

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ІКБГІ НАН України,
академік НАН України



Микола КУЧУК

10 липня 2024 р.

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Загальна і прикладна фітоімунологія

для здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії

галузь знань 09 «Біологія»

спеціальність 091 «Біологія та біохімія»

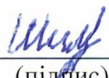
профілі підготовки

«Біотехнологія», «Цитологія, клітинна біологія, гістологія», «Радіобіологія»

Шифр за освітньо-науковою програмою – ВК 2.09

Робоча програма навчальної дисципліни «Загальна і прикладна фітоїмунологія» для здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія та біохімія» за профілями підготовки «Біотехнологія», «Цитологія, клітинна біологія, гістологія», «Радіобіологія».
9 липня 2024 року – 15 с.

Укладач програми:
Юлія ШИЛІНА,
с.н.с. лаб. імунітету рослин
відділу біофізики і радіобіології
ІКБГІ НАН України, к.б.н., с.н.с.


(підпис)

Робоча програма дисципліни «Загальна і прикладна фітоїмунологія» схвалена на засіданні вченої ради ІКБГІ НАН України (протокол № 7 від 9 липня 2024 року).

Робоча програма дисципліни «Загальна і прикладна фітоїмунологія» розглянута та схвалена на засіданні відділу біофізики та радіобіології ІКБГІ НАН України.

Завідувач відділу, д.б.н., с.н.с.


(підпис) Олександра КРАВЕЦЬ

8 липня 2024 року

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Загальна і прикладна фітоімунологія» є складовою освітньо-наукової програми підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія та біохімія» за профілями підготовки «Біотехнологія», «Цитологія, клітинна біологія, гістологія», «Радіобіологія» і є навчальною дисципліною за вибором аспірантів.

Викладається на II курсі аспірантури **в обсязі – 60 годин (2 кредити ECTS)** зокрема: лекції – 30 годин, семінари – 10 годин, самостійна робота – 20 годин. У курсі передбачено 2 змістових модулів. Дисципліна завершується диференційованим заліком.

Мета дисципліни – формування у аспірантів теоретичних фундаментальних знань щодо еволюційного формування механізмів імунітету рослин як складової системи гомеостазу, загальних принципів захисту від чужорідного, включаючи патогенів різних філогенетичних груп, та сучасних методологічних підходів до підвищення стійкості рослин до хвороб.

Завдання –

1. сформувати у аспірантів системні уявлення про інфекційний процес та імунні реакції рослинного організму як динамічну систему взаємодії мікроорганізму і організму-господаря;
2. навчити орієнтуватись в ієрархічній системі захисних механізмів рослин та їх зв'язків на різних рівнях організації організму;
3. опанувати блок прикладних досліджень, пов'язаних з діагностикою та захистом рослин, включаючи біоінженерні методи створення стійких форм рослин.

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен .

знати:

- основні механізми конститутивної та індукованої стійкості рослин до патогенів;
- загальні етапи формування імунної реакції у рослин та фактори стійкості рослин;
- принципи взаємодії рослинних клітин з імуномодуляторами патогенів.

вміти:

- підбирати та застосовувати оптимальні методи лабораторної діагностики фітопатогенів;
- підбирати та застосовувати оптимальні методи лабораторної оцінки стійкості рослин до патогенів;
- організовувати експериментальну роботу, ефективно формувати комунікаційну стратегію у групі, зрозуміло і недвозначно доносити знання, пояснення та власні висновки до фахівців та нефаківців, самостійно обирати методи вирішення певної дослідницької задачі.

володіти:

- навичками роботи з науковою літературою та сучасними інформаційними технологіями;
- навичками аргументованого ведення дискусії та комунікації в галузі біологічних наук і на межі предметних галузей;
- вміннями виконання роботи з дотриманням правил біологічної етики, біобезпеки, біозахисту.

Місце дисципліни.

Навчальна дисципліна «Загальна і прикладна фітоімунологія» є навчальною дисципліною за вибором аспірантів програми підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія» за профілями підготовки «Біотехнологія», «Цитологія, клітинна біологія, гістологія», «Радіобіологія». Дисципліна за вибором аспірантів висвітлює сучасні уявлення про взаємовідносини вищих рослин та фітопатогенів на базі синтезу традиційних і молекулярно-біологічних підходів з позицій еволюційного формування механізмів імунітету багатоклітинних організмів як складової системи гомеостазу, загальних принципів захисту від чужорідного, включаючи збудників захворювань різних філогенетичних груп, про інфекційний процес та імунні реакції рослинного організму, як одну із динамічних систем взаємодії мікроорганізму і організму-господаря, окреслює коло методів та прийомів досліджень захворювань, спричинених збудниками грибною, бактеріальною та вірусною етіології у рослин, та захисту рослин.

Зв'язок з іншими дисциплінами.

Навчальна дисципліна «Загальна і прикладна фітоімунологія» є дисципліною за вибором аспірантів для засвоєння знань та вмінь у системі професійної підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 Біологія за профілями підготовки «Радіобіологія», зокрема таких як «Радіаційна біофізика», «Іонізуючі випромінювання та вплив на живі організми», «Біологія стресів».

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Неспецифічні та специфічні механізми стійкості рослин до патогенів.

Тема 1. Розвиток уявлень про імунітет рослин в історичному аспекті. Феноменологія взаємовідносин рослин-господарів з патогенними мікроорганізмами та фітофагами (2 години)

Розвиток знань про імунітет тварин та рослин. Еволюція системи імунного захисту багатоклітинних організмів. Імунна система як складова надсистеми гомеостазу. Порівняльна імунологія. Типи імунітету. Систематика збудників захворювань у рослин і тварин, їх філогенетичні зв'язки

Тема 2. Типи стійкості рослин до збудників інфекційних захворювань. Генетичний підхід в дослідженні фітоімунітету (2 години)

Рівні імунного захисту багатоклітинних організмів. Категорії імунітету рослин. Горизонтальна та вертикальна стійкість рослин до фітопатогенів. Конститутивна (неспецифічна) та індукована (специфічна) стійкість рослин. Несумісна та сумісна взаємодія в системі „рослина-патоген”. Генетичний аналіз взаємин паразита і господаря.

Тема 3. Конститутивні неспецифічні механізми стійкості рослин до патогенів (2 години)

Фактори неспецифічної (конститутивної) стійкості рослин і тварин

Тема 4. Первинна імунна відповідь у рослин. Індуковані специфічні механізми захисту рослин від патогенів (12 годин)

Основні етапи розвитку імунної відповіді багатоклітинних організмів. Розпізнавання носіїв чужорідної генетичної інформації у рослин і тварин. Антигени та елісители. Типи еліситорів. Абіогенні елісители. Неспецифічні елісители. Ендогенні, рослинні або вторинні елісители, DAMP. Специфічні елісители, патоген/мікроб-асоційовані молекулярні патерни (PAMPs/MAMPs). Рецептор-лігандний тип взаємодії клітин рослини і патогена. Структура R-білків. Образрозпізнаючі рецептори природного імунітету рослин (PRR). Групи PRR у тварин і рослин. Toll-подібні рецептори рослин. Лектини як молекулярні фактори розпізнавальної ланки природного імунітету рослин. Інші типи PRR у рослин. Трансдукція сигналу в рослинних клітинах при розпізнаванні патогену. Сигнальні системи рослин. Аденілатциклазна сигнальна система. MAP-кіназна сигнальна система. Кальцієва сигнальна система. Фосфатидатна сигнальна система. Ліпоксиназна сигнальна система. НАДФН-оксидазна сигнальна система. NO-синтазна сигнальна система. Протонна сигнальна система. Взаємодія сигнальних систем. Взаємодія сигнальних систем зі стресовими фітогормонами. Протеїнкінази, значення реакції фосфорилування/дефосфорилування у формуванні захисних реакцій рослин. Фактори регуляції транскрипції захисних генів рослин. Імунні реакції у рослин. Реакція запалення у тварин та реакція надчутливості у рослин. Типи загибелі клітин у рослин. Некроз і апоптоз. Сигнальна система реакції надчутливості. Киснево-залежні та киснево-незалежні механізми інактивації патогенів у рослин. Біохімічні фактори імунної відповіді у рослин. Фітоалексини та їх класифікація. PR-білки, їх класифікація. Інгібітори ферментів. Індуковане зміцнення клітинних стінок рослин. Фенілпропаноїди, лігнін, калоза. Глікопротеїди, збагачені проліном. Стійкість рослин до вірусів. Механізми неспецифічної та специфічної стійкості рослин до вірусів.

Змістовий модуль 2. Принципи імуномодуляції у рослин

Тема 5. Системна набута стійкість та індукована системна стійкість рослин як феномен прояву вторинної імунної відповіді у рослин (4 години)

Поняття про вторинну імунну відповідь. Феноменологія індукованої стійкості рослин. Локальна та системна набута стійкість рослин. Системна

набута стійкість (SAR) та індукована системна стійкість рослин (ISR). Фактори системної стійкості. Сигнали SAR. Зв'язок імунної та гормональної систем у рослин. Фактори передачі сигналу при формуванні вторинної імунної відповіді у рослин. Саліцилова кислота та її похідні. Жасмонова кислота та її метиловий ефір. Системін. Етилен. Олігосахариди (олігогалактуроніди). Абсцизова кислота. Арахідонова кислота та ейкозаноїди. МікроРНК. Нехімічні сигнали (електричні сигнали) у рослин. Сенсibiliзація, праймінг у рослин. Молекулярні механізми праймінгу. Практичне значення праймінгу. Взаємовідносини рослин з їх мікрофлорою. Епіфітна та ендofітна мікрофлора. Мікробно-рослинні симбіози. Паразити в природних фітоценозах. Причини масових епіфітотій культурних рослин. Взаємодія рослин з мікроорганізмами, патогенними для тварин. Політрофи.

Тема 6. Фітоімуносупресія (4 години)

Подолання системи природного імунітету патогенами. Фактори імуносупресії фітопатогенів (супресори, патотоксини, ферменти, які деградуєть фітоалексини та ін.). Імуномодулятори патогенів. Нетоксичні супресори (імпедини). Патотоксини. Ферменти патогенів, які деградуєть антикімікробні сполуки рослин. Білки – інгібітори ферментів рослин-господарів, що беруть участь в патогенезі. Роль імуносупресії в патогенезі рослин. Вплив стресових факторів на фітоімунітет. Радіація та імунопатологія.

Тема 7. Прикладна фітоімунологія. Методи сучасної діагностики в фітоімунології. Методологічні підходи до захисту рослин від патогенів (4 години)

Методи молекулярної діагностики в фітоімунології. Принципи і методи захисту рослин від патогенів. Селекція стійких сортів. Хімічний захист. Шляхи конструювання стійких рослин методами клітинної і генної інженерії. Імунізація рослин.

**СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ, СЕМІНАРІВ,
ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ, САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

№ з/п	Назва	Кількість годин			
		лекції	семінари	практичні	робота самостійна
	Змістовий модуль 1 Неспецифічні та специфічні механізми стійкості рослин до патогенів				
1	Тема 1. Розвиток уявлень про імунітет рослин в історичному аспекті. Феноменологія взаємовідносин рослин-господарів з патогенними мікроорганізмами та фітофагами	2			2
2	Тема 2. Типи стійкості рослин до збудників інфекційних захворювань. Генетичний підхід в дослідженні фітоімунітету	2	2		4
3	Тема 3. Конститутивні неспецифічні механізми стійкості рослин до патогенів	2			
4	Тема 4. Первинна імунна відповідь у рослин. Індуковані специфічні механізми захисту рослин від патогенів	12	4		4
Разом за змістовим модулем 1		18	6		10
	Змістовий модуль 2 Принципи імуномодуляції у рослин				
5	Тема 5. Системна набута стійкість та індукована системна стійкість рослин як феномен прояву вторинної імунної відповіді у рослин	4	2		5
6	Тема 6. Фітоімуносупресія	4			
7	Тема 7. Прикладна фітоімунологів. Методи сучасної діагностики в фітоімунології. Методологічні підходи до захисту рослин від патогенів	4	2		5
Разом за змістовим модулем 2		12	4		10
ВСЬОГО		30	10		20

Загальний обсяг – **60** годин (**2 кредити ECTS**), у тому числі:

Лекцій – **30** годин

Семінари – **10** годин

Самостійна робота – **20** годин

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

НЕСПЕЦИФІЧНІ ТА СПЕЦИФІЧНІ МЕХАНІЗМИ СТІЙКОСТІ РОСЛИН ДО ПАТОГЕНІВ

ТЕМА 1. Розвиток уявлень про імунітет рослин в історичному аспекті. Феноменологія взаємовідносин рослин-господарів з патогенними мікроорганізмами та фітофагами (2 години)

Лекція 1. Розвиток знань про імунітет тварин та рослин. Еволюція системи імунного захисту багатоклітинних організмів. Імунна система як складова надсистеми гомеостазу. Порівняльна імунологія. Типи імунітету. Систематика збудників захворювань у рослин і тварин, їх філогенетичні зв'язки (2 години)

Завдання для самостійної роботи (2 години) Основні концепції в історії розвитку уявлень про фітоімунітет.

Рекомендована література: [1-6].

ТЕМА 2. Типи стійкості рослин до збудників інфекційних захворювань. Генетичний підхід в дослідженні фітоімунітету (2 години)

Лекція 2. Рівні імунного захисту багатоклітинних організмів. Категорії імунітету рослин. Горизонтальна та вертикальна стійкість рослин до фітопатогенів. Конститутивна (неспецифічна) та індукована (специфічна) стійкість рослин. Несумісна та сумісна взаємодія в системі „рослина-патоген”. Генетичний аналіз взаємин паразита і господаря. (2 години)

Завдання для самостійної роботи (4 години) Специфічні і неспецифічні фітопатогени. Некротрофні і біотрофні патогени. Особливості взаємодії некротрофних і біотрофних фітопатогенів з рослинними клітинами. Фактори патогенності некротрофних і біотрофних фітопатогенів.

Рекомендована література: [1, 4, 9].

Семінар 1. Молекулярні механізми адаптації та еволюції фітопатогенів.

Перебудови ядерного апарату грибів та їх роль в адаптації фітопатогенних грибів. Мутації, генетична рекомбінація, ампліфікація генів. Гетерокаріоз грибів, його роль в адаптації. Повтори ДНК як інструмент адаптації грибів. Роль неядерних генетичних елементів грибів в їх адаптації. Мітохондріальний геном, транспозони, плазмід. Рекомбінаційні перебудови геному бактерій, їх роль в адаптації. Повтори ДНК як інструмент адаптації бактерій. Плазмід та транспозони бактерій, їх роль в адаптації. «Острови патогенності» бактерій. Генетичні та епігенетичні механізми адаптації фітопатогенів.

ТЕМА 3. Конститутивні неспецифічні механізми стійкості рослин до патогенів (2 години)

Лекція 3. Фактори неспецифічної (конститутивної) стійкості рослин і тварин (2 години)

Рекомендована література: [1].

ТЕМА 4. Первинна імунна відповідь у рослин. Індуковані специфічні механізми захисту рослин від патогенів (12 годин)

Лекція 4. Основні етапи розвитку імунної відповіді багатоклітинних організмів. Розпізнавання носіїв чужорідної генетичної інформації у рослин і тварин. Антигени та елісители. Типи еліситорів. Абіогенні елісители. Неспецифічні елісители. Ендогенні, рослинні або вторинні елісители, DAMP. Специфічні елісители, патоген/мікроб-асоційовані молекулярні патерни (PAMPs/MAMPs) (2 години)

Рекомендована література: [1, 10].

Лекція 5. Рецептор-лігандний тип взаємодії клітин рослини і патогена. Структура R-білків. Образрозпізнаючі рецептори природного імунітету рослин (PRR). Групи PRR у тварин і рослин. Toll-подібні рецептори рослин. Лектини як молекулярні фактори розпізнавальної ланки природного імунітету рослин. Інші типи PRR у рослин (4 години)

Семінар 2. Образрозпізнаючі рецептори природного імунітету рослин (PRR). Структура PRR. Загальна схема будови PRR. Toll-подібні рецептори. Лектинові рецептори. Рецептори-сміттярі. NOD-подібні рецептори. CARD-хелікази.

Рекомендована література: [1, 11-16, 21].

Лекція 6. Трансдукція сигналу в рослинних клітинах при розпізнаванні патогену. Сигнальні системи рослин. Аденілатциклазна сигнальна система. MAP-кіназна сигнальна система. Кальцієва сигнальна система. Фосфатидатна сигнальна система. Ліпоксиназна сигнальна система. НАДФН-оксидазна сигнальна система. NO-синтазна сигнальна система. Протонна сигнальна система. Взаємодія сигнальних систем. Взаємодія сигнальних систем зі стресовими фітогормонами. Протеїнкінази, значення реакції фосфорилування/дефосфорилування у формуванні захисних реакцій рослин. Фактори регуляції транскрипції захисних генів рослин (2 години)

Семінар 3. Трансдукція сигналу в рослинних клітинах при формуванні імунної відповіді. Аденілатциклазна сигнальна система. MAP-кіназна сигнальна система. Кальцієва сигнальна система. Фосфатидатна сигнальна система. Ліпоксиназна сигнальна система. НАДФН-оксидазна сигнальна система. NO-синтазна сигнальна система.

Рекомендована література: [1, 7, 8].

Лекція 7. Імунні реакції у рослин. Реакція запалення у тварин та реакція надчутливості у рослин. Типи загибелі клітин у рослин. Некроз і апоптоз. Сигнальна система реакції надчутливості. Киснево-залежні та киснево-незалежні механізми інактивації патогенів у рослин (2 години)

Рекомендована література: [1, 17-20].

Лекція 8. Біохімічні фактори імунної відповіді у рослин. Фітоалексини та їх класифікація. PR-білки, їх класифікація. Інгібітори ферментів. Індуковане зміцнення клітинних стінок рослин. Фенілпропаноїди, лігнін, калоза. Глікопротеїди, збагачені проліном. Стійкість рослин до вірусів. Механізми неспецифічної та специфічної стійкості рослин до вірусів (2 години)

Завдання для самостійної роботи (4 години) Теорія «ген-на-ген» Флора. Антивірусні білки.

Рекомендована література: [1, 21].

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

ПРИНЦИПИ ІМУНОМОДУЛЯЦІЇ У РОСЛИН

ТЕМА 5. Системна набута стійкість та індукована системна стійкість рослин як феномен прояву вторинної імунної відповіді у рослин (4 години)

Лекція 9. Поняття про вторинну імунну відповідь. Феноменологія індукованої стійкості рослин. Локальна та системна набута стійкість рослин. Системна набута стійкість (SAR) та індукована системна стійкість рослин (ISR). Фактори системної стійкості. Сигнали SAR. Зв'язок імунної та гормональної систем у рослин. Фактори передачі сигналу при формуванні вторинної імунної відповіді у рослин. Саліцилова кислота та її похідні. Жасмонова кислота та її метиловий ефір. Системін. Етилен. Олігосахариди (олігогалактуроніди). Абсцизова кислота. Арахідонова кислота та ейкозаноїди. МікроРНК. Нехімічні сигнали (електричні сигнали) у рослин. Сенсibiliзація, праймінг у рослин. Молекулярні механізми праймінгу. Практичне значення праймінгу (2 години)

Рекомендована література: [1, 22-31].

Лекція 10. Взаємовідносини рослин з їх мікрофлорою. Епіфітна та ендofітна мікрофлора. Мікробно-рослинні симбіози. Паразити в природних фітоценозах. Причини масових епіфітотій культурних рослин. Взаємодія рослин з мікроорганізмами, патогенними для тварин. Політрофи (2 години)

Завдання для самостійної роботи (5 годин) Взаємодія імунної та гормональної систем у рослин. Захисна роль мікрофлори рослин. Застосування біопрепаратів в захисті рослин.

Рекомендована література: [1-4, 32].

ТЕМА 6. Фітоімуносупресія (4 години)

Лекція 11. Подолання системи природного імунітету патогенами. Фактори імуносупресії фітопатогенів (супресори, патотоксини, ферменти, які деградують фітоалексини та ін.). Імуномодулятори патогенів. Нетоксичні супресори

(імпедини). Патотоксини. Ферменти патогенів, які деградують антикімікробні сполуки рослин. Білки – інгібітори ферментів рослин-господарів, що беруть участь в патогенезі. Роль імуносупресії в патогенезі рослин (2 години)

Рекомендована література: [1, 34].

Лекція 12. Вплив стресових факторів на фітоімунітет. Радіація та імунопатологія (2 години)

Рекомендована література: [1, 2, 33].

ТЕМА 7. Прикладна фітоімунологія. Методи сучасної діагностики в фітоімунології. Методологічні підходи до захисту рослин від патогенів (4 години)

Лекція 13. Методи молекулярної діагностики в фітоімунології (2 години)

Рекомендована література: [1-4, 35].

Лекція 14. Принципи і методи захисту рослин від патогенів. Селекція стійких сортів. Хімічний захист. Шляхи конструювання стійких рослин методами клітинної і генної інженерії. Імунізація рослин (2 години)

Завдання для самостійної роботи (5 годин) Методи одержання трансгенних рослин, стійких до хвороб. Обмеження, які необхідно враховувати при комерційному використанні біоінженерних методів для одержання стійких рослин.

Семінар 4. Застосування еліситорів та інтермедіатів сигнальних систем клітин для створення препаратів, що підвищують стійкість рослин до патогенів. Поняття про сенсibilізацію або праймінг у рослин. Імунізація рослин. Елісители грибного та бактеріального походження, перспективні для створення на їх основі захисних препаратів. Особливості захисту рослин від вірусних хвороб. Медіатори захисних систем рослин, що пропонується використовувати для захисту рослин від патогенів. Органічні кислоти рослин, які можна вважати перспективними для розробки захисних препаратів. Комбінований захист рослин, його переваги порівняно з хімічним захистом рослин.

Рекомендована література: [1-4, 36, 37].

КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ І РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ ЗДОБУВАЧІ

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою. У змістовий модуль 1 входять теми 1-4, у змістовий модуль 2 – теми 5-7. Види контролю - поточний і підсумковий. Поточний контроль здійснюється під час проведення навчальних занять і має на меті регулярну перевірку засвоєння слухачами навчального матеріалу. Форми проведення поточного контролю під час

навчальних занять: усне опитування, тестовий контроль, самооцінювання, перевірка практичних навичок.

Оцінювання за формами поточного контролю:

Максимальна кількість балів	Змістовий модуль 1		Змістовий модуль 2		Залік	Підсумкова оцінка
	Поточний контроль	Тест 1	Поточний контроль	Тест 2		
	10	20	10	20		
Сума	30		30		40	100

Для аспірантів, які набрали за результатами поточного контролю у двох змістових модулях сумарно меншу кількість балів, ніж критичний мінімум **30** балів, проходження додаткового тестування є обов'язковим для допуску до заліку. Підсумковий контроль проводиться на останньому практичному занятті і складається із суми балів усіх змістових модулів. Загальна оцінка за вивчення курсу складається із суми оцінок, отриманих при підсумковому контролі, та оцінки, отриманої на заліку.

Шкала оцінювання академічної успішності аспіранта

Рівень досягнень (бали за освітню діяльність)	Оцінка ЄКТС/ ECTS	Оцінка за національною шкалою (National grade)	
		Іспит, диференційований залік	Залік
90 – 100	A	відмінно (excellent) відмінне виконання з незначною кількістю помилок	зараховано
82 – 89	B	дуже добре (very good) вище середніх стандартів, але з декількома помилками	
75 – 81	C	добре (good) в цілому змістовна і правильна робота з певною кількістю значних помилок	
66 – 74	D	задовільно (satisfactory) непогано, але за значною кількістю недоліків	
60 – 65	E	достатньо задовільно (sufficient) виконання відповідає мінімальним критеріям	
35 – 59	FX	незадовільно (fail) з можливістю повторного складання іспиту або заліку	не зараховано
1 – 34	F	незадовільно (fail) з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	

Методи навчання

Пояснювально-ілюстративні, частково-пошукові, проблемного викладання матеріалу, дослідницькі.

Технічні засоби навчання

Проектор мультимедійний; ноутбук.

Матеріальне забезпечення дисципліни

Аудиторії, лабораторні приміщення відділу біофізики та радіобіології.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Імунітет рослин / М.Д. Євтушенко, М.П. Лісовий, В.К. Пантелєєв, О.М. Слюсаренко. - К.: Колобіг, 2004. – 304 с.
2. Фітопатологія / І.Л. Марков, О.В. Башта, Д.Т. Гентош, В.А. Глим'язний, О.П. Дерменко, Є.П. Черненко; за ред. І.Л. Маркова. – Київ: Фенікс, 2015. – 455с.
3. Марютін Ф.М. Фітопатологія: навч. посібник / Ф.М. Марютін [та ін.]; ред. Ф.М. Марютін. – Х. : Еспада, 2008. – 552 с.
4. Пінчук Н.В., Вергелес П.М., Коваленко Т.М., Окрушко С.Є. М 25 Загальна фітопатологія: Навч. посіб. / За ред. Н.В. Пінчук: - Вінниця, 2018. – 272 с.
5. Sessa G. Molecular plant immunity. – Tel-Aviv: John Wiley & Sons, 2012 – 304 p.

Додаткова література

6. Jones J.D.G., Staskawicz B.J., Dangel J.L. The plant immune system: From discovery to deployment. // Cell. - 2024. - 187, 9. - P. 2095-2116. doi: 10.1016/j.cell.2024.03.045.
7. Dodds PN, Chen J, Outram MA. Pathogen perception and signaling in plant immunity // Plant Cell. - 2024. - 36, 5. - P. 1465-1481. doi: 10.1093/plcell/koae020.
8. Jian-Min Zhou, Yuelin Zhang. Plant Immunity: Danger Perception and Signaling // Cell. - 2020. – 181. - P. 978-989. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.04.028>
9. Dodds P.N. et al. Direct protein interaction underlies gene-for-gene specificity and coevolution of the flax resistance genes and flax rust avirulence genes. // Proc. Natl Acad. Sci. USA. – 2006. - 103, 8888–8893.
10. Hyong Woo Choi, Daniel F. Klessig. DAMPs, MAMPs, and NAMPs in plant innate immunity // BMC Plant Biology. – 2016. – 16. – P. 232. DOI 10.1186/s12870-016-0921-2
11. Taro Kawai, Shizuo Akira. The role of pattern-recognition receptors in innate immunity: update on Toll-like receptors // Nature Immunology. – 2010. – V. 11, N 5. - P. 373-384.

12. Dmitry Lapin, Oliver Johannndrees, Zhongshou Wu, Xin Li, Jane E. Parker. Molecular innovations in plant TIR-based immunity signaling // THE PLANT CELL. - 2022. - 34. - P. 1479–1496. <https://doi.org/10.1093/plcell/koac035>
13. Contreras MP, Lüdke D, Pai H, Toghani A, Kamoun S. NLR receptors in plant immunity: making sense of the alphabet soup // EMBO Rep. - 2023. - 4, 10. - e57495. doi: 10.15252/embr.202357495.
14. Lolle S, Stevens D, Coaker G. Plant NLR-triggered immunity: from receptor activation to downstream signaling // Curr Opin Immunol. - 2020. - 62. - P. 99-105. doi: 10.1016/j.coi.2019.12.007.
15. Saur I.M.L., Panstruga R., Schulze-Lefert P. NOD-like receptor-mediated plant immunity: from structure to cell death // Nat Rev Immunol. - 2021. - 21, 5. - P. 305-318. doi: 10.1038/s41577-020-00473-z.
16. Molina A., Jordá L., Torres M.Á., Martín-Dacal M., Berlanga D.J., Fernández-Calvo P., Gómez-Rubio E., Martín-Santamaría S. Plant cell wall-mediated disease resistance: Current understanding and future perspectives // Mol Plant. - 2024. - 17, 5. - P. 699-724. doi: 10.1016/j.molp.2024.04.003.
17. Balint-Kurti P. The plant hypersensitive response: concepts, control and consequences // Mol Plant Pathol. - 2019. - 20, 8. - P. 1163-1178. doi: 10.1111/mpp.12821.
18. Pitsili E, Phukan UJ, Coll NS. Cell Death in Plant Immunity // Cold Spring Harb Perspect Biol. - 2020. - 12, 6. - P. a036483. doi: 10.1101/cshperspect.a036483.
19. Roudaire T, Héloir MC, Wendehenne D, Zadoroznyj A, Dubrez L, Poinssot B. Cross Kingdom Immunity: The Role of Immune Receptors and Downstream Signaling in Animal and Plant Cell Death // Front Immunol. - 2021. - 11. - 612452. doi: 10.3389/fimmu.2020.612452. eCollection 2020.
20. Maekawa T., Kashkar H., Coll N.S. Dying in self-defence: a comparative overview of immunogenic cell death signalling in animals and plants // Cell Death Differ. - 2023. - 30, 2. - P. 258-268. doi: 10.1038/s41418-022-01060-6.
21. Mishra A, Behura A, Mawatwal S, Kumar A, Naik L, Mohanty SS, Manna D, Dokania P, Mishra A, Patra SK, Dhiman R. Structure-function and application of plant lectins in disease biology and immunity // Food Chem Toxicol. - 2019. - 134. - 110827. doi: 10.1016/j.fct.2019.110827.
22. Gao H, Guo M, Song J, Ma Y, Xu Z. Signals in systemic acquired resistance of plants against microbial pathogens // Mol Biol Rep. - 2021. - 48, 4. - P. 3747-3759. doi: 10.1007/s11033-021-06344-7.
23. Roychowdhury R, Mishra S, Anand G, Dalal D, Gupta R, Kumar A, Gupta R. Decoding the molecular mechanism underlying salicylic acid (SA)-mediated plant immunity: an integrated overview from its biosynthesis to the mode of action // Physiol Plant. - 2024. - 176, 3. - e14399. doi: 10.1111/ppl.14399.
24. Spoel SH, Dong X. Salicylic acid in plant immunity and beyond // Plant Cell. 2024 May 1;36(5):1451-1464. doi: 10.1093/plcell/koad329.
25. Zhai Q., Li C.J. The plant mediator complex and its role in jasmonate signaling // Exp Bot. - 2019. - 70, 13. - P. 3415-3424. doi: 10.1093/jxb/erz233.
26. Wang J, Wu D, Wang Y, Xie D. Jasmonate action in plant defense against

insects // J Exp Bot. - 2019. - 70, 13. - P. 3391-3400. doi: 10.1093/jxb/erz174.

27. Song L., Fang Y., Chen L., Wang J., Chen X. Role of non-coding RNAs in plant immunity // Plant Commun. - 2021. - 2, 3. - P. 100180. doi: 10.1016/j.xplc.2021.100180.

28. Huang CY, Wang H, Hu P, Hamby R, Jin H. Small RNAs - Big Players in Plant-Microbe Interactions // Cell Host Microbe. - 2019. - 26, 2. - P. 173-182. doi: 10.1016/j.chom.2019.07.021.

29. Sun T., Zhang Y. Short- and long-distance signaling in plant defense // Plant J. - 2021. - 105, 2. - P. 505-517. doi: 10.1111/tpj.15068.

30. Sharrock J, Sun J.C. Innate immunological memory: from plants to animals // Curr Opin Immunol. - 2020. - 62. - P. 69-78. doi: 10.1016/j.coi.2019.12.001.

31. Mina Sadeghi, Maziar Divangah. Discovering adaptive features of innate immune memory // Immunol Rev. - 2024. - 323, 1. - P. 186-196. doi: 10.1111/imr.13328

32. Fitzpatrick C.R., Salas-Gonzalez I., Conway J.M., Finkel O.M., Gilbert S., Russ D., Teixeira P.J.P.L., Dangl J.L. The Plant Microbiome: From Ecology to Reductionism and Beyond. // Annu Rev Microbiol. - 2020. - 74. - P. 81-100. doi: 10.1146/annurev-micro-022620-014327.

33. Saijo Y., Loo E.P. Plant immunity in signal integration between biotic and abiotic stress responses // New Phytol. - 2020. - 225, 1. - P. 87-104. doi: 10.1111/nph.15989.

34. Nomura K. et al. A bacterial virulence protein suppresses host innate immunity to cause plant disease. // Science. - 2006. - 313. - P. 220-223 doi: 10.1126/science.1129523

35. Marc Venbrux, Sam Crauwels, Hans Rediers. Current and emerging trends in techniques for plant pathogen detection // Front Plant Sci. - 2023. - 14. - 1120968. doi: 10.3389/fpls.2023.1120968

36. Wang JY, Doudna JA. CRISPR technology: A decade of genome editing is only the beginning.// Science. - 2023. - 379, 6629. - eadd8643. doi: 10.1126/science.add8643.

37. Shakeel Ahmad, Xiangjin Wei, Zhonghua Sheng, Peisong Hu, Shaoqing Tang. CRISPR/Cas9 for development of disease resistance in plants: recent progress, limitations and future prospects // Brief Funct Genomics. - 2020. - 19, 1. - P. 26-39. doi: 10.1093/bfpg/elz041