

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
биологической и медицинской
физики**

Д.В. Кузьмин

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Молекулярные основы биосинтеза вторичных метаболитов микроорганизмами
по направлению:	Биотехнология
профиль подготовки:	Биотехнология и биомедицинская информатика Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики кафедра биотехнологий и инженерии биосистем
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.А. Жгун, канд. биол. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры биотехнологий и инженерии биосистем 26.02.2025

Аннотация

Курс посвящен изучению молекулярных основ биосинтеза и регуляции биосинтеза ключевых биологически-активных низкомолекулярных соединений, используемых в современной фармацевтической промышленности, для понимания фундаментальных основ продукции вторичных метаболитов в микроорганизмах. Студенты познакомятся с историей открытия антибиотиков и других лекарств из микроорганизмов, их значением для человечества, и современными знаниями, основанными на расшифровке биосинтетических кластеров генов, ремоделированием хроматина в содержащих их локусах и созданием высокоурожайных продуцентов в штаммах микроорганизмов

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- сформировать у студентов представление о биологически активных соединениях, имеющих фармацевтическое значение и продуцируемых микроорганизмами, о путях биосинтеза этих соединений, о способах, позволяющих превращать природные изоляты в биофабрики по производству лекарств.

Задачи дисциплины

- дать представление о различных лекарственных соединениях из микроорганизмов – антибиотиков, статинов, иммунодепрессантов, противоопухолевых соединений, принципах их действия и молекулярных основах биосинтеза.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен самостоятельно планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов
	ПК-3.4 Способен самостоятельно находить и осваивать новые информационные и программные ресурсы в области биоинженерии и биоинформатики
	ПК-3.5 Способен применять методы биоинженерии и биоинформатики для получения биологических объектов с целенаправленно измененными свойствами

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- варианты биосинтеза высокоактивных низкомолекулярных соединений, полученных на основе нерибосомного пептидного синтеза (НРПС), поликетидсинтаз (ПКС), терпенциклаз (ТЦ), изоцианидсинтаз (ИС), рибосомально синтезированных и посттрансляционно модифицированных пептидов (РиПП);
- модульную организацию мегасинтаз и компоненты биосинтетических генных кластеров (БГК);
- этапы программ улучшения штаммов дикого типа классическими и генно-инженерными методами.

уметь:

- конструировать коровые структуры вторичных метаболитов на основе модульной организации мегасинтаз;
- аргументировать выбор стратегии для создания высокоактивного продуцента фармацевтически-значимого соединения.

владеть:

- навыками нахождения биосинтетических генных кластеров (БГК) в последовательностях геномов микроорганизмов *in silico*;
- принципами генного «майнинга» для определения продуктов «молчащих» или «сиротских» биосинтетических кластеров генов.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Инструментарий для изучения биологически-активных соединений, продуцируемых микроорганизмами.	2			2
2	Принципы биосинтеза вторичных метаболитов у микроорганизмов.	3			3
3	Биосинтетические генные кластеры (БГК)	3			3
4	Компоненты БГК. Мегасинтазы	3			3
5	Компоненты БГК. Коровые ферменты, отличные от мегасинтаз	3			3
6	Компоненты БГК. Портняжные ферменты для модификации коровых структур.	3			3
7	Компоненты БГК. Транспортёры и Регуляторы.	2			2
8	Обнаружение БГК <i>in silico</i> , «майнинг» БГК	2			2
9	Платформы для получения высокоурожайной продукции биологически-активных вторичных метаболитов в микроорганизмах	2			2
10	Антибиотики как пример биологически активных вторичных метаболитов.	2			2
11	Разнообразие функций вторичных метаболитов и их применение для нужд фармацевтической промышленности	2			2

12	Полиамины как низкомолекулярные регуляторы вторичных метаболитов	3			3
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Инструментарий для изучения биологически-активных соединений, продуцируемых микроорганизмами.

Классический и генно-инженерный подходы для изучения натуральных продуктов. Определение биотехнологии. Предмет и задачи биотехнологии. «Цветной код» биотехнологии. Отрасли биотехнологии, связанные с продукцией лекарственных соединений.

2. Принципы биосинтеза вторичных метаболитов у микроорганизмов.

Первичные и вторичные метаболиты, роль и этапы биосинтеза. Биосинтез вторичных метаболитов в ответ на сигналы. Распространение вторичных метаболитов в природе. Экологическая роль вторичных метаболитов. «Разговор» микроорганизмов на языке низкомолекулярных соединений. Классификация вторичных метаболитов. Молекулярные основы регуляции биосинтеза вторичных метаболитов. Модельные микроорганизмы для изучения продукции вторичных метаболитов: от фенотипических характеристик к молекулярным основам биосинтеза.

3. Биосинтетические генные кластеры (БГК)

Кластерная организация генов для продукции вторичных метаболитов. Биосинтетические гены: гены коровых и портняжных ферментов. Другие гены в составе БГК: для транспортеров, регуляторов, устойчивости, гены с неизвестными функциями. Отличия в организации БГК в геномах прокариот и эукариот. Мозаичная локализация БГК в геномах эукариот. Уровни регуляции для БГК, путь-специфические регуляторы, кросс-кластерные регуляторы, глобальные регуляторы, эпигенетические факторы (глобальные регуляторы вторичного метаболизма), медиаторы. Регуляция биосинтеза вторичных метаболитов в грибах по принципу фортепиано.

4. Компоненты БГК. Мегасинтазы

Понятие о белковом домене и модули в составе мегасинтазы. Происхождение и классификация мегасинтаз. Нерибосомные пептидные синтетазы (НРПС). Минимальный и опционный набор модулей. Нерибосомный код для аденилирующего домена. Количество аминокислот используемых для работы НРПС и многообразие получаемых структур. Принцип работы и примеры НРПС на примере биосинтеза бета-лактамов.

Поликетидсинтазы (ПКС), модульный и итерационный механизмы функционирования. Поликетидсинтазы 1-3 типов. Минимальный и опционный набор модулей. Принцип работы и примеры ПКС на примере биосинтеза ловастатиона. Варианты классификаций ПКС. Отличия ПКС у бактерий и грибов. Вторичные метаболиты, получаемые в результате работы нескольких мегасинтаз одного или разного типов, НРПС-ПКС гибриды: значение в природе и примеры.

5. Компоненты БГК. Коровые ферменты, отличные от мегасинтаз

Терпенциклазы (ТЦ). Понятие о терпеноме. Типы терпенов и механизм биосинтеза. Мератерпеноиды. Изоцианидсинтазы. Коровые ферменты для биосинтеза алкалоидов. Прочие коровые ферменты.

6. Компоненты БГК. Портняжные ферменты для модификации коровых структур.

Нахождение в кластере БГК. Совместное регулирование генов портняжных ферментов с центральными генами для коровых ферментов. Типы модификаций, вносимых портняжными ферментами. Диоксигеназы, эпимеразы, экспандазы, ацетилазы в кластере биосинтеза цефалоспорины С. Еноилредуктазы, цитохромы P450, трансферазы в кластере биосинтеза ловастатины. Роль цитохромов P450 в биосинтезе терпенома. Биотехнологическое применение активностей цитохромов P450 и других биосинтетических ферментов для трансформации стероидов микроорганизмами. Другие портняжные ферменты БГК.

7. Компоненты БГК. Транспортёры и Регуляторы.

Типы белков-транспортёров для переноса низкомолекулярных соединений. Транспорт интермедиатов между компартментами и из клетки. Роль транспортных белков для снижения токсичности целевого метаболита. Пример работы транспортёров для переноса интермедиатов биосинтеза бета-лактамов в плесневых грибах. Путь специфические регуляторы и кросс-кластерные регуляторы. Положительная и негативная регуляция. Примеры работы регуляторов, находящихся в составе БГК.

8. Обнаружение БГК *in silico*, «майнинг» БГК

Классификация БГК на основе получаемых продуктов. БГК для продукции нерибосомных пептидов, поликетидов, терпенов, алкалоидов, изоцианидов, гибридных и иных вторичных метаболитов. Инструментарий для поиска БГК *in silico*, современные ограничения и перспективы. Ознакомление с принципом работы среды antiSMASH. «Майнинг» БГК: микробиологические и генно-инженерные методы. Возможности обратной генетики для поиска ценных натуральных продуктов.

9. Платформы для получения высокоурожайной продукции биологически-активных вторичных метаболитов в микроорганизмах

Возможные пути промышленного получения фармацевтически-значимых вторичных метаболитов. Ферментация, полусинтетический синтез, химический синтез. Понятие об общем (тотальном) синтезе. Классические методы улучшения штаммов дикого типа. Многоруандовый случайный мутагенез и скрининг. Вклад мутаций, полученных в программе классического улучшения штамма *Aspergillus chrysogenum* для увеличения продукции антибиотика цефалоспорины С. Генно-инженерные технологии для направленного изменения метаболизма микроорганизмов: современный статус и перспективы. Создание биофабрик на основе высокоурожайных штаммов, улучшенных классическими методами и модифицированные при помощи метаболитной инженерии.

10. Антибиотики как пример биологически активных вторичных метаболитов.

История открытия антибиотиков. «Золотая Эра» антибиотиков. Резистентность и конец «Золотой Эры» антибиотиков. «Новая эра» антибиотиков. Классификация антибиотиков по механизму действия. Основные классы антибиотиков и их продуценты, механизмы действия и резистентности. Пенициллины, цефалоспорины, тетрациклины, хинолоны /фторхинолоны, макролиды, аминогликозиды, грамицидины, полимиксины, амфениколы.

11. Разнообразие функций вторичных метаболитов и их применение для нужд фармацевтической промышленности

Станины, иммунодепрессанты, противоопухолевые вторичные метаболиты. Сидерофоры и пигменты.

12. Полиамины как низкомолекулярные регуляторы вторичных метаболитов

Роль полиаминов в природе. Метаболизм полиаминов, ферменты биосинтеза и катаболизма полиаминов. Гомеостаз полиаминов в клетке. Воздействие полиаминов на продукцию вторичных метаболитов в штаммах микроорганизмов, улучшенных классическими методами.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Основная литература:

Литература предоставляется базовой кафедрой:

1. Fouillaud, M.; Dufossé, L. Microbial Secondary Metabolites and Biotechnology. Microb. Second. Metab. Biotechnol. 2022, 464, doi:10.3390/BOOKS978-3-0365-3247-9.
2. Feng, T.; Surup, F. Secondary Metabolites from Fungi — Honour of Prof. Dr. Ji-Kai Liu's 60th Birthday. Second. Metab. from Fungi — Honour Prof. Dr. Ji-Kai Liu's 60th Birthd. 2023, 480, doi:10.3390/BOOKS978-3-0365-6143-1.
3. Abd-Elsalam, K.A.; Mohamed, H.I. Bacterial secondary metabolites : synthesis and applications in agroecosystem. Bact. Second. Metab. Synth. Appl. Agroecosystem 2023, 432, doi:10.1016/C2021-0-02807-8.
4. Younas, H. Secondary metabolites from marine epiphytic bacteria against plant pathogens; Elsevier, 2023; ISBN 9780323952514.
5. Snyder and Champness Molecular Genetics of Bacteria (5th Edition) by Tina M. Henkin, Joseph E. Peters. ASM Books, 2020.
6. Alberts Molecular Biology Of The Cell 7th Edition : Alberts : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive Available online:
<https://archive.org/details/alberts-molecular-biology-of-the-cell-7th>.

Дополнительная литература

Дополнительная литература:

Литература предоставляется базовой кафедрой:

1. Zhgun, A.A. Fungal BGCs for Production of Secondary Metabolites: Main Types, Central Roles in Strain Improvement, and Regulation According to the Piano Principle. Int. J. Mol. Sci. 2023, 24, 11184, <https://doi.org/10.3390/ijms241311184>
2. Keller, N.P. Fungal secondary metabolism: regulation, function and drug discovery. Nat. Rev. Microbiol. 2019, 17, 167–180.
3. Fouillaud, M.; Dufossé, L. Microbial Secondary Metabolism and Biotechnology. Microorganisms 2022, 10, doi:10.3390/MICROORGANISMS10010123.
4. Zhgun, A.A. Industrial Production of Antibiotics in Fungi: Current State, Deciphering the Molecular Basis of Classical Strain Improvement and Increasing the Production of High-Yielding Strains by the Addition of Low-Molecular Weight Inducers. Fermentation 2023, 9, 1027, doi:10.3390/FERMENTATION9121027.
5. Zhgun, A.A. Comparative Genomic Analysis Reveals Key Changes in the Genome of Acremonium chrysogenum That Occurred During Classical Strain Improvement for Production of Antibiotic Cephalosporin C. Int. J. Mol. Sci. 2025, 26, 181, doi:10.3390/IJMS26010181.
6. Ж.-К. Ролан, А. Селюши, Д. Селюши. Атлас по биологии клетки. 1980. — 118 с.
7. Е. М. Вермер. История учения о клетке. М.: Наука, 1970.—230 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Для части занятий потребуется Zoom. Google Drive для доступа к материалам курса.
Приветствуется наличие во время занятий смартфонов/ноутбуков для участия в интерактивных упражнениях.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Биотехнология
профиль подготовки:	Биотехнология и биомедицинская информатика Физтех-школа Биологической и Медицинской Физики кафедра биотехнологий и инженерии биосистем
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Разработчик: А.А. Жгун, канд. биол. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.2 Владеет навыком руководства малым коллективом в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен самостоятельно планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
	ПК-2.2 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов
	ПК-3.4 Способен самостоятельно находить и осваивать новые информационные и программные ресурсы в области биоинженерии и биоинформатики
	ПК-3.5 Способен применять методы биоинженерии и биоинформатики для получения биологических объектов с целенаправленно измененными свойствами

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Молекулярные основы биосинтеза вторичных метаболитов микроорганизмами» обучающийся должен:

знать:

- варианты биосинтеза высокоактивных низкомолекулярных соединений, полученных на основе нерибосомного пептидного синтеза (НРПС), поликетидсинтаз (ПКС), терпенциклаз (ТЦ), изоцианидсинтаз (ИС), рибосомально синтезированных и посттрансляционно модифицированных пептидов (РиПП);
- модульную организацию мегасинтаз и компоненты биосинтетических генных кластеров (БГК);
- этапы программ улучшения штаммов дикого типа классическими и генно-инженерными методами.

уметь:

- конструировать коровые структуры вторичных метаболитов на основе модульной организации мегасинтаз;
- аргументировать выбор стратегии для создания высокоактивного продуцента фармацевтически-значимого соединения.

владеть:

- навыками нахождения биосинтетических генных кластеров (БГК) в последовательностях геномов микроорганизмов *in silico*;
- принципами генного «майнинга» для определения продуктов «молчащих» или «сиротских» биосинтетических кластеров генов.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Во время текущего контроля студент должен уметь ответить на следующие вопросы:

1. Молекулярно-генетические основы биотехнологии. Определение гена. Открытая рамка считывания и ген, локус гена на хромосоме.
2. Основные виды РНК, синтезируемые в клетке. Свойства гена. Промоторы. Транскрипция гена. Организация промотора прокариот. Оперон у прокариот.
3. Организация транскриптона и промотора эукариот. Транскрипция прокариот. Регуляция экспрессии лактозного оперона. Альфа комплементация. Транскрипция эукариот.
4. Вектор для клонирования, основные элементы. Эндонуклеазы рестрикции, рестриктазы, их типы и применение в биотехнологии. Изошизомеры, гетерошизомеры, изокаудомеры. Клонирование по «тупым» и «липким» концам. T4 ДНК-лигаза.
5. Классификация векторов для клонирования. Плазмиды, космиды, фагемиды, искусственные хромосомы.
6. Клонирование гена в гетерологичную систему экспрессии. Создание библиотеки кДНК из мРНК эукариот. Использование ПЦР для клонирования.
7. Ферментация. Фазы размножения бактериальной клетки на жидкой питательной среде. Ферментация в жидкой и в твердофазной среде. Условия ферментации. Классификация процессов ферментации. Принцип строения биореактора (ферментера). Типы ферментаций по получаемому продукту и принципиальные отличия при ферментации продуктов разных типов.
8. Определение вторичных метаболитов. Первичный и вторичный метаболизм грибов. Кластеры генов вторичного метаболизма.
9. Способы увеличения продукции целевого вторичного метаболита в штаммах грибов. Получение высокоактивных продуцентов вторичных метаболитов грибных штаммов классическими методами улучшения (CSI).
10. Мегасинтазы – центральные ферменты вторичного метаболизма. Основные и дополнительные домены модуля NRPS. Нерибосомный код при биосинтезе вторичных метаболитов.

Во время занятий могут проходить интерактивные обсуждения в чатах курса, что будет являться домашним заданием. Возможно выполнение патентного поиска в качестве самостоятельной задачи. Успешное выполнение всех заданий по курсу и выполнение контрольных срезов знаний дает преимущество на экзамене.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Билеты составляют из типовых вопросов курса:

1. Основные и дополнительные домены модуля поликетидсинтазы (PKS). Классификация PKS по механизму синтеза и по степени редукции метаболита. PKS-NRPS гибриды.
2. Биосинтетические кластеры генов. Кластеры «загадочных» и «сиротских» генов. «Майнинг» BGC. Подходы к открытию новых вторичных метаболитов.
3. Регуляция вторичного метаболизма в грибах. Путь-специфические регуляторы. Глобальные регуляторы.
4. История открытия антибиотиков. «Золотая Эра» антибиотиков. Резистентность и конец «Золотой Эры» антибиотиков. «Новая эра» антибиотиков.
5. Продуценты антибиотиков. Актиномицеты для продукции антибиотиков. Мицелиальные грибы для продукции антибиотиков.
6. Классификация антибиотиков по механизму действия. Основные классы антибиотиков и их продуценты. Пенициллины, цефалоспорины, тетрациклины, хинолоны /фторхинолоны, макролиды, аминогликозиды, грамицидины, полимиксины, амфениколы.
7. Платформы для получения высокоурожайной продукции биологически-активных вторичных метаболитов в микроорганизмах.
8. Принципы биосинтеза вторичных метаболитов у микроорганизмов. Первичные и вторичные метаболиты. Распространение вторичных метаболитов в природе. Экологическая роль вторичных метаболитов.

9. Инструментарий для изучения биологически-активных соединений, продуцируемых микроорганизмами. Микробиологический и молекулярно-биологический подходы для изучения натуральных продуктов. Определение биотехнологии. Предмет и задачи биотехнологии. «Цветной код» биотехнологии. Отрасли биотехнологии, связанные с продукцией лекарственных соединений.

10. Модельные микроорганизмы для изучения молекулярного контроля биосинтеза вторичных метаболитов.

Примеры билетов:

Билет №1

1. Платформы для получения высокоурожайной продукции биологически-активных вторичных метаболитов в микроорганизмах.

2. Принципы биосинтеза вторичных метаболитов у микроорганизмов. Первичные и вторичные метаболиты. Распространение вторичных метаболитов в природе. Экологическая роль вторичных метаболитов.

Билет №2

1. Основные и дополнительные домены модуля поликетидсинтазы (PKS). Классификация PKS по механизму синтеза и по степени редукции метаболита. PKS-NRPS гибриды.

2. Биосинтетические кластеры генов. Кластеры «загадочных» и «сиротских» генов. «Майнинг» BGC. Подходы к открытию новых вторичных метаболитов.

Критерии оценивания

Оценка отлично (10 баллов) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9 баллов) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8 баллов) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7 баллов) - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6 баллов) - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5 баллов) - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4 балла) - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3 балла) - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2 балла) - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1 балл) - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.