

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям



_____ О.Н.Здрок

«09» декабря 2020 г.

Регистрационный № УД - 9487 /уч.

Регуляторные механизмы клетки

**Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:
1-31 01 01 Биология (по направлениям)**

направления специальности

- 1-31 01 01-01 Биология (научно-производственная деятельность)
- 1-31 01 01-02 Биология (научно-педагогическая деятельность)

специализации

- 1-31 01 01-01 25 Молекулярная биология
- 1-31 01 01-02 25 Молекулярная биология

2020 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 01 01-2013 и учебных планов УВО № G31-132/уч., № G31-133/уч., утвержденных 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Е.А. Николайчик, доцент кафедры молекулярной биологии Белорусского государственного университета, кандидат биологических наук, доцент

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Л.Н. Валентович, заведующий лабораторией «Центр аналитических и гено-инженерных исследований» ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», кандидат биологических наук;


Е.А. Храмцова, доцент кафедры генетики Белорусского государственного университета, кандидат биологических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой молекулярной биологии
(протокол № 6 от 28.10.2020 г.);

Научно-методическим Советом БГУ
(протокол № 2 от 07.12.2020 г.)

Зав. кафедрой
молекулярной биологии,
профессор



А.Н.Евтушенко

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины – сформировать у студентов целостную систему знаний о принципах контроля метаболических процессов в клетке.

Задачи учебной дисциплины

- 1) изучение общих принципов регуляции клеточных процессов на различных стадиях экспрессии геномной информации,
- 2) изучение молекулярных механизмов, определяющих перестройку метаболических процессов при стрессовых воздействиях,
- 3) изучение молекулярных механизмов межклеточных коммуникаций,
- 4) изучение регуляции локализации белков внутри клетки и за ее пределами.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализации компонента учреждения высшего образования учебных планов.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др.

Учебная программа по учебной дисциплине «Регуляторные механизмы клетки» составлена с учетом межпредметных **связей** и программ по смежным учебным дисциплинам биологического профиля «Биохимия», «Генетика», «Молекулярная биология» и др.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Регуляторные механизмы клетки» наряду с другими дисциплинами специализации должно обеспечить формирование следующих академических, социально-личностных и профессиональных компетенций:

академические компетенции:

АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.

АК-3. Владеть исследовательскими навыками.

АК-4. Уметь работать самостоятельно.

АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.

профессиональные компетенции:

ПК-2. Осваивать новые модели, теории, методы исследования, участвовать в разработке новых методических подходов.

ПК-3. Осуществлять поиск и анализ данных по изучаемой проблеме в научной литературе, составлять аналитические обзоры.

ПК-4. Готовить научные статьи, сообщения, рефераты, доклады и материалы к презентациям.

ПК-7. Осуществлять поиск и анализ данных по изучаемой проблеме в научно-технических и других информационных источниках.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

знать:

- общие принципы регуляции клеточных процессов;
- молекулярные механизмы взаимодействия регуляторных белков с нуклеиновыми кислотами;
- особенности регуляторных процессов в клетках про- и эукариот;
- принципы регуляции на стадии инициации и терминации транскрипции;
- механизмы контроля стабильности мРНК, в том числе принципы регуляции при помощи малых регуляторных РНК и механизм РНК-интерференции;
- механизмы контроля нативной структуры и деградации белков в клетках про- и эукариот, их транспорта в различные компартменты клетки и за ее пределы;
- принципы организации сенсорных систем и сигнальных каскадов;
- основные принципы контроля клеточного цикла;
- механизмы адаптации клетки к стрессовым условиям;

уметь:

- предложить возможные пути повышения или понижения экспрессии определенных метаболических путей за счет воздействия на известные регуляторные процессы;
- использовать знания о принципах регуляции метаболизма при создании организмов-продуцентов каких-либо соединений;
- оценить возможные последствия изменения условий культивирования для основных метаболических процессов модельных организмов

владеть:

- методами идентификации регуляторных и структурных элементов генов в геномной последовательности;
- информацией о доступных методах модификации генома потенциального продуцента для увеличения выхода конечного продукта.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6-м семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Регуляторные механизмы клетки» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 110 часов, в том числе 40 аудиторных часов, из них: лекции – 26 часов, лабораторные занятия – 10 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2,5 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – экзамен.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

РАЗДЕЛ 1. МЕТОДЫ АНАЛИЗА РЕГУЛЯТОРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Идентификация регуляторных участков в геномных последовательностях. Экспериментальные подходы: EMSA, фингерпринтинг (защита от нуклеаз), мутагенез, профилирование экспрессии, ChIP, Genomic SELEX, мутагенез. Анализ *in silico*: базы данных с регуляторной информацией и их использование, алгоритмы идентификации регуляторных последовательностей, основные программные пакеты и их применение.

Метаболические модели и полные реконструкции как инструмент для конструирования штаммов с заданными свойствами.

Идентификация компонентов сигнальных цепей. Экспериментальные подходы: методы исследования белок-белковых взаимодействий, включая полнопротеомный скрининг, методы конструирования и скрининга нокаут-библиотек. Анализ *in silico*: майнинг литературы и база данных STRING.

РАЗДЕЛ 2. ПРИНЦИПЫ ТРАНСКРИПЦИОННОЙ РЕГУЛЯЦИИ

Тема 2.1. Молекулярные механизмы транскрипционного контроля

Стадии инициации транскрипции. Сходство и различия механизмов активации и репрессии транскрипции у про- и эукариот. Понятие о единице транскрипции. Опероны у про- и эукариот. Инициация и терминация транскрипции как процессы, в наибольшей степени подверженные контролю.

Регуляторные белки (транскрипционные факторы): структура, связывание с ДНК, взаимодействие с РНК-полимеразой и между собой, механизм репрессии и активации транскрипции. Позитивный и негативный контроль в контексте стабильных регуляторных контуров.

Значение ди- и олигомеризации регуляторных белков. Основные белковые домены, узнающие специфические последовательности ДНК (спираль-поворот-спираль, спираль-петля-спираль, гомеодомен, «лейциновая застежка», «цинковые пальцы»). Особенности структуры и функционирования типичных представителей ключевых семейств транскрипционных факторов.

Модули последовательностей ДНК, узнаваемые регуляторными белками (промоторы и энхансеры, операторы). Промоторы эукариот: размеры, положение, структура и механизм распознавания различными РНК-полимеразами. Промоторные элементы, контролирующие точку инициации и интенсивность транскрипции. Корреляция между структурами транскрипционных факторов и распознаваемых ими последовательностей ДНК.

Тема 2.2 Регуляторные процессы с преимущественно транскрипционным контролем

Сигма-факторы бактерий как компоненты сигнальных систем. Альтернативные сигма-факторы. Особенности инициации транскрипции с помощью Р σ N. Бактериальные энхансер-связывающие белки и их роль в

работе сигнальных систем.

Опероны бактерий. Понятие об индуцибельных и репрессибельных оперонах. Негативная и позитивная регуляция оперонов бактерий на примере лактозного, арабинозного и триптофанового оперона. Понятие о регулоне.

Регуляторная роль бактериальной фосфотрансферазной системы. Механизмы катаболитной репрессии у различных бактерий и дрожжей.

Контроль утилизации галактозы у дрожжей. Модульная организация регуляторных белков. Дрожжевые двухгибридные системы.

Контроль терминации транскрипции. Антитерминация. Белки N и Q фага ϕ . *nut*-сайты и Nus-белки. *bgl*-оперон.

РАЗДЕЛ 3. ПОСТТРАНСКРИПЦИОННАЯ РЕГУЛЯЦИЯ

Регуляция стабильности мРНК. Факторы, влияющие на стабильность мРНК. РНКазы, участвующие в деградации мРНК (РНКаза E, РНКаза III, полинуклеотидфосфорилаза, РНКаза II). Мультибелковые комплексы деградации РНК. РНК-хеликазы в деградации РНК. Действие полиаденилирования на стабильность бактериальных и эукариотических мРНК.

Участие нетранслируемых молекул РНК (ncRNA) в регуляции. Антисмысловая РНК. Контроль инициации репликации ДНК, процессинга РНК и ее трансляции. Методы идентификации и исследования ncRNA. Контроль вторичного метаболизма с помощью системы RsmA/RsmB (CsrA/CsrB).

МикроРНК как регулятор. РНК-интерференция. CRISPR/Cas система.

Фолдинг и деградация белков как компоненты сигнальных систем. Участие молекулярных шаперонов в регуляторных процессах. Роль контролируемого протеолиза в работе сигнальных систем про- и эукариот.

РАЗДЕЛ 4. ОРГАНИЗАЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИГНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Тема 4.1 Сигнальные системы прокариот

«Однокомпонентные» сигнальные системы прокариот. Транскрипционные факторы с лиганд-связывающим доменом как простейшие сигнальные системы.

Двухкомпонентные сигнальные системы. Структура сенсорных гистидинкиназ и регуляторов ответа, принципы передачи сигнала. Работа двухкомпонентной системы EnvZ/OmpR при осморегуляции. Контроль вирулентных свойств патогенов с помощью двухкомпонентной системы PhoPQ.

Хемотаксис у бактерий. Устройство и принцип действия двигательного аппарата бактерий. Регуляция синтеза жгутикового аппарата. Белковый аппарат хемотаксиса. Рецепторы хемотаксиса. Цитоплазматические сигнальные белки и регуляторный механизм хемотаксиса. Метилазы хемотаксиса и сенсорная адаптация.

Распространение двухкомпонентных сенсорных систем у различных

представителей про- и эукариот.

Гибридные гистидинкиназы и фосфотрансляционные системы. Примеры фосфотрансляционных систем бактерий. Контроль споруляции у *B. subtilis*. Примеры фосфотрансляционных систем грибов.

Тема 4.2 Сигнальные системы эукариот

Особенности регуляторных механизмов эукариот. Компоненты сигнальных путей (рецепторы, G-белки, адапторы, эффекторы, вторичные мессенджеры).

Типы трансмембранных рецепторов и механизмы их активации. Тримерные и мономерные G-белки: структура и принцип действия.

Аmplификация сигнала: различные подходы про- и эукариот. Сигнальные каскады: транскрипционные и ферментные. MAP-киназный каскад как стандартный амплификаторный модуль эукариот. Вторичные мессенджеры в работе сигнальных систем: примеры у про- и эукариот.

Способы передачи сигнала в ядро.

Контроль специфичности сигнализации.

Примеры сигнальных путей животных: cAMP-PKA, TGF β -Smad, JAK-STAT и Ras-MAPK.

Особенности сенсорных процессов у растений. Различия сенсорных процессов растений и животных. Молекулярные механизмы действия основных фитогормонов и света на метаболизм клеток растений (на уровне транскрипционного контроля). Особенности строения мембранных рецепторов растений. LRR-домен. Принцип детекции патогенов и активации защитных ответов растений. Молекулярный контроль пролиферации и дифференциации клеток меристемы.

РАЗДЕЛ 5. СИГНАЛИЗАЦИЯ ПРИ СТРЕССОВЫХ РЕАКЦИЯХ

Контроль стрессовых регулонов бактерий при помощи альтернативных сигма-факторов РНК-полимеразы. Физиологические функции, находящиеся под контролем альтернативных сигма-факторов. Промоторы и регуляторные белки, участвующие во взаимодействии с альтернативными сигма-факторами.

Общий стресс: регулон RpoS.

Периплазматический стресс: регулон RpoE.

Температурный шок. Молекулярные шапероны как сенсоры теплового шока. Контроль регулона теплового шока у различных бактерий. Тепловой шок у дрожжей. Холодовой шок: механизм детекции стресса и адаптация аппарата трансляции.

Кислородный стресс и редокс контроль. Активные формы кислорода: их повреждающее действие и механизм инактивации. Причина кислородного стресса. Механизмы окислительных повреждений клетки. Защита от окислительного стресса. Регулоны SoxRS и OxyR. Адаптация к анаэробнозису. Белок FNR как сенсор кислорода.

Гомеостатические стрессы. Контроль утилизации азота. Детекция

внутриклеточной концентрации азота, компоненты регуляторной системы. Структура и особенности функционирования белков RpoN и NtrC. Контроль транспорта ионов металлов (магния, железа).

РАЗДЕЛ 6. МЕЖКЛЕТОЧНЫЕ КОММУНИКАЦИИ

Тема 6.1 Межклеточные коммуникации у бактерий

Ацилгомосеринлактоны и другие автоиндукторы как индикаторы плотности бактериальных популяций: синтез, детекция и регуляторная роль. Контроль биолюминесценции у *Vibrio fischeri*. Регуляция синтеза экзоферментов и антибиотиков у *Pectobacterium spp.* Регуляция продукции антибактериальных соединений.

Межклеточные коммуникации в биопленках. Сигнализация при формировании плодовых тел миксобактерий: принципы контроля дифференциации бактериальных клеток.

Тема 6.2 Регуляция взаимодействия между патогенами/симбионтами и их хозяевами

Принципы детекции патогенов и активации защитного ответа эукариотическими микроорганизмами. Способы детекции эукариотических хозяев и перестройки метаболизма патогенными и симбиотическими бактериями. Суппрессия иммунного ответа хозяев их патогенами.

РАЗДЕЛ 7. РЕГУЛЯЦИЯ КЛЕТОЧНОГО ЦИКЛА

Деление бактериальной клетки и его регуляция. Особенности организации генов, участвующих в делении клеток и их функции. Регуляция клеточного цикла у *Escherichia coli* и *Caulobacter crescentus*. Споруляция у *Bacillus subtilis*: сигнальный каскад, контролирующий последовательные стадии споруляции.

Взаимосвязь инициации репликации и деления клетки. Контроль эукариотического клеточного цикла. Циклины и циклинзависимые киназы. Роль протеолиза в контроле клеточного цикла.

Стрессовая сигнализация и контроль деления клетки.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	Методы анализа регуляторных процессов	2						
2	Принципы транскрипционной регуляции	4			2			Устный опрос
2.1	Молекулярные механизмы транскрипционного контроля	2			1			
2.2	Регуляторные процессы с преимущественно транскрипционным контролем	2			1			
3	Посттранскрипционная регуляция	2					2	Письменная контрольная работа
4	Организация и особенности функционирования сигнальных систем	8			4			Устный опрос
4.1	Сигнальные системы прокариот	4			2			Защита отчета о лабораторной работе
4.2	Сигнальные системы эукариот	4			2			Защита отчета о лабораторной работе
5	Сигнализация при стрессовых реакциях	4			2			Защита отчета о лабораторной работе
6	Межклеточные коммуникации	4			2			Устный опрос
6.1	Межклеточные коммуникации у бактерий	2			1			
6.2	Регуляция взаимодействия между патогенами/ симбионтами и их хозяевами	2			1			
7	Регуляция клеточного цикла	2					2	Письменная контрольная работа

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. *Николайчик Е.А.* Регуляция метаболизма клетки / Е.А. Николайчик. Мн.: Изд-во БГУ, 2006
2. *Кребс Д.* Гены по Льюину/ Д.Кребс, Э. Голдштейн, С. Килпатрик. М.: Бином, 2017.
3. *Альбертс Б.* Молекулярная биология клетки / Б. Альбертс, А. Джонсон, Дж. Льюис, М. Рэфф, К. Робертс, П. Уолтер. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2013.

Перечень дополнительной литературы

1. *Горшков В.Ю.* Бактериозы растений: молекулярные основы формирования растительно-микробных патосистем. — Казань: Изд-во Сергея Бузукина, 2017.
2. *Тарчевский И.А.* Сигнальные системы клеток растений / И. А. Тарчевский. М.: Наука, 2002.
3. *Патрушев Л.И.* Экспрессия генов / Л. И. Патрушев. М.: Наука, 2000.
4. *Пташне М.* Переключение генов / М. Пташне. М.: Мир, 1988.
5. *Крутецкая З.И.* Механизмы внутриклеточной сигнализации / З. И. Крутецкая, О. Е. Лебедев, Л. С. Курилова. СПб.: Изд-во С. Петерб. Ун-та, 2003.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Оценка за ответы на лабораторных занятиях включает в себя полноту ответа, наличие аргументов и примеров из практики.

Формирование оценки за текущую успеваемость:

–отчеты по лабораторной работе – 50 %;

–письменная контрольная работа – 50 %.

Студент допускается к экзамену при условии положительной (не менее 4 баллов) оценки текущей успеваемости.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Регуляторные механизмы клетки» учебным планом предусмотрен экзамен.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине. Вес оценки текущей успеваемости составляет 30 %, экзаменационной оценки – 70 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы обучающихся

Раздел 3. Посттранскрипционная регуляция

Провести анализ RsmA-зависимой регуляции у указанного организма.

Форма контроля – письменная контрольная работа.

Раздел 7. Регуляция клеточного цикла

Описать роль контролируемого протеолиза в контроле клеточного цикла у про- и эукариот.

Форма контроля – письменная контрольная работа.

Примерная тематика лабораторных занятий

1. Принципы транскрипционной регуляции (2 часа)
2. Организация и особенности функционирования сигнальных систем (4 часа).
3. Сигнализация при стрессовых реакциях (2 часа)
4. Межклеточные коммуникации (2 часа).

Описание инновационных подходов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется **практико-ориентированный подход**, который предполагает:

- освоение содержания образования через решения практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

При организации образовательного процесса также используются **методы и приемы развития критического мышления**, которые представляют собой систему, формирующую навыки работы с информацией в процессе чтения и письма; понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Для организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине следует использовать современные информационные ресурсы: разместить

на образовательном портале комплекс учебных и учебно-методических материалов (учебно-программные материалы, учебное издание для теоретического изучения дисциплины, методические указания к лабораторным занятиям, материалы текущего контроля и текущей аттестации, позволяющие определить соответствие учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации, в том числе вопросы для подготовки к экзамену, задания, тесты, вопросы для самоконтроля, тематика рефератов и др., список рекомендуемой литературы, информационных ресурсов и др.).

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Общие принципы организации сигнальных систем. Стандартные компоненты сигнальных систем. Способы передачи информации через клеточную мембрану.
2. Сходство и различия организации сигнальных цепей про- и эукариот.
3. Экспериментальные и вычислительные методы идентификации регуляторных участков в геномных последовательностях.
4. Экспериментальные и вычислительные методы идентификации компонентов сигнальных цепей.
5. Структурно-функциональная организация регуляторных белков: механизмы специфического распознавания регуляторных последовательностей в ДНК, репрессии и активации транскрипции.
6. Модули последовательностей ДНК, узнаваемые регуляторными белками, их особенности у про- и эукариот. Корреляция между структурами транскрипционных факторов и распознаваемых ими последовательностей ДНК.
7. Альтернативные σ -факторы РНК-полимеразы. Промоторы и регуляторные белки, участвующие во взаимодействии с сигма-факторами.
8. Контроль терминации транскрипции. Антитерминация. Белки N и Q фага λ . put-сайты и Nus-белки. bgl-оперон. Рибопереключатели.
9. Общий стресс: регулон RpoS.
10. Особенности инициации транскрипции с помощью RpoN. Бактериальные энхансер-связывающие белки и их роль в работе сигнальных систем.
11. Негативная и позитивная регуляция оперонов бактерий на примере лактозного, арабинозного и триптофанового оперона. Понятие о регулоне. Позитивный и негативный контроль в контексте стабильных регуляторных контуров.
12. Фосфотрансферазная система для глюкозы и других сахаров. Характеристика компонентов ФТС. Структура и свойства ферментов I, II, белка Hpr. Транспорт ФТС-углеводов в клетки. Регуляторная роль бактериальной фосфотрансферазной системы.
13. Молекулярные механизмы катаболитной репрессии.

14. Участие нетранслируемых молекул РНК (ncRNA) в регуляции: контроль инициации репликации ДНК, процессинга РНК и ее трансляции.
15. Методы идентификации и исследования ncRNA. Контроль вторичного метаболизма с помощью системы RsmA/RsmB (CsrA/CsrB).
16. Антисмысловая РНК. МикроРНК как регулятор. РНК-интерференция.
17. Антисмысловая РНК. МикроРНК как регулятор. РНК-интерференция.
18. Фолдинг и деградация белков как компоненты сигнальных систем. Участие молекулярных шаперонов в регуляторных процессах. Роль контролируемого протеолиза в работе сигнальных систем про- и эукариот.
19. Роль молекулярных шаперонов в регуляторных процессах. Механизм контроля регулона теплового шока у различных бактерий. Контроль теплового шока у эукариот.
20. Холодовой шок. Белки холодового шока и основные регуляторные механизмы, контролирующие адаптацию клетки.
21. Контроль процессинга пре-мРНК (транс-сплайсинг, альтернативный сплайсинг, альтернативное полиаденилирование).
22. Кислородный стресс и редокс контроль. Активные формы кислорода: их повреждающее действие и механизм инактивации. Защита от окислительного стресса. Основные регуляторы кислородного стресса: SoxRS, OxyR, FNR и др.
23. Межклеточные коммуникации в бактериальных популяциях с помощью ацилированных производных гомосеринлактона. Контроль биолюминесценции у *Vibrio fischeri*. Регуляция синтеза экзоферментов и антибиотиков у *Pectobacterium* spp.
24. Межклеточные коммуникации в биопленках и плодовых телах, контроль дифференциации бактериальных клеток.
25. Межклеточная сигнализация в контроле антагонизма.
26. Принципы детекции патогенов и активации защитного ответа эукариотическими микроорганизмами.
27. Способы детекции эукариотических хозяев и перестройки метаболизма патогенными и симбиотическими бактериями. Суппрессия иммунного ответа хозяев их патогенами.
28. Регуляция клеточного деления у прокариот. Особенности организации генов, участвующих в делении клеток и их функции. Контроль деления клетки *Escherichia coli*.
29. Регуляция клеточного цикла *Caulobacter crescentus*.
30. Споруляция *Bacillus subtilis*: сенсорная система, контролирующая инициацию споруляции.
31. Споруляция у *Bacillus subtilis*: сигнальный каскад, контролирующий последовательные стадии споруляции.
32. Контроль эукариотического клеточного цикла: циклины и циклинзависимые киназы, роль контролируемого протеолиза в контроле клеточного цикла.

33. Контроль инициации репликации ДНК. Взаимосвязь инициации репликации ДНК и деления клетки про- и эукариот.
34. Регуляторные механизмы контроля эукариотического клеточного цикла.
35. Стрессовая сигнализация и контроль деления клетки.
36. "Однокомпонентные" сигнальные системы прокариот: принципы действия и примеры.
37. Двухкомпонентные сенсорные системы. Структура сенсоров и регуляторов и их функционирование. Работа двухкомпонентной системы EnvZ/OmpR при осморегуляции. Распространение двухкомпонентных сенсорных систем у различных представителей про- и эукариот.
38. Хемотаксис у бактерий. Устройство и принцип действия двигательного аппарата бактерий. Регуляция синтеза жгутикового аппарата. Белковый аппарат хемотаксиса. Рецепторы хемотаксиса. Цитоплазматические сигнальные белки и регуляторный механизм хемотаксиса. Метилазы хемотаксиса и сенсорная адаптация.
39. Амплификация сигнала: различные подходы про- и эукариот. Сигнальные каскады: транскрипционные и ферментные. MAP-киназный каскад как стандартный амплификаторный модуль эукариот. Вторичные мессенджеры в работе сигнальных систем: примеры у про- и эукариот.
40. Гибридные гистидинкиназы и фосфотрансляционные системы. Примеры фосфотрансляционных систем бактерий.
41. Примеры фосфотрансляционных систем грибов.
42. Сигнальная система *B. subtilis*, контролирующая принятие решения о споруляции.
43. Контроль утилизации азота.
44. Контроль транспорта ионов металлов (магния, железа).
45. Принципы детекции патогенов и активации защитного ответа эукариотическими микроорганизмами.
46. Механизмы супрессии иммунного ответа хозяев их патогенами.
47. Сигнальная цепочка детекции эпинефрина в клетках животных.
48. Сигнальная цепочка детекции TGF β в клетках животных.
49. Сигнальная цепочка детекции α -интерферона в клетках животных.
50. Сигнальная цепочка детекции эпидермального фактора роста в клетках животных.
51. Сигнальная цепочка детекции этилена в клетках растений.
52. Сигнальная цепочка детекции флагеллина в клетках растений.
53. Сигнальная цепочка детекции брассиностероидов в клетках растений.
54. Молекулярный контроль пролиферации и дифференциации клеток меристемы.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Прикладная геномика	Молекулярной биологии	Отсутствуют	Изменений не требуется (протокол № 6 от 28.10.2020)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО ИЗУ-
ЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**
на ____/____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
