являются рибонуклеотиды. Она построена таким же образом, как и одна из цепей ДНК (см. рис. 4).

Нуклеотидов в РНК тоже четыре типа, они состоят из азотистого основания, пентозы и фосфорной кислоты. Три азотистых основания такие же, как в ДНК — А, Г и Ц, однако вместо тимина в РНК присутствует близкий к нему по строению пиримидин — урацил (У). Другое различие между ДНК и РНК в типе пентозы: в нуклеотидах ДНК это — дезоксирибоза, а в РНК — рибоза (см. рис. 1). Связь между нуклеотидами осуществляется, как и в одной из цепей ДНК, т. е. через углевод и остаток фосфорной кислоты. В отличие от ДНК, содержание которой в клетках относительно постоянно, содержание РНК в них колеблется. Оно повышено в клетках, в которых происходит синтез белка. По выполняемым функциям различают несколько видов РНК.

Молекулы **транспортной РНК (тРНК)** (рис. 5) самые короткие: они состоят всего из 80 — 100 нуклеотидов. Транспортная РНК в основном содержится в цитоплазме клетки. Ее функция — перенос аминокислот в рибосомы, к месту синтеза белка. Из общего содержания РНК клетки на долю тРНК приходится около 10%.

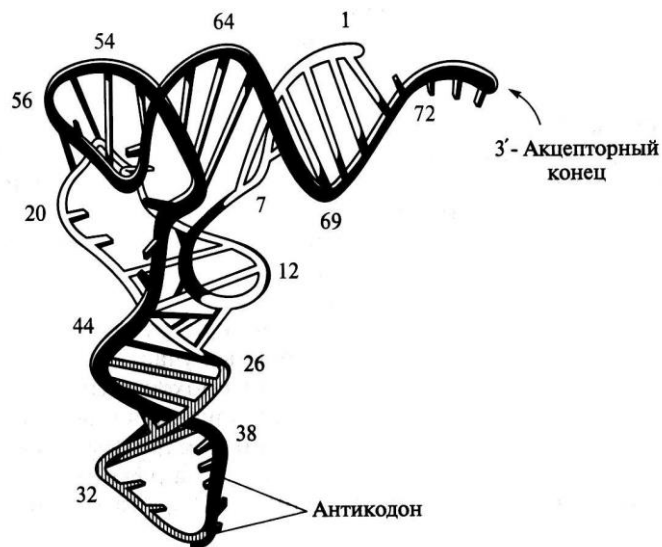


Рис. 5. Схема пространственной структуры транспортной РНК дрожжей

Информационная (иРНК), или матричная (мРНК), РНК содержится в ядре и цитоплазме. Функция ее состоит в переносе информации о структуре белка от ДНК к месту синтеза белка в рибосомах. На долю мРНК приходится примерно 0,5 — 1 % от общего содержания РНК клетки.

Рибосомная РНК (рРНК) имеет самые крупные молекулы в их состав входит 3 — 5 тыс. нуклеотидов. Рибосомные РНК составляют существенную часть рибосом и принимают участие в трансляции — считывании информации с информационной РНК и синтезе белка. Из общего содержания РНК в клетке на долю рРНК приходится около 90 %.

Иногда РНК выделяют по месту их нахождения: ядерные, цитоплазматические, митохондриальные, РНК пластид. Все виды РНК синтезируются на ДНК, которая служит матрицей.

Контрольные вопросы:

1. Почему в составе ДНК имеет место строгое соотношение компонентов?

2. Какие участки комплементарных цепей соединены прочнее: содержащие больше пар АТ или ГЦ? Почему?
3. Каковы основные отличия в строении, функциях, местонахождении в клетке ДНК и РНК?

Занятие 2. Генетический код и его свойства.

Задания:

Задание 1. Прочтите § 1 «Способ записи генетической информации в молекуле РНК». Выпишите в тетрадь свойства генетического кода.

Все многообразие жизни обуславливается разнообразием белковых молекул, выполняющих в клетках различные биологические функции. Структура белков определяется набором и порядком расположения аминокислот в их пептидных цепях. В свою очередь, эта последовательность аминокислот в белках зашифрована в молекулах ДНК с помощью биологического (генетического) кода.

В 1954 г. в США выходцем из СССР Г.Гамовым было высказано предположение, что кодирование информации в молекулах ДНК осуществляется сочетаниями нескольких нуклеотидов. Для шифровки 20 различных аминокислот достаточно количество сочетаний нуклеотидов может обеспечить лишь **триплетный** код, в котором каждая аминокислота шифруется тремя стоящими рядом нуклеотидами. В этом случае из четырех нуклеотидов образуется $4^3 = 64$ триплета. Код, состоящий из двух нуклеотидов, дал бы возможность зашифровать только $4^2 = 16$ различных аминокислот.

Первая буква генетического кода (триплет) была расшифрована М. Ниренбергом и Дж. Маттеи в 1961 г., а весь код расшифровали к 1965 г. Из 64 возможных триплетов ДНК 61 кодирует различные аминокислоты, 3 триплета (АТТ, АЦТ, АТЦ) получили название «терминирующие триплеты», или «нонсенс-триплеты» (рис. 1). Они не шифруют аминокислот, но выполняют функцию прерывания трансляции.

Генетический код					
Первый нуклеотид триплета	Второй нуклеотид триплета				Третий нуклеотид триплета
	У(А)	Ц(Г)	А(Т)	Г(Ц)	
У(А)	Фен	Сер	Тир	Цис	У (А)
	Фен	Сер	Тир	Цис	Ц (Г)
	Лей	Сер	Терм.2	Терм.3	А (Т)
	Лей	Сер	Терм.1	Трп	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	Асп	Сер	У (А)
	Иле	Тре	Асп	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)

Примечание. В скобках указаны нуклеотиды ДНК, без скобок – информационной РНК.

Рис. 1. Таблица генетического кода

Обращает на себя внимание избыточность; кода, проявляющаяся в том, что многие аминокислоты шифруются несколькими триплетами. Это свойство триплетного кода, названное **вырожденностью**, имеет очень важное значение, так как мутационные изменения молекулы ДНК типа замены одного нуклеотида на другой далеко не всегда изменяют смысл триплета. Возникшее

таким образом новое сочетание из трех нуклеотидов часто кодирует ту же самую аминокислоту. Иными словами, «вырожденность» кода повышает его запас прочности в случае возникновения генных мутаций,

Другое свойство кода — его **специфичность**: каждый триплет способен кодировать только одну определенную аминокислоту.

Обнаружено полное соответствие кода у различных видов живых организмов. Такая **универсальность** генетического кода свидетельствует о единстве происхождения всего многообразия живых форм на Земле в процессе биологической эволюции.

Вариации генетического кода обнаружены в ДНК митохондрий и пластид. Это не противоречит в целом положению об универсальности кода, но свидетельствует в пользу дивергентности его эволюции на ранних этапах существования жизни. Расшифровка кода в ДНК митохондрий различных видов показала, что в них отмечается общая особенность: триплет АЦТ не является нонсенс-триплетом, а кодирует, как и АЦЦ, аминокислоту триптофан.*

Наряду с триплетностью, вырожденностью, специфичность и универсальностью важнейшими характеристиками генетического кода являются его **непрерывность** и **неперекрываемость** кодонов при считывании. Это означает, что последовательность нуклеотидов считывается триплет за триплетом без пропусков, при этом соседние триплеты не перекрывают друг друга, т. е. каждый отдельный нуклеотид входит в состав только одного триплета при заданной рамке считывания. Доказательством неперекрываемости генетического кода является замена только одной аминокислоты в пептиде при замене одного нуклеотида в ДНК. В случае включения нуклеотида в несколько перекрывающихся триплетов его замена влекла бы за собой замену 2 - 3 рядом стоящих аминокислот в пептидной цепи.

* Другие особенности митДНК являются специфичными для различных видов организмов. У дрожжей триплет ГАТ и, возможно, все семейство ГА кодирует вместо лейцина треонин. У млекопитающих триплет ТАГ имеет то же значение, что и ТАЦ, и кодирует аминокислоту метионин вместо изолейцина.

Задание 2. Прочтите § 2 «Мутации, изменяющие рамку считывания генов». Выпишите в тетрадь, какие типы мутаций приводят к сдвигу рамки считывания.

В структурных генах белковых цепей могут происходить мутации, в результате которых изменяется смысл закодированной информации на значительном участке ДНК. К таким мутациям относятся вставки (микродупликации) и выпадения (микроделеции) одного или нескольких нуклеотидов. Такие мутации изменяют рамку считывания (транскрипции) закодированной в ДНК информации. Другим следствием таких мутаций, а также некоторых замен отдельных нуклеотидов в триплете может быть преждевременное прерывание трансляции (в результате чего полипептид становится короче нормального) либо, наоборот, пролонгация трансляции за пределы терминирующего кодона.

Наиболее подробно перечисленные типы мутаций изучены в генах α - и β - глобинов гемоглобина человека. Рассмотрим некоторые примеры этих мутаций.

Известны варианты α -цепей, в которых отсутствуют 1, 2, 3, 4 и даже 5 остатков аминокислот, обусловленные микроделециями в ДНК гена, соответственно 3, 6, 9, 12 и 15 нуклеотидов. Более крупные делеции глобинов пока не обнаружены. Возможно, они приводят к полной потере функциональной активности молекулы гемоглобина и у живущих людей не встречаются. Большинство делеционных гемоглобинов либо нестабильны, либо приводят к увеличению сродства к O_2 , а во многих случаях имеют оба этих свойства.

Если число нуклеотидов, утраченных при делеции, не кратно трем, то на участке гена, расположенном за делецией, смысл считываемой генетической информации полностью меняется (**мутации сдвига рамки считывания**). В результате этого изменяется вся последующая аминокислотная последовательность.

Делеции происходят из-за ошибочного спаривания между гомологичными последовательностями ДНК во время мейотического или митотического делений развивающихся генеративных клеток. У многих делеционных мутантов в нуклеотидных последовательностях, окружающих области делеций, обнаружены участки гомологии, которые могут быть причиной неправильного спаривания молекул ДНК, разорванных при кроссинговере. Если оно произошло, то последующие рекомбинационные события приведут к возникновению делеций (и дупликаций) различной протяженности.

Дупликации (удвоения) могут охватывать целые гены. По-видимому, именно так в ходе эволюции образовались различные цепи глобина. Позднее, путем внутриврохромосомных дупликаций, появились два гена α -глобина и два гена γ -глобина (γ^A и γ^G). Известны и внутригенные дупликации. Дупликации одного или двух нуклеотидов приводят к мутациям со сдвигом рамки считывания.

Если дупликация одного или двух нуклеотидов происходит внутри гена, а не у его конца, то рамка считывания нарушается на большом протяжении. При этом будет синтезироваться нефункциональная молекула глобина.

Дупликации, как и делеции, возникают в результате неравного кроссинговера.

Результатом неправильного спаривания может быть и образование комбинированных (или составных) генов. Белковые продукты таких генов состоят из N-концевой части одного глобина и C-концевой части другого.

Задание 3. Решите предложенные задачи, используя таблицу генетического кода.

Задача №1. Полипептид состоит из следующих аминокислот: валин - аланин - глицин - лизин - триптофан - валин - серин - глутаминовая кислота. Определите структуру участка ДНК, кодирующего указанный полипептид.

Задача № 2. Четвёртый домен в нормальном гемоглобине (гемоглобин А) состоит из следующих аминокислот: валин – гистидин – лейцин – треонин – пролин – глутаминовая кислота – глутаминовая кислота – лизин.

1. У больного с симптомом спленомегалии при умеренной анемии обнаружили следующий состав четвёртого домена гемоглобина: валин – гистидин – лейцин – треонин – пролин – лизин – глутаминовая кислота – лизин. Определите изменения, произошедшие в ДНК после мутации, кодирующей четвёртый пептид гемоглобина.
2. У больного серповидно-клеточной анемией начальный участок β -цепи гемоглобина следующий: валин – гистидин – лейцин – треонин – пролин – валин – глутаминовая кислота – лизин. В β -цепи нормального гемоглобина: валин – гистидин – лейцин – треонин – пролин – глутаминовая кислота – глутаминовая кислота - лизин. Какое изменение в участке ДНК, кодирующем этот участок цепи гемоглобина, приводит к заболеванию?

Задача № 3. Какую длину имеет часть молекулы ДНК, кодирующая инсулин быка, если известно, что молекула инсулина быка имеет 51 аминокислоту, а расстояние между двумя соседними нуклеотидами в ДНК равно $34 \cdot 10^{-11}$ м?

Задача № 4. Исследования показали, что 34% общего числа нуклеотидов данной мРНК приходится на гуанин, 18% - на урацил, 28% - на цитозин и 20% - на аденин. Определите процентный состав азотистых оснований соответствующей двухцепочечной ДНК.

Задача № 5. Общая масса всех молекул ДНК в 46 хромосомах одной соматической клетки человека в начале интерфазы составляет около $6 \cdot 10^9$ мг. Определите, чему равна масса всех молекул ДНК в ядрах клеток при овогенезе непосредственно перед началом мейоза и в анафазе мейоза I. Объясните полученные результаты.

Задача № 6. Фрагмент нуклеотидной цепи ДНК имеет последовательность А-А-Г-Т-Г-А-Ц. Определите нуклеотидную последовательность второй цепи и общее число

водородных связей, которые образуются между двумя цепями. Объясните полученные результаты.

Задача № 7. В одной молекуле ДНК нуклеотиды с тиминном (Т) составляют 24% от общего числа нуклеотидов. Определите количество (в процентах) нуклеотидов с гуанином (Г), аденином (А), цитозином (Ц) в отдельности в молекуле ДНК и объясните полученные результаты.

Контрольные вопросы:

1. Делеция какого числа нуклеотидов не изменяет смысла последующей закодированной информации в гене?
2. В результате какого механизма появляются делеции и дупликации в гене?
3. Какие мутации приводят к преждевременному прерыванию трансляции?

Занятие 3. Генные мутации и половой диморфизм дрозофилы

Таблицы:

1. Хромосомный механизм определения пола № 4

Задания:

Задание 1. Прочитайте и законспектируйте § 1 «Биология и морфология дрозофилы», отметив особенности биологии и морфологии, сделавшие дрозофилу удобным объектом генетических исследований.

Drosophila – в переводе с латинского – любящая росу, влагу; *melanogaster* – черное брюшко. Это плодовая мушка, размером около 3 мм с ярко-красными глазами и серым телом. В естественных условиях она встречается на Кавказе и Украине. В летнее время с фруктами может быть завезена и в северные области. В лабораториях мух содержат в особых пробирках на питательной среде из манной крупы и агара.

Дрозофила является удобным объектом для проведения генетических исследований по следующим своим особенностям:

1. Сравнительно короткий срок развития, в лабораторных условиях при температуре 24-25 градусов цикл развития от яйца до взрослой мухи равен приблизительно 10 суткам, повышение температуры до 27 градусов сокращает цикл развития до 9 суток. Но при температуре 31 градус дрозофила делается бесплодной. Таким образом, за год можно получить до 40 поколений мух. При понижении температуры развитие замедляется. Продолжительность жизни дрозофилы в лабораторных условиях равна 3-4 неделям и зависит от условий содержания (температуры, плотности населения, пищи, плесени, бактерий).
2. Высокая плодовитость. Одна самка откладывает 200 - 300 яиц.
3. Небольшое число хромосом - 8.
4. Богатство мутаций. У дрозофилы чаще всего подвержены наследственным изменениям глаза, крылья, щетинки, многочисленны мутации, изменяющие окраску глаз: от тёмно-красной до белой. Многие мутации связаны с изменением формы глаз (полосковидные – Bar – В, лопастные – Lobe). Мутационные изменения связаны с развитием и формой крыла: бескрылые – ar, загнутые крылья – Sp, зачаточные крылья – vg и т.д. У нормальных мух глаза имеют ярко-красную окраску и устроены по типу сложных фасеточных глаз насекомых. Число фасеток 740 (самец) и 780 (самка), крылья у них плоские, закруглённые.

5. Относительно простое оборудование для содержания мух в лабораторных условиях и работа с ним.

Задание 2. Генные мутации дрозофилы. Рассмотрите под биноклем предложенные мутационные формы по окраске тела, окраске глаз, форме крыльев, изменению щетинок, изменению антенн в ножные структуры. Зарисуйте одну из мутантных форм.

Задание 3. Половой диморфизм дрозофилы. Сначала рассмотрите изображение самца и самки дрозофилы на таблице и найдите три отличающие их морфологические особенности. Затем еще раз рассмотрите предложенные мутантные формы под биноклем и найдите отмеченные вами половые отличия. Укажите, какая морфологическая особенность позволяет безошибочно определить пол рассматриваемой особи. Зарисуйте самца и самку дрозофилы, отразив на рисунке отмеченные отличия.

Контрольные вопросы:

1. Объясните, в чем заключается особая ценность отмеченных ранее биологических особенностей дрозофилы (включая половой диморфизм) как объекта генетических исследований?
2. Чем будут отличаться мухи, выращенные в культуре при оптимальной плотности, от мух из перенаселенной культуры? Какова форма данной изменчивости?
3. Что вы порекомендуете начинающим исследователям, чтобы не допускать перенаселения мух в культуре?
4. Самки дрозофилы откладывают оплодотворенные яйца на питательную среду, в которой развиваются личинки. Для окукливания личинки выползают на стенки пробирки. У одного из экспериментаторов окукливание началось на поверхности питательной среды. Почему?

Занятие 4. Структура хромосом эукариот

Задания:

Задание 1. Прочтите § 1 «Организация ДНК в хромосомах эукариотической клетки».

Хромосомы состоят из ДНК и белков, которые образуют нуклеопротеиновый комплекс. На долю белка приходится около 65 % массы хромосом. Все белки хромосом разделяются на две группы: гистоны и негистоновые белки.

Гистоны – это положительно заряженные основные белки. В хромосомах они представлены пятью видами: H1, H2A, H2B, H3, H4. Они прочно соединяются с молекулой ДНК, чем препятствуют произвольному считыванию наследственной информации. Под действием определенных ферментов и гормонов в строго определенных локусах и в строго определенные моменты времени эта связь ослабевает и начинается транскрипция соответствующих генов. В этом состоит регуляторная роль гистонов. Другая функция гистонов – структурная. Именно они обеспечивают пространственную организацию ДНК в хромосомах.

Негистоновые белки хромосом более разнообразны: их свыше 100. Среди них – многочисленные белки-ферменты, обеспечивающие транскрипцию, репарацию и редупликацию ДНК. Некоторые кислые белки выполняют структурную и регуляторную функции.

В составе хромосом обнаруживаются также РНК, липиды, полисахариды, ионы металлов. Негистоновые белки, РНК, липиды, полисахариды и ионы металлов составляют несколько процентов массы хромосом. Главные компоненты – гистоны и ДНК – присутствуют в хромосомах примерно в равном массовом соотношении.

В зависимости от периода и фазы клеточного цикла хромосомы меняют свое строение. В *интерфазе* (периоде между двумя последовательными делениями) они образуют зернистые ядерные структуры, которые хорошо окрашиваются основными красителями. Сборное название этих структур – *хроматин*. При переходе клетки к митозу, особенно в метафазе, хроматин приобретает вид хорошо различимых отдельных телец – *хромосом*.

Интерфазная и метафазная формы существования хромосом – два варианта их структурной организации. В основе их лежит одна и та же элементарная нитчатая структура. Диаметр двойной спирали ДНК равен 2 нм, диаметр нитчатой структуры интерфазного хроматина равен 100 – 200 нм, диаметр одной из сестринских хроматид метафазной хромосомы – 500 – 600 нм. Длина нитей ДНК, находящихся во всех хромосомах одного ядра, огромна. Например, суммарная длина ДНК 46 хромосом одного ядра клетки человека равна 180 см. Эти факты свидетельствуют о том, что нить ДНК должна иметь несколько уровней спирализации. Выделяемые в настоящее время уровни приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровень компактизации хроматина	Укорочение ДНК (разы) по сравнению с		Диаметр, нм
	предшествующей структурой	деспирализованной ДНК	
Деспирализованная ДНК	1	1	1 – 2
Нуклеосомная нить	7	7	10
Элементарная фибрилла	6	42	20 – 30
Интерфазная хромонема	40	1 600	100 – 200
Метафазная хроматида	5	8 000	500 – 600

Нуклеосомная нить – уровень организации хроматина, который обеспечивается четырьмя видами нуклеосомных гистонов: H2A, H2B, H3, H4. Они образуют так называемые коры – белковые тела, напоминающие по форме шайбу (рис. 1, а). Каждый кор состоит из восьми молекул гистонов (по две молекулы каждого вида). Молекула ДНК спирально накручена на каждый кор. В контакте с каждым кором оказывается участок ДНК из 146 п. н. Свободные от контакта с корами участки ДНК называют связующими, или *линкерными*. Они включают 15 – 100 п.н. (в среднем – по 60 п. н.) в зависимости от типа клетки. Отрезок молекулы ДНК длиной около 200 п. н. вместе с кором образует *нуклеосому*. В основе структуры хроматина лежит нуклеосомная нить – цепочка повторяющихся субъединиц – нуклеосом. Например, геном человека, содержащий $3 \cdot 10^9$ п.н., представлен двойной спиралью ДНК, упакованной в $1,5 \cdot 10^7$ нуклеосом. В результате нуклеосомной организации хроматина его длина уменьшается в 7 раз, диаметр – 10 нм.

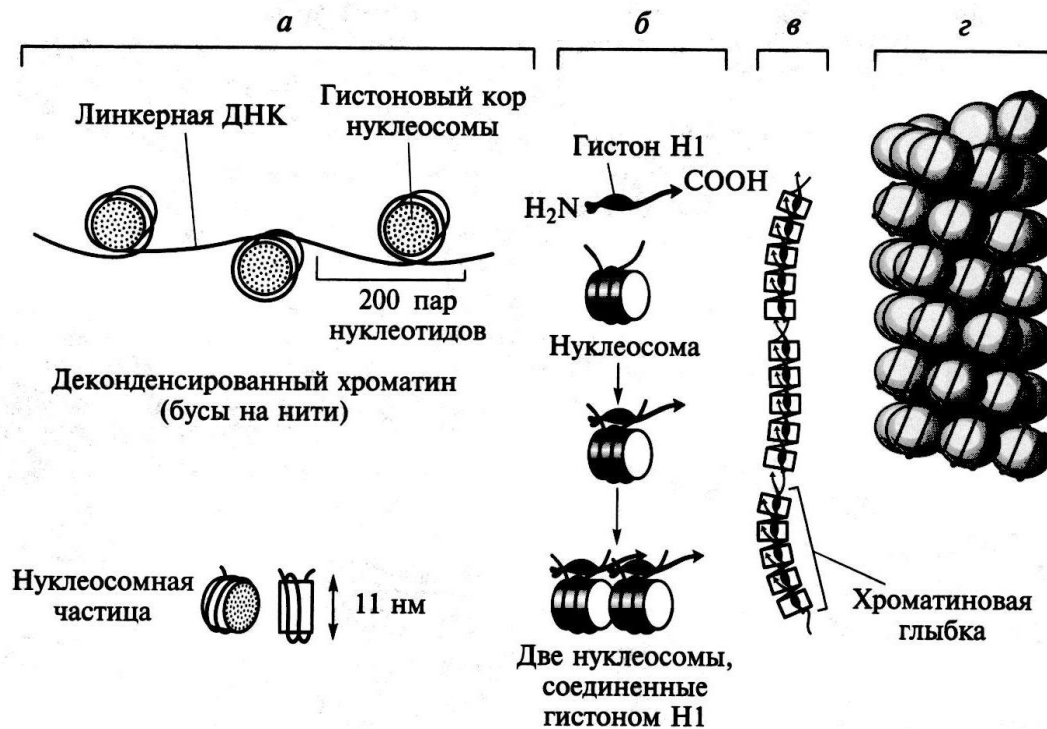


Рис. 1. Нуклеосомная организация хроматина:

а – нуклеосомы в деконденсированном хроматине; **б** – соединение нуклеосом с помощью гистона Н1; **в** – хроматиновые глыбки, разделенные отрезками свободной ДНК; **г** – соленоид – хроматиновая фибрилла, состоящая из закрученных в спираль глыбок хроматина

Вдоль нуклеосомной нити, напоминающей цепочку бус, имеются области ДНК, свободные от белковых тел. Эти области расположены с интервалами длиной несколько тысяч пар нуклеотидов. Они играют роль в дальнейшей упаковке хроматина. В них имеются нуклеотидные последовательности, специфически узнаваемые различными негистоновыми белками.

Дальнейшая компактизация нуклеосомной нити обеспечивается гистонем Н1. Его молекулы соединены с линкерной ДНК и двумя соседними корами (рис. 1). Тем самым гистон Н1 сближает соседние коры друг с другом. Цепочка соединенных таким образом коров сама спирально закручена по типу соленоида. Такая хроматиновая структура называется *элементарной хроматиновой фибриллой*. Ее диаметр 20 – 30 нм. Она обеспечивает укорочение хроматина еще в 6 раз по сравнению с нуклеосомной нитью.

Интерфазная хромонема – следующий уровень структурной организации генетического материала, который обеспечивается укладкой хроматиновой фибриллы в петли. В их образовании принимают участие негистоновые белки, способные опознавать специфические нуклеотидные последовательности вне нуклеосомной ДНК, удаленные друг от друга на расстояние в несколько тысяч пар нуклеотидов. Эти белки сближают указанные участки, благодаря чему расположенные между ними фрагменты хроматиновой фибриллы образуют петли (рис. 2 б). Каждая петля содержит от 20 000 до 80 000 п. н.

Имеются гипотезы о том, что каждая петля является функциональной единицей генома (т. е. содержит один ген вместе с регуляторными последовательностями). В результате образования петель хроматиновая фибрилла укорачивается примерно в 40 раз и преобразуется в структуру диаметром 100 – 200 нм, называемую интерфазной хромонемой.

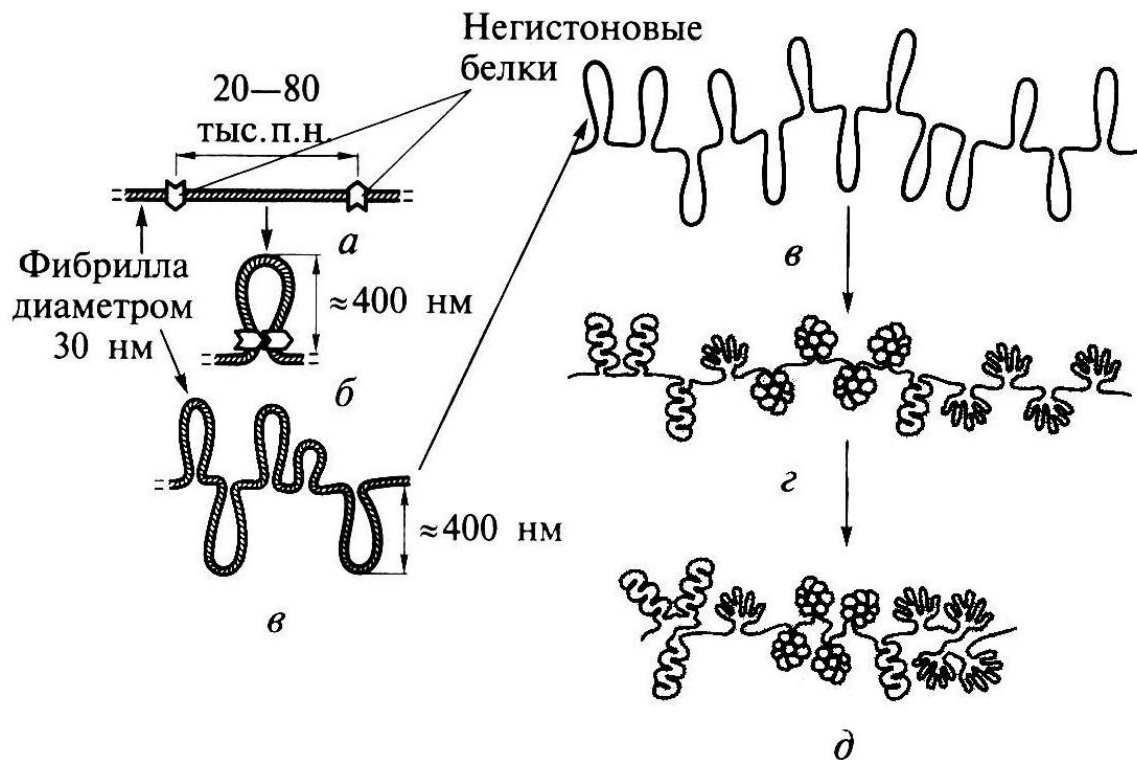


Рис. 2. Петельная структура хроматина – интерфазная хромонема:

а – хроматиновая фибрилла с присоединенными негистоновыми белками; **б** – образование петли на участке хроматиновой фибриллы; **в** – петельная организация участка фибриллы; **г** – дальнейшая конденсация хроматиновых петель; **д** – объединение петель, имеющих сходную структуру, в блоки с образованием окончательной формы интерфазной хромосомы (В.Н.Ярыгин и др., 1999)

Отдельные участки интерфазной хромонемы подвергаются дальнейшей компактизации, образуя структурные блоки, которые включают соседние петли с одинаковой организацией (рис. 2 г, д). Они выявляются в интерфазном ядре в виде глыбок хроматина.

Неодинаковая степень компактизации разных участков интерфазных хромосом имеет большое функциональное значение. Выделяют *эухроматиновые* участки хромосом, отличающиеся меньшей плотностью. Именно в таких участках происходит транскрипция.

Участки с плотной упаковкой хроматина называются **гетерохроматином**. В их пределах транскрипция не происходит.

Различают **конститутивный** и **факультативный** гетерохроматин. Конститутивный гетерохроматин содержит постоянно нетранскрибируемую ДНК. Он сосредоточен в околоцентромерных участках хромосом, а также на протяжении фрагментов отдельных хромосом. В частности, Y-хромосома всех животных почти целиком состоит из конститутивного гетерохроматина.

Факультативный гетерохроматин содержит *временно нетранскрибируемую ДНК*. Участки хромосом с факультативным гетерохроматином способны менять свое структурное и функциональное состояние. Это один из способов регуляции транскрипции, включения и выключения отдельных участков генома. Примером факультативного гетерохроматина является половой хроматин – плотно компактизованная одна из X-хромосом в ядрах клеток гомогаметного пола животных. Гены обеих X-хромосом транскрибируются только на ранних этапах эмбрионального развития. Позднее одна из X-хромосом инактивируется.

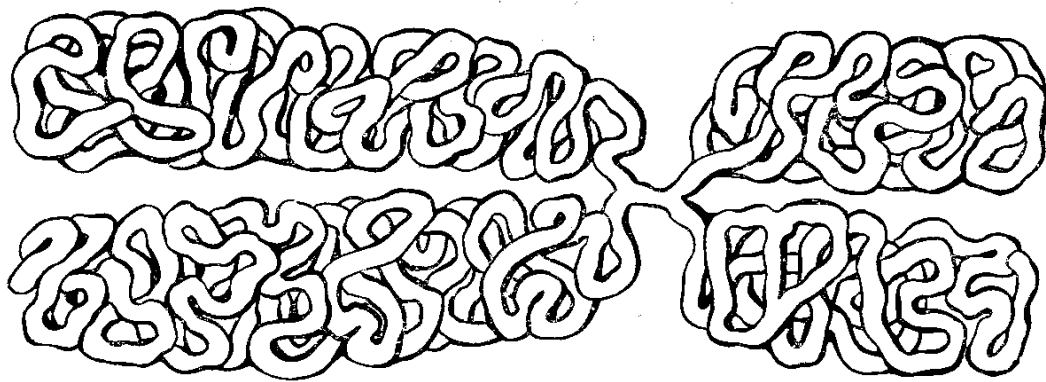


Рис. 3. Модель хромосомы – в виде складчатой нити (по Du Praw, 1968)

Перечисленные уровни структурной организации хроматина свойственны неделящейся (интерфазной) клетке, когда хромосомы еще не полностью компактизованы и при световой микроскопии невидимы. Лишь участки с более высокой плотностью упаковки выявляются в ядрах в виде хроматиновых глыбок.

Полная компактизация происходит при переходе клетки к митозу или мейозу, которые сопровождаются суперспирализацией хроматина.

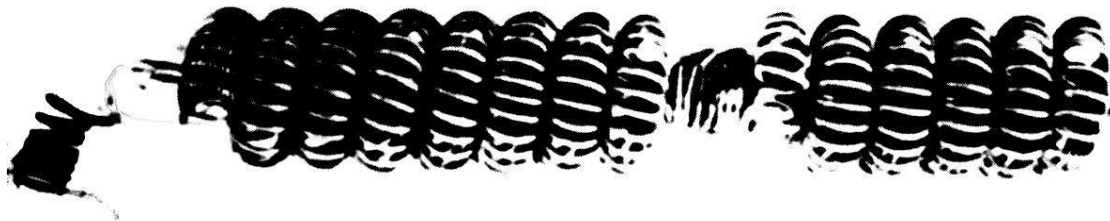


Рис. 4. Модель интерфазной хромосомы (Ф. Айала, Дж. Кайгер, 1988)

Хромосомы становятся достаточно хорошо видимыми при световой микроскопии в профазе и максимально выражены в метафазе (метафазная хромосома) (рис. 3, 4).

Задание 2. Заполните таблицу «Уровни компактизации хроматина эукариот».

Уровень компактизации хроматина	Диаметр фибриллы нм	Коэффициент компактизации	Структура, белки поддерживающие ее	Локализация в интерфазном ядре (эухроматин, гетерохроматин), в делящейся клетке
1. Деспирализованная ДНК				
2. Нуклеосомный				
3. Нуклеомерный (элементарная)				

хроматиновая фибрилла)				
4. Хромомерный (интерфазная хромонема)				
5. Метафазная хроматида				

Задание 3. Зарисуйте схемы строения четырех уровней компактизации хроматина (см. рис. 1, 2, 3).

Контрольные вопросы:

1. Как связаны метаболическая активность клетки и интенсивность окраски ядер?
2. Какие функции выполняют белки гистоны и негистоны в хроматине?
3. Какие уровни компактизации соответствуют эухроматину и гетерохроматину в интерфазном ядре клетки?
4. Чем отличаются факультативный и конститутивный гетерохроматин?
5. Какой уровень компактизации обнаруживается и в интерфазной клетке, и в профазу I мейоза? Почему не в профазу митоза?
6. Во сколько раз укорачивается длина ДНК в делящейся клетке по сравнению с интерфазной?

Занятие 5. Хромосомные мутации (на примере политенных хромосом дрозофилы)

Таблицы:

1. Генетические и цитологические карты хромосом № 53.

Микропрепараты:

1. Набор препаратов с хромосомными перестройками дрозофилы.

Вопросы для обсуждения:

1. Политенные хромосомы, механизм их образования.
2. Внутрихромосомные и межхромосомные перестройки, их значение.
3. Геномные мутации (полиплоидия, анеуплоидия), их значение.

Задания

Задание 1. Возникновение делеции и конъюгация нормальной хромосомы и хромосомы с делецией.

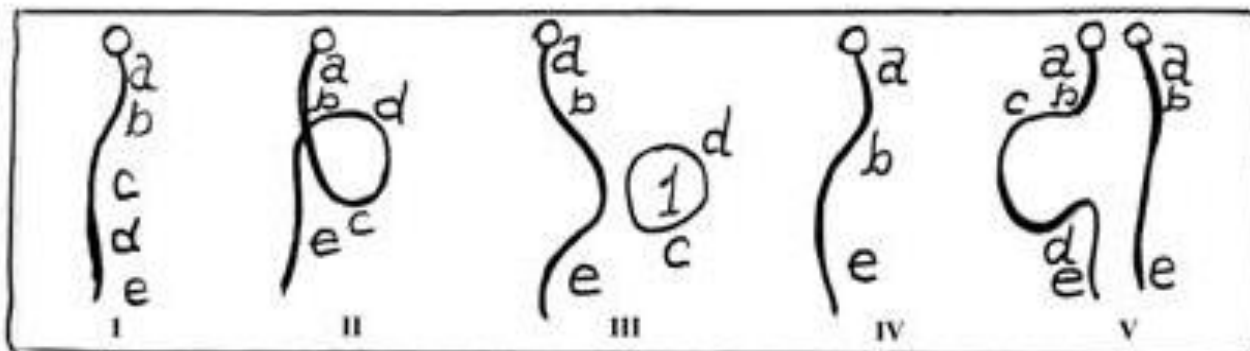
Рассмотрите и зарисуйте схему возникновения делеции и конъюгации между нормальной хромосомой и хромосомой с делецией (рис. 1, А). Сравните эту схему с рис. 2, А и рис. 3, А для политенных хромосом. Обратите внимание на характер образования петлеобразной фигуры в политенной хромосоме. Найдите указанную фигуру на микропрепарате с указанной мутацией при большом увеличении микроскопа.

Задание 2. Возникновение инверсии и конъюгация между нормальной и инвертированной хромосомами.

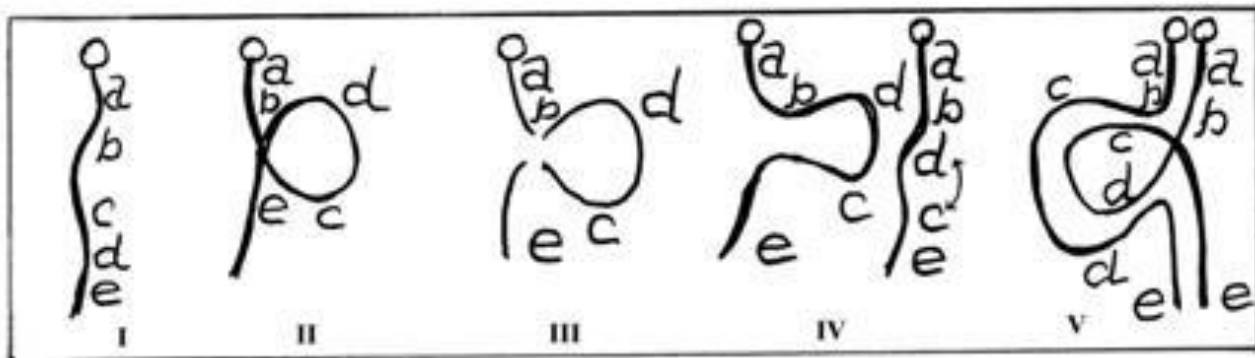
Рассмотрите и зарисуйте схему образования инверсии и конъюгации между нормальной и инвертированной хромосомами (рис. 1, Б). Сравните эту схему с рис. 2, Б и рис. 3, Б. Обратите внимание на характер образующейся петлеобразной фигуры в

политенной хромосоме. Найдите указанную фигуру на соответствующем микропрепарате при большом увеличении микроскопа.

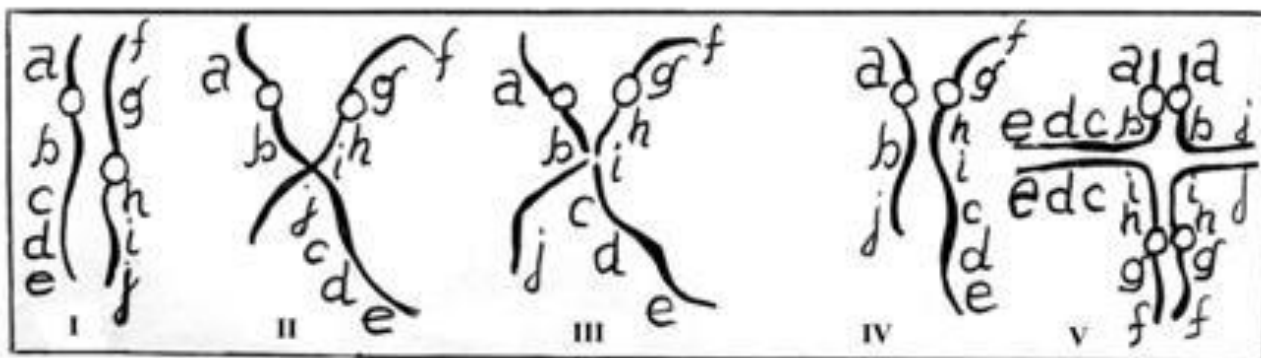
Рис. 1. Схемы возникновения хромосомных перестроек и конъюгации у гетерозигот по хромосомным перестройкам



А. Схема возникновения делеции и конъюгации между нормальной хромосомой и хромосомой с делецией

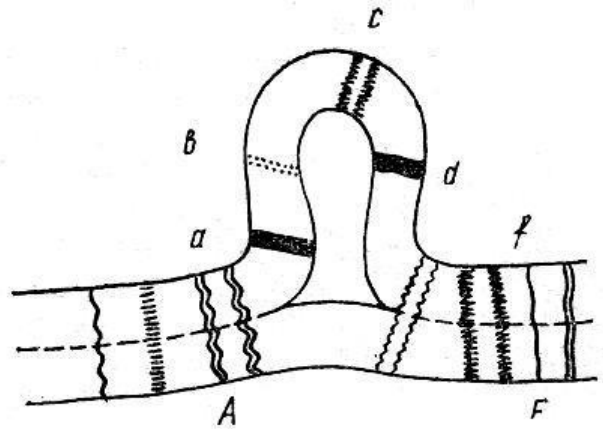
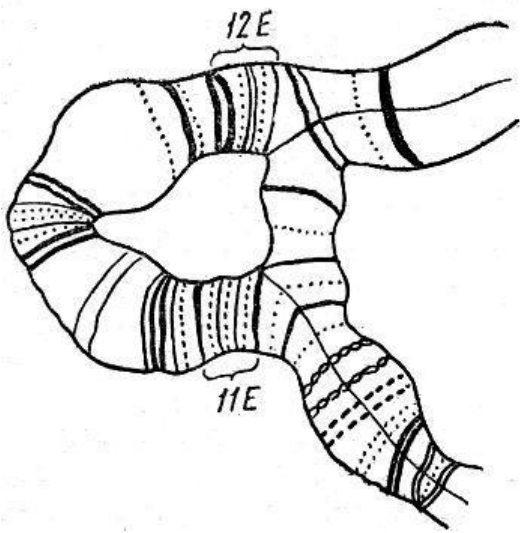


Б. Схема возникновения инверсии и конъюгации между нормальной и инвертированной хромосомами

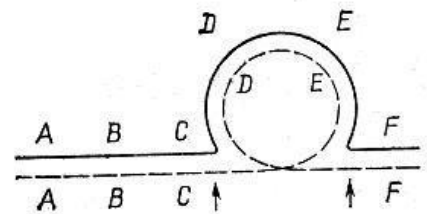
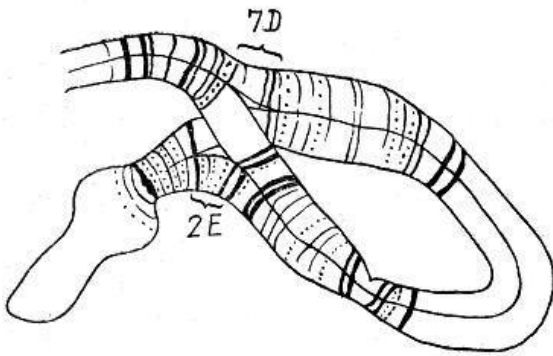


В. Схема происхождения транслокации и конъюгации между нормальными хромосомами и хромосомами, имеющими транслоцированные участки

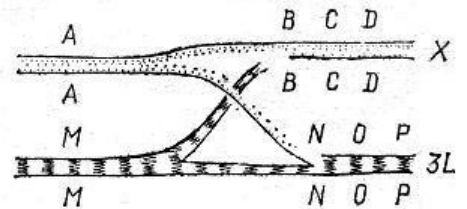
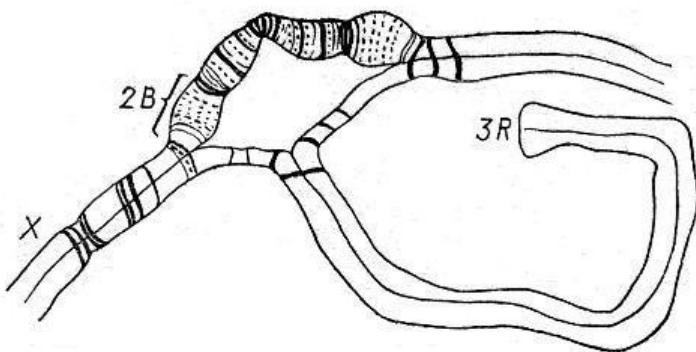
Рис. 2. Хромосомные перестройки в политенных хромосомах



А. Участок гигантской хромосомы слюнных желез дрозофилы при наличии крупной нехватки в гетерозиготном состоянии



Б. Участок гигантской хромосомы слюнных желез дрозофилы при наличии инверсии в X-хромосоме в гетерозиготном состоянии в двух случаях



В. Участок гигантской хромосомы слюнных желез дрозофилы при наличии транслокации в гетерозиготном состоянии.

Рис. 3. Микрофотографии конъюгации поличенных хромосом с перестройками



А. Участок гигантской хромосомы слюнных желез дрозофилы при наличии крупной нехватки в гетерозиготном состоянии



Б. Участок гигантской хромосомы слюнных желез дрозофилы при наличии инверсии в X-хромосоме в гетерозиготном состоянии в двух случаях



В. Участок гигантской хромосомы слюнных желез дрозофилы при наличии транслокации в гетерозиготном состоянии.

Задание 3. Возникновение транслокации и конъюгация между нормальными хромосомами и хромосомами с транслоцированными участками.

Рассмотрите и зарисуйте схему образования транслокации и конъюгации между нормальными хромосомами и хромосомами с транслокацией (рис. 1, В). Обратите внимание на количество конъюгирующих хромосом и образующуюся крестообразную фигуру. Сравните эту схему с рис. 2, В и рис. 3, В. Обратите внимание на две возможные фигуры, образуемые в политенной хромосоме (петлеобразная и крестообразная).

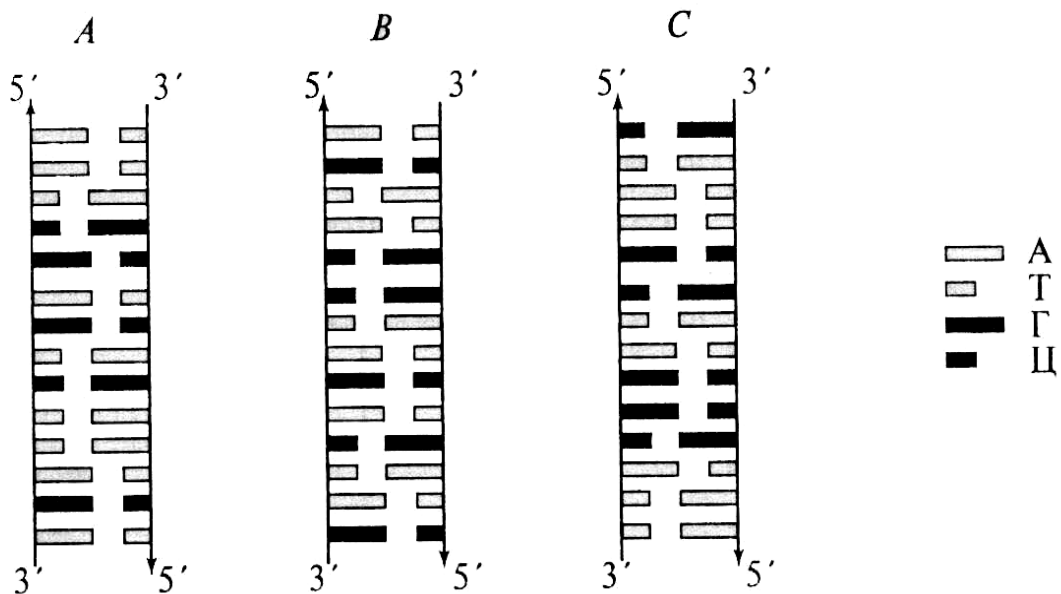
Найдите указанные фигуры на соответствующем микропрепарате при большом увеличении микроскопа.

Контрольные вопросы:

1. Если зигота человека имеет лишнюю хромосому № 21, то из нее развивается ребенок с болезнью Дауна; если в зиготе не хватает одной хромосомы № 21, то она гибнет (спонтанный аборт). Мать имеет 45 хромосом, так как одна из хромосом № 21 транслоцирована на 15 (это можно изобразить как 15/21), а отец нормальный (имеет две хромосомы 15 и две 21). Какие по генотипу могут образоваться зиготы у этих родителей, и какова дальнейшая судьба этих зигот?
2. В облученной рентгеновскими лучами культуре лейкоцитов периферической крови человека наблюдаются дицентрические хромосомы и ацентрические фрагменты. Как можно представить их происхождение?
3. При облучении клеток человека *in vitro* в анафазе наблюдаются мосты. О чем говорит их образование?
4. Изобразите конъюгацию следующих хромосом:
 $\frac{1.2.10.9.8.7.6.5.4.3.11.12}{1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12}$ (номера обозначены гены).
5. Изобразите конъюгацию следующих хромосом
 $\frac{1.2.3.4.5.6.7.8.9.}{1.2.3.6.7.8.9.}$ (номера обозначены гены).
6. Изобразите конъюгацию следующих хромосом:
 $\frac{1.2.3.4.5.6.7.8.9.10.11.12}{1.2.3.4.5.6.7.7.7.8.9.10.11.12}$ (номера обозначены гены).

Занятие 6. Решение задач по теме «Генный уровень организации наследственного материала».

1. При анализе нуклеотидного состава ДНК бактериофага *M13* было обнаружено следующее количественное соотношение азотистых оснований: А – 23%, Г – 21%, Т – 36%, Ц – 20%. Как можно объяснить причину того, что в этом случае не соблюдается принцип эквивалентности, установленный Чаргаффом?
2. Изучите диаграммы («лестничные» схемы), изображающие структуру фрагментов трех разных молекул ДНК (А, В, С), которые приведены на рисунке. Стороны такой «лестницы» изображают сахарофосфатный «остов» («каркас») молекулы, а «ступеньки» образованы парами комплементарных азотистых оснований (А-Т и Г-Ц). Помеченные стрелками края обозначают 5' - фосфаты.



Структура фрагментов трех условных молекул ДНК
(«лестничные» модели)

- 1). Проанализируйте нуклеотидный состав фрагментов А, В, С, определив показатели А/Т, Г/Ц, (А+Т)/(Г+Ц).
- 2). Обратите внимание на то, что фрагменты В и С имеют одинаковое суммарное число пар комплементарных оснований, но, вместе с тем, отличаются один от другого специфичностью чередования этих пар (имеют разные нуклеотидные последовательности). Дайте свою оценку этого обстоятельства.
- 3). Составьте собственные диаграммы двух фрагментов двухцепочечной ДНК, каждый из которых содержит по 15 пар нуклеотидов с соотношением $(A+T)/(G+C) = 2$, но отличается от другого специфичностью нуклеотидной последовательности.
3. Рассчитайте суммарную длину линейных цепочек всех молекул ДНК организма новорожденного ребенка, имею в виду, что одна диплоидная клетка человека содержит примерно $6 \cdot 10^9$ пар нуклеотидов, а организм ребенка состоит из $2 \cdot 10^{12}$ таких клеток. При расчете условно считайте, что все молекулы ДНК находятся в В-форме. Сравните полученную величину с расстоянием от Земли до Луны ($3,84 \cdot 10^5$ км), не забывая при этом, что $1 \text{ км} = 10^3 \text{ м} = 10^6 \text{ мм} = 10^9 \text{ мкм}$ (микрометров) $= 10^{12} \text{ нм}$ (нанометров).
4. Известно, что репликации ДНК в клетках бактерий скорость полимеризации составляет примерно 500 нуклеотидов в 1 сек, тогда как в клетках млекопитающих – около 50 нуклеотидов в 1 сек.
 - а) Сделайте расчет времени, необходимого для полного копирования одnoreпликонной молекулы ДНК бактериального вируса (бактериофага) среднего размера, содержащей $3 \cdot 10^4$ пар нуклеотидов.
 - б) Проведите аналогичный расчет для молекулы ДНК одной из хромосом человека, содержащей примерно 10^8 пар нуклеотидов, при условии, что такая молекула представляла бы собой лишь один репликон.

5. Определите возможное число информационных триплетов в участке молекулы ДНК, состоящем из 360 пар нуклеотидов, и в молекуле РНК, содержащей 300 нуклеотидов.
6. Определите, каким числом триплетов мРНК записана информация о полипептиде, состоящем из 900 аминокислотных остатков, и каково число нуклеотидов в соответствующем участке кодирующей нити ДНК.
7. Вычислите линейные размеры (в парах нуклеотидов и в единицах длины) бактериального гена, кодирующего полипептид, состоящий из 100 аминокислотных остатков.
8. Объясните причину ситуации, при которой ген эукариотической клетки, занимающей участок ДНК размеров в 2400 пар нуклеотидов, кодирует полипептид, состоящий из 180 аминокислотных остатков.
9. Можно ли однозначно определить нуклеотидную последовательность мРНК и комплементарной ей нити ДНК, если известна аминокислотная последовательность кодируемого ими полипептида? Дайте объяснение своего ответа.
10. Определите процентное содержание совокупности многокопийных мигрирующих последовательностей *Alu* гаплоидного генома человека ($3,0 \times 10^9$ пар нуклеотидов), зная величину одной копии (300 пар нуклеотидов) и их содержание в геноме (500 тысяч копий).

Занятие 7. Коллоквиум «Структурно-функциональная организация генетического материала»

План:

1. Общие свойства генетического материала (способность к самовоспроизведению, к поддержанию постоянства своей организации, к приобретению и воспроизведению изменений) и уровни его организации.
2. Генный уровень организации наследственного материала. Структура ДНК. Генетический код и его свойства. Репликация ДНК. Механизмы стабилизации нуклеотидной последовательности ДНК (самокоррекция ДНК-полимеразы, репарация, апоптоз).
3. Генные мутации, их причины, классификация, последствия. Механизмы, снижающие неблагоприятный эффект генных мутаций (вырожденность генетического кода, диплоидность хромосом, экстракопирование генов, неравнозначность замен аминокислот в белках).
4. Реализация генетической информации у прокариот и эукариот (транскрипция, процессинг, трансляция, посттрансляционные преобразования белков).
5. Функциональная характеристика гена (дискретность, специфичность, плейотропность, дозированность действия).
6. Хромосомный уровень организации наследственного материала и его значение в функционировании генетического материала. Химический состав, структура и морфология хромосом. Хромосомная теория наследственности.
7. Хромосомные мутации, их значение и классификация.
8. Геномный уровень организации наследственного материала и его значение. Механизмы поддержания постоянства кариотипа в ряду поколений (митоз, мейоз, оплодотворение).
9. Геномные мутации, их причины, классификация, значение.
10. Генотип как сбалансированная по дозам система взаимодействующих генов. Типы взаимодействия генов.
11. Регуляция экспрессии генов у про- и эукариот.

12. Особенности организации наследственного материала и эволюция геномов прокариот, эукариот. Роль горизонтального переноса генетического материала в эволюции генома.

Литература:

Список основной литературы:

1. Биология. Углубленный курс: учебник для бакалавров / под ред. В.Н.Ярыгина. – 6-е изд., – М.: «Юрайт», 2012.
2. Викторова Т.В. Биология/Т.В.Викторова, А.Ю.Асанов.– М.: «Академия», 2011.

Список дополнительной литературы:

1. Айала Ф. Введение в популярную и эволюционную генетику.– М.: «Мир», 1984.
2. Коничев А.С. Молекулярная биология /А.С.Коничев, Г.А.Севастьянова. – М.: «Академия», 2003.
3. Максимова Т.И. Генетические аспекты экологии человека. – Смоленск: СГПУ, 1999.
4. Максимова Т.И. Биологическая изменчивость и адаптации человека .- Смоленск: СГПУ, 2000.
5. Максимова Т.И. Экология болезней.//сб. Биологические науки в школе и вузе. – Смоленск: СмолГУ, 2006. С. 68-76.
6. Никольский В.И. Генетика. – М.: «Академия», 2010.
7. Щипков В.П. Общая и медицинская генетика/В.П.Щипков, Г.Н.Кривошеина. – М.: «Академия», 2003.
8. Яблоков А.В. Эволюционное учение/А.В.Яблоков, А.Г.Юсуфов. – М.: «Высшая школа», 1998.

Занятия 8 - 9. Закономерности наследования признаков (решение задач)

Задания: Решение генетических задач на моногибридное и дигибридное скрещивание, на аутосомное, сцепленное с полом и сцепленное наследование по предложенному сборнику задач.

Занятие 10. Генетическая структура популяций перекрестнооплодотворяющихся организмов

Задания

Задание 1. Составление модельных панмиктических популяций при заданных частотах гамет.

Работа выполняется группами студентов из трех человек. Гаметы условно представлены картонными кружочками. Кружочек синего цвета обозначает гамету с доминантной аллелью A , красного – с a . Каждая группа получает две коробки со 100 «гаметами»: в одной «яйцеклетки», в другой – «сперматозоиды». Один из студентов вытаскивает, не глядя в коробку, по одному кружочку («яйцеклетке»), другой проделывает то же самое со «сперматозоидами», а третий записывает получившееся сочетание «гамет», т. е. «зиготу». Если вытащены два синих кружочка, они означают генотип AA , синий и красный – Aa , два красных – aa . Затем кружочки каждый раз возвращают в коробку и тщательно перемешивают; это повторяется 100 раз.

Поскольку мужские и женские «гаметы» студент вытаскивает, не глядя, т.е. случайно, и столь же случайно они комбинируются при «оплодотворении», этим имитируются условия панмиксии.

Записывать ход работы удобно так, как в таблице 1 (метод конвертов).

Таблица 1.

Цвет кружков	Синий+синий	Синий+красный	Красный+красный
Генотип	AA	Aa	aa
Число			

Перед началом опыта каждая группа помещает в каждую из двух коробок по 100 кружочков в выбранном заранее соотношении гамет ($qA : pa$), например, 0,1 A : 0,9 a; 0,2 A : 0,8 a; 0,3 A : 0,7 A; 0,4 A : 0,6 a; 0,5 A : 0,5 a и т.д.

Статистическая обработка полученных результатов. Для решения вопроса о том, соответствует ли полученное расщепление теоретически ожидаемому по закону Харди-Вайнберга, необходимо определить величину χ^2 (хи-квадрат) и оценить ее по таблице Фишера.

Таблица Фишера

Число степеней свободы (ν)	Вероятность (P)									
	0,99	0,95	0,90	0,75	0,50	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01
1	0,000	0,00	0,02	0,10	0,45	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63
2	0,02	0,10	0,21	0,58	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21
3	0,11	0,35	0,58	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	9,35	11,34
4	0,30	0,71	1,06	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	11,14	13,28
5	0,55	1,15	1,61	2,67	4,35	6,63	9,24	11,07	12,83	15,09

Для расчета величины χ^2 необходимо сначала вычислить теоретически ожидаемое расщепление генотипов по формуле Харди-Вайнберга:

$$(qA + pa)^2 = q^2AA + 2qpAa + p^2aa,$$

где qA и pa – исходное, выбранное ранее, соотношение доминантного и рецессивного генов.

Полученные результаты выразить в целых числах (т.е. умножить их на 100) и внести в таблицу 2. Далее необходимо определить отклонение d и величину χ^2 .

Таблица 2.

Данные	Частоты генотипов			
	AA	Aa	aa	Всего
Фактически полученные (p)				
Теоретически ожидаемые (q)				

Отклонение $d = p - q$ d^2				
$\chi^2 = \sum \frac{d^2}{q}$				

Найденное значение χ^2 сравните с табличным для $P = 0,05$ (оптимальная для учебных целей вероятность) и числа степеней свободы $n = 2$ (число независимо рассчитанных теоретически ожидаемых величин).

Если найденное значение χ^2 меньше, чем указано в таблице, значит полученное в опыте соотношение генотипов соответствует теоретически ожидаемому, т.е. модельная популяция подтверждает закон Харди-Вайнберга. Если же найденное значение χ^2 больше или равно табличному, то полученное в опыте соотношение генотипов не соответствует теоретически ожидаемому.

Сделайте вывод о том, подчиняется ли модельная популяция закону Харди-Вайнберга.

Задание 2. Решение задач.

1. В популяции беспородных собак г. Владивостока было найдено 245 животных коротконогих и 24 с нормальными ногами. Коротконогость у собак – доминантный признак (А), нормальная длина ног – рецессивный (а). Определите частоту аллелей А и а, генотипов АА, Аа, аа и количество собак каждого генотипа.
2. Исходное соотношение генотипов в выборке 1АА : 1 аа. Определите генотипическую структуру в F₅ при условии панмиксии.
3. В одной панмиктической популяции частота аллели b равна 0,1, а в другой – 0,9. В какой популяции больше гетерозигот?
4. Черный цвет кроликов доминирует над белым. В равновесной популяции qА = ра = 0,5. Кроликов какого цвета больше в этой популяции? Во сколько раз?
5. В популяции люди с I группой крови составляют 36%, со II группой – 45%, с III группой – 13%, с IV группой – 6%. Определите частоту аллелей I⁰, I^A, I^B.

Самостоятельная работа

Самостоятельная работа студентов заключается в подготовке к практическим занятиям по вопросам для изучения, подготовке сообщений к коллоквиуму, выполнении заданий к занятиям, ответам на контрольные вопросы.

Вопросы для изучения

1. Введение: предмет, цель, основные понятия курса. Общие свойства генетического материала.
2. Структурно-функциональная организация генетического материала (генный, хромосомный, геномный уровни).
 - 2.1. Наследственность и изменчивость организмов. Общие свойства генетического материала (способность к самовоспроизведению, к поддержанию постоянства своей организации, к приобретению и воспроизведению изменений) и уровни его организации (генный, хромосомный, геномный).
 - 2.2. Генный уровень организации наследственного материала. Генетическая информация. Генетический код, его свойства.

- Репликация ДНК. Механизмы стабилизации нуклеиновой последовательности ДНК (самокоррекция, репарации, апоптоз). Генные мутации, их причины, классификация, последствия. Механизмы, снижающие неблагоприятный эффект генных мутаций (вырожденность генетического кода, диплоидность хромосом, экстракопирование генов, неравнозначность замен аминокислот в полипептидах).
- 2.3. Реализация генетической информации у прокариот и эукариот (транскрипция, процессинг, трансляция, посттрансляционные преобразования белков).
 - 2.4. Хромосомный уровень организации наследственного материала, его значение в функционировании генного аппарата, хромосомная теория наследственности. Химический состав, структура и морфология хромосом эукариот и прокариот. Хромосомные мутации, их значение и классификация.
 - 2.5. Геномный уровень организации наследственного материала. Геном. Генотип. Кариотип. Комбинативная изменчивость. Кроссинговер. Геномные мутации. Механизмы поддержания постоянства кариотипа в ряду поколений организмов.
 - 2.6. Генотип как сбалансированная по дозам система взаимодействующих генов. Типы взаимодействия генов. Регуляция экспрессии генов у про- и эукариот. Особенности организации наследственного материала и эволюция геномов прокариот и эукариот. Роль горизонтального переноса генетического материала в эволюции генома. Другие пути приобретения организмами биологической информации.
3. Онтогенез как процесс реализации наследственной информации.
 - 3.1. Периодизация онтогенеза. Проэмбриональный, эмбриональный постэмбриональный периоды. Видоизменения периодов онтогенеза, имеющие экологическое и эволюционное значение. Провизорные органы зародышей позвоночных. Эмбриональное развитие млекопитающих и человека. Механизмы онтогенеза (деление, миграция, сортировка, дифференцировка, гибель клеток). Генетический контроль индивидуального развития.
 - 3.2. Фенотип организма. Роль наследственности и среды в формировании фенотипа и пола организма. Модификационная изменчивость. Генетика старения.
 4. Основные закономерности наследования признаков (аутосомное, сцепленное с полом, независимое, сцепленное, моно- и дигенное, цитоплазматическое).
 5. Генетика популяций и основы эволюции. Адаптациогенез.
 6. Основы генетики человека. Человек как объект генетических исследований. Методы изучения генетики человека. Наследственные болезни человека. Их причины и профилактика. Медико-генетическое консультирование.

6. Фонд оценочных средств

Компетенции	Этапы формирования (семестр)	Дисциплина	Критерии	Показатели (по уровням)
владение знаниями о теоретических основах биогеографии, экологии животных, растений и микроорганизмов (ПК-15).	8 семестр	Б1.В.ДВ.12.1 Генетические основы адаптаций	Знаниевый Деятельностный	Зачтено: знает как достигается соответствие между организмами и средой их обитания, вырабатываются специфические приспособления к экологическим условиям среды, формируются ареалы распространения организмов и экологические ниши. Не зачтено: не знает как достигается соответствие между организмами и средой их обитания, вырабатываются специфические приспособления к экологическим условиям среды, формируются ареалы распространения организмов и экологические ниши. Зачтено: умеет использовать полученные знания при анализе возникающих экологических проблем и проблем биогеографии, владеет основной терминологией дисциплины. Не зачтено: не умеет использовать полученные знания при анализе возникающих экологических проблем и проблем биогеографии, владеет основной терминологией дисциплины.
ОПК-2 - владением базовыми знаниями фундаментальных разделов физики, химии и биологии в объеме, необходимом для освоения физических, химических и биологических основ в экологии и природопользования; методами химического анализа,	8 семестр	Б1.В.ДВ.12.1 Генетические основы адаптаций	Знаниевый	Зачтено: знает основы структурно-функциональной организации генетического материала, механизмы передачи, реализации наследственной информации и ее изменении под воздействием факторов среды; направления и механизмы адаптациогенеза на разных уровнях организации генетического материала; основы популяционной генетики, генетические основы стабильности популяций, основы генетики человека.

<p>знаниями о современных динамических процессах в природе и техносфере, о состоянии геосфер Земли, экологии и эволюции биосферы, глобальных экологических проблемах, методами отбора и анализа геологических и биологических проб, а также навыками идентификации и описания биологического разнообразия, его оценки современными методами количественной обработки информации</p>			<p>Деятельностный</p>	<p>Не зачтено: не знает основы структурно-функциональной организации генетического материала, механизмы передачи, реализации наследственной информации и ее изменении под воздействием факторов среды; направления и механизмы адаптиогенеза на разных уровнях организации генетического материала; основы популяционной генетики, генетические основы стабильности популяций, основы генетики человека.</p> <p>Зачтено: умеет объяснять причины, направления и механизмы адаптаций организмов к среде обитания, формы и причины изменчивости наследственной информации под влиянием факторов среды, изменения генетической структуры популяций, факторы, приводящие к патологическим процессам в организме человека. Владеет навыками решения генетических задач, использования полученных знаний при анализе возникающих экологических проблем и для определения вероятности проявления генетически обусловленных аномалий.</p> <p>Не зачтено: не умеет объяснять причины, направления и механизмы адаптаций организмов к среде обитания, формы и причины изменчивости наследственной информации под влиянием факторов среды, изменения генетической структуры популяций, факторы, приводящие к патологическим процессам в организме человека. Не владеет навыками решения генетических задач, использования полученных знаний при анализе возникающих экологических проблем и для определения вероятности проявления генетически обусловленных аномалий.</p>
---	--	--	------------------------------	--

Оценочные средства (примеры)

1) Задания к практическим занятиям

Задания к практическому занятию по теме «Генетическая структура популяций перекрестнооплодотворяющихся организмов».

Задание 1. Составление модельных панмиктических популяций при заданных частотах гамет.

Работа выполняется группами студентов из трех человек. Гаметы условно представлены картонными кружочками. Кружочек синего цвета обозначает гамету с доминантной аллелью A , красного – с a . Каждая группа получает две коробки со 100 «гаметами»: в одной «яйцеклетки», в другой – «сперматозоиды». Один из студентов вытаскивает, не глядя в коробку, по одному кружочку («яйцеклетке»), другой проделывает то же самое со «сперматозоидами», а третий записывает получившееся сочетание «гамет», т. е. «зиготу». Если вытащены два синих кружочка, они означают генотип AA , синий и красный – Aa , два красных – aa . Затем кружочки каждый раз возвращают в коробку и тщательно перемешивают; это повторяется 100 раз.

Поскольку мужские и женские «гаметы» студент вытаскивает, не глядя, т.е. случайно, и столь же случайно они комбинируются при «оплодотворении», этим имитируются условия панмиксии.

Записывать ход работы удобно так, как в таблице 1 (метод конвертов).

Таблица 1.

Цвет кружков	Синий+синий	Синий+красный	Красный+красный
Генотип	AA	Aa	aa
Число			

Перед началом опыта каждая группа помещает в каждую из двух коробок по 100 кружочков в выбранном заранее соотношении гамет ($qA : pa$), например, $0,1 A : 0,9 a$; $0,2 A : 0,8 a$; $0,3 A : 0,7 A$; $0,4 A : 0,6 a$; $0,5 A : 0,5 a$ и т.д.

Статистическая обработка полученных результатов. Для решения вопроса о том, соответствует ли полученное расщепление теоретически ожидаемому по закону Харди-Вайнберга, необходимо определить величину χ^2 (хи-квадрат) и оценить ее по таблице Фишера.

Т а б л и ц а Ф и ш е р а

Число степеней свободы (n')	Вероятность (P)									
	0,99	0,95	0,90	0,75	0,50	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01
1	0,000	0,00	0,02	0,10	0,45	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63
2	0,02	0,10	0,21	0,58	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21
3	0,11	0,35	0,58	1,21	2,37	4,11	6,25	7,81	9,35	11,34
4	0,30	0,71	1,06	1,92	3,36	5,39	7,78	9,49	11,14	13,28
5	0,55	1,15	1,61	2,67	4,35	6,63	9,24	11,07	12,83	15,09

Для расчета величины χ^2 необходимо сначала вычислить теоретически ожидаемое расщепление генотипов по формуле Харди-Вайнберга:

$$(qA + pa)^2 = q^2AA + 2qpAa + p^2aa,$$

где qA и pa – исходное, выбранное ранее, соотношение доминантного и рецессивного генов.

Полученные результаты выразить в целых числах (т.е. умножить их на 100) и внести в таблицу 2. Далее необходимо определить отклонение d и величину χ^2 .

Таблица 2.

Данные	Частоты генотипов			
	AA	Aa	aa	Всего
Фактически полученные (p)				
Теоретически ожидаемые (q)				
Отклонение $d = p - q$ d^2				
$\chi^2 = \sum \frac{d^2}{q}$				

Найденное значение χ^2 сравните с табличным для $P = 0,05$ (оптимальная для учебных целей вероятность) и числа степеней свободы $n = 2$ (число независимо рассчитанных теоретически ожидаемых величин).

Если найденное значение χ^2 меньше, чем указано в таблице, значит полученное в опыте соотношение генотипов соответствует теоретически ожидаемому, т.е. модельная популяция подтверждает закон Харди-Вайнберга. Если же найденное значение χ^2 больше или равно табличному, то полученное в опыте соотношение генотипов не соответствует теоретически ожидаемому.

Сделайте вывод о том, подчиняется ли модельная популяция закону Харди-Вайнберга.

Задание 2. Решение задач.

7. В популяции беспородных собак г. Владивостока было найдено 245 животных коротконогих и 24 с нормальными ногами. Коротконогость у собак – доминантный признак (А), нормальная длина ног – рецессивный (а). Определите частоту аллелей А и а, генотипов АА, Аа, аа и количество собак каждого генотипа.
8. Исходное соотношение генотипов в выборке 1АА : 1 аа. Определите генотипическую структуру в F₅ при условии панмиксии.
9. В одной панмиктической популяции частота аллели b равна 0,1, а в другой – 0,9. В какой популяции больше гетерозигот?
10. Черный цвет кроликов доминирует над белым. В равновесной популяции qА = ра = 0,5. Кроликов какого цвета больше в этой популяции? Во сколько раз?
11. В популяции люди с I группой крови составляют 36%, со II группой – 45%, с III группой – 13%, с IV группой – 6%. Определите частоту аллелей I⁰, I^A, I^B.

*Критерии оценивания заданий к практическим занятиям
и уровня освоения знаний по темам дисциплины.*

После выполнения заданий на практическом занятии студенты должны устно ответить на контрольные вопросы, которые позволяют оценить понимание и степень самостоятельности в выполнении заданий. Уровень освоения знаний по изучаемому разделу проверяется в форме письменного ответа на следующем практическом занятии по вопросам для изучения темы.

Оценка «отлично» выставляется студенту, показавшему в ответе всестороннее и глубокое знание материала, предусмотренного программой, усвоившему основную и знакомому с дополнительной литературой, рекомендованной программой, усвоившему взаимосвязь основных понятий дисциплины, умеющему иллюстрировать ответ примерами и свободно выполнять задания, проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, показавшему в ответе достаточное знание материала, предусмотренного программой, усвоившему основную и знакомому с дополнительной литературой, рекомендованной программой, усвоившему взаимосвязь основных понятий дисциплины, умеющему иллюстрировать ответ примерами и свободно выполнять задания, однако допустившему 1-2 негрубые ошибки или неточности.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, показавшему в ответе знания основного материала, предусмотренного программой, в объеме, необходимом для дальнейшей учебы, знакомому с основной литературой, но затрудняющемуся приводить примеры для иллюстрации своего ответа и справляющемуся с выполнением заданий под руководством преподавателя, допустившего в ответе многочисленные неточности и 2-3 грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, показавшему в ответе значительные пробелы в знаниях основного материала, предусмотренного программой, не ознакомившемуся с основной литературой, рекомендованной программой, не овладевшему базовыми знаниями по данной дисциплине и определенными предметными умениями, не умеющему иллюстрировать ответ примерами, допустившему в ответе многочисленные грубые ошибки и неточности.

2) Вопросы к коллоквиуму

Вопросы к коллоквиуму «Структурно-функциональная организация генетического материала»

1. Общие свойства генетического материала (способность к самовоспроизведению, к поддержанию постоянства своей организации, к приобретению и воспроизведению изменений) и уровни его организации.
2. Генный уровень организации наследственного материала. Структура ДНК. Генетический код и его свойства. Репликация ДНК. Механизмы стабилизации нуклеотидной последовательности ДНК (самокоррекция ДНК-полимеразы, репарация, апоптоз).
3. Генные мутации, их причины, классификация, последствия. Механизмы, снижающие неблагоприятный эффект генных мутаций (вырожденность генетического кода, диплоидность хромосом, экстракопирование генов, неравнозначность замен аминокислот в белках).
4. Реализация генетической информации у прокариот и эукариот (транскрипция, процессинг, трансляция, посттрансляционные преобразования белков).
5. Функциональная характеристика гена (дискретность, специфичность, плейотропность, дозированность действия).
6. Хромосомный уровень организации наследственного материала и его значение в функционировании генетического материала. Химический состав, структура и морфология хромосом. Хромосомная теория наследственности.
7. Хромосомные мутации, их значение и классификация.
8. Геномный уровень организации наследственного материала и его значение. Механизмы поддержания постоянства кариотипа в ряду поколений (митоз, мейоз, оплодотворение).
9. Геномные мутации, их причины, классификация, значение.
10. Генотип как сбалансированная по дозам система взаимодействующих генов. Типы взаимодействия генов.
11. Регуляция экспрессии генов у про- и эукариот.
12. Особенности организации наследственного материала и эволюция геномов прокариот, эукариот. Роль горизонтального переноса генетического материала в эволюции ген.

Контрольные вопросы к занятию « Структура хромосом эукариот»:

1. Как связаны метаболическая активность клетки и интенсивность окраски ядер?
2. Какие функции выполняют белки гистоны и негистоны в хроматине?
3. Какие уровни компактизации соответствуют эухроматину и гетерохроматину в интерфазном ядре клетки?
4. Чем отличаются факультативный и конститутивный гетерохроматин?
5. Какой уровень компактизации обнаруживается и в интерфазной клетке, и в профазу I мейоза? Почему не в профазу митоза?
6. Во сколько раз укорачивается длина ДНК в делящейся клетке по сравнению с интерфазной?

Оценивание ответов студента

"Отлично" выставляется студенту, который демонстрирует при ответе всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой. Свободно ориентируется в основной и дополнительной литературе, рекомендованной

программой, а так же показывает усвоение взаимосвязи основных понятий дисциплины и их значений для приобретаемой профессии, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

"Хорошо" выставляется студенту, который демонстрирует при ответе хорошее знание учебно-программного материала, успешно выполнил предусмотренные задания, усвоил основную литературу, рекомендованную в программе. Показывает систематический характер знаний по дисциплине и способен к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

"Удовлетворительно" выставляется студенту, обнаружившему знание основного учебного материала в объёме, необходимом для дальнейшей учёбы и предстоящей работы по профессии, справляющимся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой, допустившим погрешности в ответе, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

"Неудовлетворительно" выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не ознакомившемуся с основной литературой, предусмотренной программой, и не овладевшему базовыми знаниями, предусмотренными по данной дисциплине и определёнными предметными умениями.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Список основной литературы:

1. Алферова, Г. А. Генетика: учебник для академического бакалавриата / под ред. Г. А. Алферовой. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 209 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-00168-6.

2. Осипова, Л. А. Генетика в 2 ч. Часть 1: учебное пособие для вузов / Л. А. Осипова. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 255 с. — (Серия: Университеты России). — ISBN 978-5-534-00054-2.

3. Осипова, Л. А. Генетика. В 2 ч. Часть 2: учебное пособие для вузов / Л. А. Осипова. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 261 с. — (Серия: Университеты России). — ISBN 978-5-534-00059-7.

4. Алферова, Г. А. Генетика. Практикум: учебное пособие для академического бакалавриата / Г. А. Алферова, Г. А. Ткачева, Н. И. Прилипко. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 174 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-00169-3.

Список дополнительной литературы:

1. Айала Ф. Введение в популярную и эволюционную генетику. — М.: «Мир», 1984.
2. Коничев А.С. Молекулярная биология/А.С.Коничев, Г.А.Севастьянова. — М.: «Академия», 2003.
3. Максимова Т.И. Генетические аспекты экологии человека. — Смоленск: СГПУ, 1999.
4. Максимова Т.И. Биологическая изменчивость и адаптации человека.- Смоленск: СГПУ, 2000.
5. Максимова Т.И. Экология болезней.//сб. Биологические науки в школе и вузе. — Смоленск: СмолГУ, 2006. С. 68-76.
6. Никольский В.И. Генетика. — М.: «Академия», 2010.
7. Щипков В.П. Общая и медицинская генетика / В.П.Щипков, Г.Н.Кривошеина. — М.: «Академия», 2003.
8. Яблоков А.В. Эволюционное учение/А.В.Яблоков, А.Г.Юсуфов. — М.: «Высшая школа», 1998.

1. Видеофильмы «Сто великих открытий по генетике».

2. Видеофильмы «ДНК».
3. Презентация «Генные болезни человека».
4. Презентация «Хромосомные болезни человека».
5. Презентации по структуре и репликации ДНК.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Образовательный портал <http://fatpoint.ru>
2. <http://www.naturemed.ru/auchives/4/>
3. [www/gnphu.ru](http://www.gnphu.ru) – государственная научная педагогическая библиотека им. К.Д. Ушинского Российской академии образования.
4. IPRbooks – электронная библиотека.

8. Перечень информационных технологий

Microsoft Open License (Windows XP, 7, 8, 10, Server, Office 2003-2016), лицензия 66975477 от 03.06.2016 (бессрочно).

Обучающимся обеспечен доступ к ЭБС «Юрайт», ЭБС «IPRbooks», доступ в электронную информационно-образовательную среду университета, а также доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

9. Материально-техническая база

- ноутбук ASUS;
- проектор BenQ;
- экран настенный Screen (ауд. 65)

- специальные столы с подсветкой для работы с микроскопами;
- микроскопы МБР-1;
- микроскопы МБС-9;
- электрифицированный стенд;
- наборы микропрепаратов;
- модели органов человека;
- наборы костей;
- планшеты с мышцами;
- таблицы по темам (ауд. 54)

**ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ**

Сертификат: 6314D932A1EC8352F4BBFDEFD0AA3F30
Владелец: Артеменков Михаил Николаевич
Действителен: с 21.09.2022 до 15.12.2023