

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Институт биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства
(Биологический институт)

УТВЕРЖДЕНО:

Директор
Д. С. Воробьев

Рабочая программа дисциплины

Цитогенетика

по направлению подготовки

06.03.01 Биология

Направленность (профиль) подготовки:

Биология

Форма обучения

Очная

Квалификация

Бакалавр

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП
В.В. Ярцев

Председатель УМК
А.Л. Борисенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 Способен применять принципы структурно-функциональной организации, использовать физиологические, цитологические, биохимические, биофизические методы анализа для оценки и коррекции состояния живых объектов и мониторинга среды их обитания.

ОПК-3 Способен применять знание основ эволюционной теории, использовать современные представления о структурно-функциональной организации генетической программы живых объектов и методы молекулярной биологии, генетики и биологии развития для исследования механизмов онтогенеза и филогенеза в профессиональной деятельности.

ПК-2 Способен изучать научно-техническую информацию по направлению исследований и представлять результаты своих исследований в научном сообществе.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-2.1 Демонстрирует понимание принципов структурно-функциональной организации живых систем

ИОПК-2.2 Использует физиологические, цитологические, биохимические, биофизические методы анализа для оценки и коррекции состояния живых объектов и мониторинга среды их обитания

ИОПК-3.1 Демонстрирует понимание основ эволюционной теории, современные представления о структурно-функциональной организации генетической программы живых объектов при осуществлении профессиональной деятельности

ИПК-2.1 Владеет навыком поиска и анализа научной информации по направлению исследований

2. Задачи освоения дисциплины

- Знать структурно-функциональную организацию наследственного аппарата вирусов, прокариот, эукариот и закономерности ее изменчивости.

- Знать цитогенетические и биохимические аспекты мейотического деления клетки.

- Уметь применять понятийный аппарат и знание основ цитогенетики для решения практических задач профессиональной деятельности.

- Уметь производить поиск и анализ научной информации об изменчивости наследственного аппарата, теоретическом и практическом применении этих данных.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Профессиональный модуль «Генетика, клеточная и синтетическая биология».

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Восьмой семестр, зачет

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: «Генетика», «Цитология и гистология», «Биохимия».

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 часов, из которых:

-лекции: 20 ч.

-семинар: 14 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Предмет и история цитогенетики.

Предмет и задачи цитогенетики. Предпосылки для установления связи между хромосомами и наследственными факторами Г. Менделя. Хромосомная теория наследственности. Этапы развития цитогенетики.

Тема 2. Структурно-функциональная организация наследственного аппарата вирусов, прокариот, мезокариот.

Разнообразие геномов вирусов. Особенности упаковки и репродукции геномов вирусов. Организация и репродукция вироидов. Структурно-функциональная организация нуклеоида прокариот. Организация и особенности функционирования кольцевого и линейного генетического аппарата бактерий. ДНК-связывающие белки бактерий. Плазмиды бактерий: особенности организации и функционирования, их роль. Организация и репродукция наследственного аппарата у мезокариот.

Тема 3. Методы исследования хромосом.

Классическое и молекулярное кариотипирование. Особенности изучения кариотипов видов с хромосомами малых размеров. Дифференциальное окрашивание хромосом: классификация, принципы, области применения. Гибридизация нуклеиновых кислот *in situ*. История и принцип метода. Флуоресцентная *in situ* гибридизация (FISH). ДНК-пробы: виды, детекция. Многоцветная FISH. Хромосомный пэинтинг («живопись»). Геномная *in situ* гибридизация. Области применения методов гибридизации нуклеиновых кислот. Полимеразная цепная реакция *in situ* – PRINS. Иммуноокрашивание. Электронная и конфокальная микроскопия в исследованиях хромосом. Принципы и области применения методов. Цитогенетические карты метафазных, политенных хромосом, хромосом типа «ламповых щеток»).

Тема 4. Химические компоненты хромосом эукариот.

Структурная организация ДНК в составе хромосом. Доказательства унитарной организации хромосом. Белки хромосом. Гистоны: фракционный состав, физико-химические свойства, вторичная и третичная структура, роль в упаковке и регуляции активности ДНК. Классификация негистоновых белков хромосом, их гетерогенность, тканеспецифичность, функции. Минорные компоненты хроматина (ионы металлов, РНК), их роль в структурно-функциональной организации хромосом.

Тема 5. Структурно-функциональная организация хроматина эукариот.

Строение нуклеосом. Взаимодействие между гистонами и гистоны-ДНК в составе нуклеосом. Фазирование нуклеосом. Организация нуклеосомной фибриллы при репликации и транскрипции. АТФ-зависимое ремоделирование хроматина. Посттрансляционные модификации гистонов в составе нуклеосом.

Наднуклеосомная организация хроматина. Модели непрерывной и дискретной 30-нм фибриллы. Метилирование ДНК. Третий уровень компактизации ДНК (петлевая

укладка). Роль негистоновых белков в компактизации ДНП. Особенности организации хроматина мужских половых клеток. Организация хроматина в интерфазном ядре. Хромосомные территории. Высшие уровни упаковки ДНК. Хроматида.

Тема 6. Специализированные районы хромосом эукариот.

Центромера. Функции центромеры. Структурные типы центромер. Организация точечных центромер (на примере дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*). Организация региональных центромер низших эукариот (на примере дрожжей *Schizosaccharomyces pombe*). Состав ДНК центромер высших эукариот (млекопитающих, растений). Центромерные белки высших эукариот. Особенности организации центромер дрозофилы. Понятие о неоцентромере. Парадокс центромерной ДНК. Кинетохор: ультраструктура и функции.

Теломеры. Функции теломер. Молекулярная организация теломер дрожжей, позвоночных, растений. Особенности организации теломер дрозофилы. Проблема концевой недорепликации ДНК. Гипотеза о роли концевой недорепликации ДНК в процессе старения организма. Теломеразы: строение, функции, механизм действия. Альтернативные механизмы восстановления теломерной ДНК.

Тема 7. Специализированные хромосомы.

Политенные хромосомы (ПХ). История изучения ПХ и их общая характеристика. Распространение ПХ в природе, их роль. Особенности репликации ДНК и клеточного цикла в политенных клетках. Морфология ПХ. Типы политении. Диски ПХ и оценка числа генов. Пуфы ПХ. Химизм пуфинга. Междиски ПХ. Политенная хромосома как модель интерфазной. Значение политенных хромосом в исследованиях организации и функционирования хромосом.

Хромосомы типа ламповых щеток (ЛЩ). Распространение хромосом типа ЛЩ. Методы получения препаратов хромосом типа ЛЩ. Структура ЛЩ в ооцитах амфибий. Морфология боковых петель. Формирование хромосом типа ЛЩ, их химический состав. Специфика функционирования ЛЩ. Хромосомы типа ЛЩ в сперматоцитах *Drosophila*, их структура и функционирование. Хромосомы типа ЛЩ у других организмов. Значение хромосом типа ЛЩ.

Тема 8. Изменчивость хромосомного набора.

Добавочные, или В-хромосомы. Отличия добавочных хромосом от хромосом основного набора. Число, форма и размеры В-хромосом. Поведение В-хромосом в митозе и мейозе. Механизмы элиминации и аккумуляции В-хромосом. Влияние В-хромосом на развитие организма. Происхождение и пути эволюции В-хромосом.

Запрограммированные перестройки хромосом в онтогенезе. Диминуция хроматина в онтогенезе нематод (*Parascaris univalens*, *Ascaris suum* и др.). Диминуция хроматина у циклопов. Развитие макронуклеуса у брюхоресничных инфузорий. Элиминация хромосом у двукрылых насекомых. Биологическое значение диминуции хроматина и элиминации хромосом.

Тема 9. Цитогенетика и биохимия мейоза.

Мейоз и его биологическое значение. Типы мейоза. Характеристика основных стадий мейоза. Ультраструктура хромосом в мейозе. Современные представления о конъюгации хромосом в мейозе. Синаптонемальный комплекс (СК): ультраструктура, функции, формирование и исчезновение. СК при ахизматическом мейозе. СК-кариотипирование.

Генетическая рекомбинация (кроссинговер). Основные закономерности мейотического кроссинговера. Основные гипотезы о механизме кроссинговера. Рекомбинационные узелки. Факторы, влияющие на кроссинговер: генетические,

биологические, абиотические. Кроссинговер в отсутствие синаптонемного комплекса. Инвертированный мейоз. Генетическая регуляция мейоза.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, теста по лекционному материалу и материалу семинаров, подготовки докладов с презентацией, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в восьмом семестре проводится на основе средних значений баллов, полученных студентом за все контрольные работы, тест, выполнение индивидуальных заданий, доклады на семинарских занятиях. В течение семестра студент должен подготовить 3–4 доклада в зависимости от размера группы. Если среднее значение баллов за все контрольные работы, тест и выполнение индивидуальных заданий не менее 80 %, а за доклады не менее 90 % от максимально возможных, то студент получает зачёт. Если баллов набрано меньше, то студент сдает устный зачёт по билетам. Экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса из разных разделов курса. Продолжительность зачета 1 час.

Достижение учащимися индикаторов компетенций ИОПК-2.1, ИОПК-2.2, ИОПК-3.1, ИПК-2.1 оценивается через написание контрольных работ, теста по основным тематическим разделам курса, выполнение индивидуальных заданий, подготовку и представление устных докладов с презентацией по темам семинаров: «Структурно-функциональная организация наследственного аппарата вирусов, прокариот, мезокариот», «Методы исследования хромосом», «Политенные хромосомы», «Запрограммированные перестройки хромосом в онтогенезе», «Добавочные, или В-хромосомы», ответы на вопросы экзаменационного билета.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

Вопросы к зачету по дисциплине «Цитогенетика»

ИОПК-2.1 Демонстрирует понимание принципов структурно-функциональной организации живых систем

1. Предмет, задачи, история цитогенетики. Хромосомная теория наследственности.
2. Мейоз: биологическое значение, типы, хронология.
3. Современные представления о конъюгации хромосом в мейозе.
4. Цитогенетические, молекулярные и биохимические аспекты мейотического кроссинговера.
5. Диминуция хроматина у нематод и циклопов. Элиминация хромосом у двукрылых насекомых.
6. Развитие макронуклеуса у брюхоресничных инфузорий.
7. Проблема концевой недорепликации ДНК.

ИОПК-2.2 Использует физиологические, цитологические, биохимические, биофизические методы анализа для оценки и коррекции состояния живых объектов и мониторинга среды их обитания

8. Классические и современные методы кариотипирования.
9. Дифференциальное окрашивание хромосом.
10. Гибридизация нуклеиновых кислот *in situ*. Иммуноокрашивание.
11. Электронная и конфокальная микроскопия в исследованиях хромосом.

ИОПК-3.1 Демонстрирует понимание основ эволюционной теории, современные представления о структурно-функциональной организации генетической программы живых объектов при осуществлении профессиональной деятельности

12. Цитогенетические карты.
13. Структурно-функциональная организация наследственного аппарата вирусов.
14. Структурно-функциональная организация наследственного аппарата прокариот.
15. Структурно-функциональная организация наследственного аппарата мезокариот.
16. Центромера: определение, функции, классификация.
17. Организация центромер низших и высших эукариот.
18. Особенности организации центромер и теломер дрозофилы.
19. Понятие о нецентромере. Парадокс центромерной ДНК.
20. Кинетохор: ультраструктура и функции.
21. Теломеры: определение, функции, молекулярная организация.
22. Искусственные хромосомы: создание, применение.
23. Химические компоненты хромосом эукариот.
24. Строение нуклеосом. Нуклеосомная фибрилла при репликации и транскрипции.
25. Своеобразие организации хроматина мужских половых клеток.
26. Модели укладки нуклеосомной фибриллы в метафазную хромосому.
27. Организация хроматина в интерфазном ядре.
28. Политенные хромосомы: общая характеристика, распространение, значение.
29. Морфология политенных хромосом: типы политении, диски, междиски, пuffs.
30. Хромосомы типа ламповых щеток: распространение, морфология, функционирование.
31. Хромосомы типа ламповых щеток в сперматоцитах *Drosophila*.
32. Добавочные, или В-хромосомы.

Критерии оценивания:

Оценка	Критерии оценки
Не зачтено	Нет ответа даже на общие вопросы.
Зачтено	Чётко сформулированные ответы на вопросы билета. Частично неполный ответ.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в среде электронного обучения iDO - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=17411>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) План семинарских занятий по дисциплине.

Темы семинаров:

1. Структурно-функциональная организация наследственного аппарата вирусов, прокариот, мезокариот (4 ч.).
2. Методы исследования хромосом (4 ч.).
3. Политенные хромосомы (2 ч.).
4. Запрограммированные перестройки хромосом в онтогенезе (2 ч.).

5. Добавочные, или В-хромосомы (2 ч.).

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студентов предполагает поиск и анализ современной литературы по темам семинарских занятий, подготовку докладов с презентациями к семинарским занятиям, подготовку к тесту и контрольным работам.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Клетки / под ред. Б. Льюина и др. ; пер. с англ. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 951 с.

– Коряков Д. Е. Хромосомы: структура и функции / Д. Е. Коряков, И. Ф. Жимулев. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. – 258 с.

– Разин С. В. Хроматин: упакованный геном // С. В. Разин, А. А. Быстрицкий. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 191 с.

– Смирнов А. Ф. Структурно-функциональная организация хромосом / А. Ф. Смирнов. – СПб: Нестор-История, 2009. – 204 с. – URL: <https://www.rfbr.ru/library/books/313/> (дата обращения: 25.10.2024)

б) дополнительная литература:

– Бабынин Э. В. Молекулярный механизм гомологичной рекомбинации в мейозе: происхождение и биологическое значение // Цитология. – 2007. – Т. 49, № 3. – С. 182–193.

– Бадаева Е. Д. Структура генома и хромосомный анализ растений / Е. Д. Бадаева, Е. А. Салина // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2013. – Т. 17, № 4/2. – С. 1017–1043.

– Богданов Ю. Ф. Белковые механизмы мейоза // Природа. – 2008. – № 3. – С. 3–9.

– Борисов Ю. М. В-хромосомы и пластичность вида // Экологическая генетика. – 2013. – Т. 11, № 2. – С. 73–83.

– Грач А. А. Особенности структурной организации теломер у различных видов организмов // Цитология. – 2009. – Т. 51, № 11. – С. 869–878.

– Проблема диминуции хроматина на рубеже XX и XXI веков / Гришанин А. К., Шеховцов А. К., Бойкова Т. В. [и др.] // Цитология. – 2006. – Т. 48, №5. – С. 379–397.

– Жимулёв И. Ф. Политенные хромосомы: морфология и структура / И. Ф. Жимулёв. – Новосибирск: Наука, 1992. – 480 с.

– Красикова А. В., Куликова Т. В. Хромосомы типа ламповых щеток: современные представления и перспективы исследований / А. В. Красикова, Т. В. Куликова. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2019. – 104 с. – URL: <https://www.rfbr.ru/library/books/2600/> (дата обращения: 25.10.2024)

– Прозоров А. А. Дополнительные хромосомы бактерий: свойства и происхождение // Микробиология. – 2008. – Т. 77, № 4. – С. 437–447.

– Равин Н. В. Геном прокариот / Н. В. Равин, С. В. Шестаков // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2013. – Т. 17, № 4/2. – С. 972–984.

– Раутиан М. С. Молекулярная организация генома инфузорий // Генетика. – 2010. – Т. 46, № 9. – С. 1192–1195.

– Рубцов Н. Б. Хромосома человека в четырех измерениях // Природа. – 2007. – № 8. – С. 3–9.

– Рубцов Н. Б., Карамышева Т. В. Многоцветие современной цитогенетики, или multicolor FISH today / Н. Б. Рубцов, Т. В. Карамышева // Вестник ВОГиС. – 2000. – С.11–15.

– Торгашева А. А. Мейоз: что нужно пережить ради уменьшения числа хромосом вдвое // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2013. – Т. 17, № 1. – С. 17–28.

в) ресурсы сети Интернет:

- Сайт, посвященный исследованиям хромосом типа ламповых щеток. – URL: <http://projects.exeter.ac.uk/lampbrush/> (дата обращения: 25.10.2024)
- Сайт «Биомолекула». Раздел «Хроматин». – URL: <https://biomolecula.ru/themes/hromatin> (дата обращения: 25.10.2024)

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юпайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Митренина Елизавета Юрьевна, кандидат биологических наук, кафедра генетики и клеточной биологии БИ ТГУ, доцент.