

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут клітинної біології та генетичної інженерії

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ІКБГІ НАН України,
академік НАН України



Микола КУЧУК

10 липня 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Функціональна біохімія рослин

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 2.11

КИЇВ – 2024

Робоча програма навчальної дисципліни «Функціональна біохімія рослин» 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 – 19 стор.

Укладач програми:

Ірина ЖУК,

зав. лабораторії імунітету рослин

відділу біофізики і радіобіології ІКБГІ НАН України,

к.б.н.



(підпис)

Робоча програма дисципліни «Функціональна біохімія рослин» схвалена на засіданні вченої ради ІКБГІ НАН України (протокол № 7 від 9 липня 2024 року).

Робоча програма дисципліни «Функціональна біохімія рослин» розглянута та схвалена на засіданні відділу біофізики і радіобіології ІКБГІ НАН України.

Завідувач відділу д.б.н.



(підпис)

Олександра КРАВЕЦЬ

8 липня 2024 р.

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Функціональна біохімія рослин» 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 дисципліною за вибором аспірантів.

Викладається на II курсі аспірантури **в обсязі – 60 годин (2 кредити ECTS)** зокрема: лекції – 34 годин, семінари – 6 годин; самостійна робота – 20 годин. Передбачено 3 змістових модулі. Дисципліна завершується диференційованим заліком.

Мета дисципліни – отримання базових знань щодо понять функціональної біохімії рослин та розуміння рослинних метаболічних взаємозв'язків, ознайомлення з основними класами хімічних сполук, які присутні в рослинах та беруть участь в обміні речовин, проведення аналізу особливостей рослинних організмів як середовища для перебігу біохімічних реакцій за різних умов (оптимальні умови на різних етапах онтогенезу рослин, вплив біотичних та абіотичних стресових чинників, захисні метаболічні реакції рослин та функціонування сигнальних мереж при адаптації та здійсненні стратегій виживання за патологічних процесів).

Завдання –

1. дати уявлення про поняття, історію розвитку, місце в системі біологічних наук;
2. познайомити аспірантів з основними напрямками та сучасним станом функціональної біохімії рослин в Україні та світі;
3. сформувати у аспірантів системні уявлення про функціонування рослинного метаболізму за різних умов середовища;
4. навчити використанню досягнень сучасної функціональної біохімії рослин при плануванні й виконанні досліджень рослин;
5. поглибити розуміння ролі біохімічних чинників у догляді за рослинами та отриманні рослинної продукції різного призначення (фармацевтичного, сільськогосподарського, декоративного), збереженні рослинного біорізноманіття.

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

знати: основні поняття та напрями функціональної біохімії рослин; біохімічну організацію структури рослинного організму; біохімічні стратегії адаптації рослин;

вміти: характеризувати сучасний стан біохімічних досліджень в світі та Україні; аналізувати перебіг біохімічних реакцій в рослинах; наводити приклади біохімічних чинників та їхнього впливу на рослини; проводити інформаційний пошук та самостійно вивчати наукову літературу; аналізувати та інтерпретувати опубліковані результати;

володіти: навичками самостійної роботи з науковою літературою, пошуку та аналізу інформації

Місце дисципліни

Навчальна дисципліна «Функціональна біохімія рослин» є дисципліною за вибором аспірантів 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». Дисципліна висвітлює актуальні питання функціональної біохімії та адаптації рослин.

Зв'язок з іншими дисциплінами.

Навчальна дисципліна «Функціональна біохімія рослин» є дисципліною за вибором аспірантів) для засвоєння знань та вмінь у системі професійної підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 Біологія та біохімія і безпосередньо пов'язана з такими навчальними дисциплінами, як «Біологія стресів», «Фізіологічні і біохімічні основи метаболічної інженерії», «Лікарські рослини в біотехнологічних дослідженнях», «Загальна і прикладна фітоімунологія».

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Вступ. Біохімічні сполуки рослин. Біохімічні процеси та компартменти рослинної клітини як середовище для їх перебігу.

Тема 1. Вступ. Історія і сучасність функціональної біохімії рослин. Вклад українських вчених. Базові поняття функціональної біохімії рослин. (2 год)

Тема 2. Неорганічні сполуки, присутні в рослинах. Макро-та мікроелементи. Водний режим рослин (2 год).

Тема 3. Основні класи органічних сполук, присутні в рослинах. Вуглеводи. Білки. Ліпіди. (2 год).

Тема 4. Речовини вторинного походження. Органічні кислоти. Фенольні сполуки. Глікозиди. Терпени і терпеноїди. Алкалоїди. (2 год)

Тема 5. Термодинаміка і каталіз біохімічних реакцій в рослинах. Ферменти. Біохімічна організація структури рослинного організму. (2 год)

Змістовий модуль 2. Фотосинтез і фотодихання. Ключові метаболічні цикли рослин.

Тема 6. Фотосинтез: біохімізм та енергетика. Особливості C3 – та C4 – шляхів фотосинтезу. САМ-рослини. Продуктивність фотосинтезу та перспективи інтенсифікації. (4 год)

Тема 7. Дихання. Баланс газообміну у різних видів рослин. (2 год)

Тема 8. Метаболони. Процеси біосинтезу. (4 год)

Змістовий модуль 3. Біохімічні стратегії адаптації рослин.

Тема 9. Системи регуляції у рослин. Способи передачі сигналу та рівні сприйняття. (4 год)

Тема 10. Зовнішні фактори як чинники зміни перебігу метаболічних процесів у рослині. (2 год)

Тема 11. Біохімічні механізми адаптивних реакцій у рослин (4 год)

Тема 12. Епігенетичні механізми адаптивних реакцій у рослин (4 год)

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

№ з/п	Назва	Кількість годин			
		лекції	семінари	практичні	самостійна робота
	Змістовий модуль 1				
	Вступ. Біохімічні сполуки рослин. Біохімічні процеси та компартменти рослинної клітини як середовище для їх перебігу.				
1	Тема 1. Вступ. Історія і сучасність функціональної біохімії рослин. Вклад українських вчених. Базові поняття функціональної біохімії рослин.	2			1
2	Тема 2. Неорганічні сполуки, присутні в рослинах. Макро-та мікроелементи. Водний режим рослин.	2			1
3	Тема 3. Основні класи органічних сполук, присутні в рослинах. Вуглеводи. Білки. Ліпіди.	2			1
4	Тема 4. Речовини вторинного походження. Органічні кислоти. Фенольні сполуки. Глікозиди. Терпени і терпеноїди. Алкалоїди.	2			1
5	Тема 5. Термодинаміка і каталіз біохімічних реакцій в рослинах. Ферменти. Біохімічна організація структури рослинного організму.	2			2
	Семінарське заняття за темами 1-5		2		
Разом за змістовим модулем 1		10	2		6
	Змістовий модуль 2				
	Фотосинтез і фотодихання. Ключові метаболічні цикли рослин.				
6	Тема 6. Фотосинтез: біохімізм та енергетика. Особливості C3 – та C4 – шляхів фотосинтезу. САМ-рослини. Продуктивність фотосинтезу та перспективи інтенсифікації.	4			2
7	Тема 7. Дихання. Баланс газообміну у різних видів рослин.	2			2
8	Тема 8. Метаболони. Процеси біосинтезу.	4			2
	Семінарське заняття за темами 6-8		2		
Разом за змістовим модулем 2		10	2		6
ВСЬОГО					
	Змістовий модуль 3				
	Біохімічні стратегії адаптації рослин.				
9	Тема 9. Системи регуляції у рослин. Способи передачі сигналу та рівні сприйняття.	4			2
10	Тема 10. Зовнішні фактори як чинники зміни перебігу метаболічних процесів у рослині.	2			2
11	Тема 11. Біохімічні механізми адаптивних реакцій у рослин	4			2

12	Тема 12. Епігенетичні механізми адаптивних реакцій рослин	4			2
	Семінарське заняття за темами 9-12		2		
Разом за змістовим модулем 3		14	2		8
ЗАГАЛОМ		60			

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

Біохімічні сполуки рослин. Біохімічні процеси та компартменти рослинної клітини як середовище для їх перебігу.

ТЕМА 1. Вступ. Історія і сучасність функціональної біохімії рослин. Вклад українських вчених. Базові поняття функціональної біохімії рослин.

Лекція 1. Вступ. Історія і сучасність функціональної біохімії рослин. Вклад українських вчених. Базові поняття функціональної біохімії рослин. (2 години)
Історія функціональної біохімії рослин, аспекти розвитку та роль українських вчених. Предмет і завдання функціональної біохімії рослин. Напрями сучасних досліджень. Специфічні властивості рослин у біохімічних дослідженнях. Рослина як система структур і функцій. Рівні структурної (клітина – тканина – орган - цілісний організм) та функціональної (фотосинтез, дихання, мінеральне живлення, водний обмін, стійкість, ріст і розвиток) організації рослинного організму.

Завдання для самостійної роботи (1 год)

Робота з конспектом. Питання для самостійної роботи.

1. Значення біохімії рослин в практичній діяльності людини.
2. Опрацювання додаткових матеріалів про персоналії українських вчених.
3. Рівні організації рослин й основні типи тканин.

Рекомендована література: [6, 9, 21]

Тема 2. Неорганічні сполуки, присутні в рослинах. Макро-та мікроелементи. Водний режим рослин.

Лекція 2. Неорганічні сполуки, присутні в рослинах. Макро-та мікроелементи. Водний режим рослин.

Транспорт води по рослині: трансвакулярний; апопластний, симпластний шляхи; ближній і дальній транспорт. Пересування води по судинах, сили когезії та адгезії в безперервному потоці води по рослині. Механізми взаємодії верхнього (транспірації) і нижнього (кореневого тиску) кінцевих двигунів. Градієнт водного потенціалу як рушійна сила надходження і пересування води в системі «грунт-рослина-атмосфера». Неорганічні сполуки як частина метаболізму рослин. Біогенні, абіогенні. Органогенні елементи, мікро-, макроелементи. Зольні, замінні й незамінні. Мікроелементи. Фізіологічна роль заліза, міді, марганцю, молібдену, цинку, бору та ін. Metали як компоненти простетичних груп і як активатори ферментних систем. Участь мікроелементів

у формуванні і функціонуванні електрон-транспортних ланцюгів фотосинтезу та дихання, у ростових процесах, в азотному і вуглеводному обміні. Засвоєння елементів живлення рослинами у різні періоди вегетації. Рослинна клітина як осмотична система. Аквапорини. Кореневий тиск і транспірація. Водний обмін у різних екогруп.

Завдання для самостійної роботи (1 год)

Робота з конспектом. Питання для самостійної роботи.

1. Симптоми дефіциту неорганічних елементів у рослин.
2. Рослини-індикатори.
3. Методи визначення вмісту неорганічних сполук в рослинах.

Рекомендована література: [4, 5, 7, 9, 17]

Тема 3. Основні класи органічних сполук, присутні в рослинах. Вуглеводи. Білки. Ліпіди.

Лекція 3. Органічні сполуки в рослинах.

Органічні полімери в рослинах. Класифікація вуглеводів. Будова, властивості моносахаридів та основні похідні, присутні в рослинах. Представники ди-, три-, тетра- і пентасхаридів, їх синтез і розпад. Функції та специфіка обміну моносахаридів у рослин. Олігосахариди, їх синтез і перетворення. Утворення вуглеводів при фотосинтезі. Утворення геміцелюлоз і пектинів. Синтез, розпад і перетворення вуглеводів у рослині. Гомо- і гетерополісахариди, їх значення у життєдіяльності рослин, вміст у різних органах, особливості біосинтезу і розпаду. Запасні та структурні полісахариди рослин. Характеристика каллози, ліхеніну, альгінової кислоти, камедей і слизів.

Структура, амінокислотний склад та функції білків у рослинах. Вміст білків в різних органах і тканинах рослин. Вплив умов вирощування рослин на кількісний і якісний склад білків.

Роль та будова ліпідів у рослин: характеристика, особливості біосинтезу і розпаду. Вплив ліпідних складових на структуру та функцію рослинних мембран. Біосинтез кутину і рослинних восків. Властивості кислот жирного ряду. Характеристика рослинних олій (ацилгліцеролів). Особливості ліпідного складу запасних олій. Основні константи рослинних олій. Взаємозв'язок між ліпідним і вуглеводним обмінами рослин

Завдання для самостійної роботи (1 год)

1. Специфіка обміну моносахаридів у рослин.
2. Особливості синтезу і перетворення олігосахаридів у рослинному організмі
3. Шляхи і локалізація біосинтезу амінокислот у рослинах, транспорт амінокислот.
4. Структура, властивості та функціональна роль лектинів (фітогемаглютининів).

Рекомендована література: [1,2, 4,6, 9, 10, 12, 17, 18]

Тема 4. Речовини вторинного походження.

Лекція 4. Органічні кислоти. Фенольні сполуки. Глікозиди. Терпени і терпеноїди. Алкалоїди. (2 год)

Класифікація органічних кислот. Роль органічних кислот у рослин. Характеристика найбільш розповсюджених органічних кислот. Перетворення ди- і трикарбонових кислот у рослинах. Роль органічних кислот в процесі фотосинтезу С3-, С4- рослин та рослин з САМ типом метаболізму. Принципи класифікації алкалоїдів, характеристика їх окремих представників. Біологічні функції алкалоїдів у рослині. Характеристика і роль алкалоїдів у рослинах. Справжні алкалоїди. Протоалкалоїди. Псевдоалкалоїди. Особливості біосинтезу. Біосинтетичні попередники N-гетероциклу алкалоїдів. Локалізація алкалоїдів у рослинах. Значення алкалоїдів у медицині, харчовій промисловості і сільському господарстві Властивості і значення фенольних сполук у життєдіяльності рослин.

Розповсюдження у рослинному світі та шляхи біосинтезу фенольних сполук. Класифікація фенольних сполук. Прості фенольні сполуки. Основні групи флавоноїдних сполук. Халкони і дегідрохалкони, їх властивості і значення. Полімерні фенольні сполуки, їх будова, властивості, розповсюдження у рослинному світі, шляхи біосинтезу. Будова, властивості, розповсюдження дубильних речовин у рослинному світі. Їх значення в практичній діяльності людини Природа і поширення глікозидів в рослинах. Роль рослинних глікозидів в житті рослин. Природа і поширення глікозидів в рослинному світі. Соланіни. Синігрин. Амігдалін. Роль рослинних глікозидів в житті рослин. Використання глікозидів в практичній діяльності людини. Роль глікозидів в захисних реакціях рослин. Локалізація і функції терпенів у рослинах. Терпени, їх основні групи. Класифікація терпенів (гемі-, моно-, сескві-, ди-, сестер-, три-, тетра-, політерпени). Найбільш розповсюджені представники аліфатичних і циклічних терпенів. Біосинтез терпеноїдів. Ефірні олії і смоли, їх характеристика, локалізація і функції в рослинах. Поліізопрени – каучук, гута, їх будова і промислове значення. Накопичення і функції вітамінів в рослинах. Вміст жиророзчинних і водорозчинних вітамінів в рослинних продуктах. Їхня будова, властивості і функції в рослинах. Рослинні вітаміни з антиоксидантними властивостями. Регулювання синтезу вторинних метаболітів рослин. Шляхи біосинтезу основних класів вторинних метаболітів рослин.

Шляхи біосинтезу основних класів вторинних метаболітів рослин. Попередники біосинтезу вторинних метаболітів. Ензимологія синтезу вторинних метаболітів. Основні ферменти біосинтезу алкалоїдів, ізопреноїдів, фенольних сполук, їх характеристика. Модифікації вторинних метаболітів (глікозилювання, гідроксилювання, метилювання). Мінливість біохімічного складу рослин під дією умов зовнішнього середовища Дублювання шляхів синтезу вторинних метаболітів. Можливості регулювання і нагромадження практично важливих речовин у рослинах. Мінливість біохімічного складу

рослин під дією умов зовнішнього середовища. Синтез вторинних метаболітів *in vitro*.

Завдання для самостійної роботи (1 год)

Робота з конспектом. Питання.

1. Тропанові алкалоїди. Будова, поширення і використання нікотину, анабазину, лобеліну і рициніну.
2. Властивості рослинних меланінів, їх порівняння з тваринними.
3. Способи одержання ефірних олій.
4. Будова, властивості серцевих глікозидів і їх вплив на людський організм.
5. Утворення і знешкодження ціаногенних глікозидів.
6. Особливості будови і використання кофеїну.
7. Ерголінові алкалоїди. Будова, властивості і застосування.

Рекомендована література: [8, 9, 17, 18]

Тема 5. Термодинаміка і каталіз біохімічних реакцій в рослинах. Ферменти. Біохімічна організація структури рослинного організму. (2 год)

Лекція 5. Ферментативний каталіз і термодинаміка біохімічних реакцій у рослин. (2 год)

Закони термодинаміки і потенціали. Рослина як відкрита термодинамічна система. Баланс ентропії в рослинах. Умови перебігу біохімічних реакцій у рослин. Класифікація і будова ферментів. Локалізація ферментів. Кінетика ферментативного каталізу. Взаємодія та взаємообумовленість у функціонуванні структур та фізіолого-біохімічних процесів як комплементарної системи регуляції життєдіяльності рослин.

Завдання для самостійної роботи (2 год)

1. Методи визначення активності ферментів.
2. Навести приклади порушень роботи ферментів у рослин.
3. Збудливість рослинних клітин.
4. Рухи рослин.

Рекомендована література: [9, 12, 13]

Семінар 1. Біохімічні сполуки рослин. Біохімічні процеси та компартменти рослинної клітини як середовище для їх перебігу. Теми 1 - 5. (2 год)

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

Фотосинтез і фотодихання. Ключові метаболічні цикли рослин.

Тема 6. Особливості C3 – та C4 – шляхів фотосинтезу. САМ-рослини. Продуктивність фотосинтезу та перспективи інтенсифікації. (4 год)

Лекція 6. Фотосинтез: біохімізм та енергетика. (2 год)

Листок як орган фотосинтезу. Особливості будови тканин листка для здійснення фотосинтезу. Енергетичний баланс листка. Фотосинтетичні пігменти. Антенні комплекси і міграція енергії в пігментних системах. Розподіл

зарядів у фотосистемах. Ефект Емерсона. Склад фотосистем I, II і комплексу цитохромів b6/f. Фотоліз води і транспорт електронів (Z-схема). Фази фотосинтезу. Процеси світлової фази фотосинтезу. Світлова крива фотосинтезу. Компенсаційна точка. Залежність фотосинтезу від спектрального складу світла. Залежність фотосинтезу від концентрації CO₂, залежність фотосинтезу від концентрації O₂, ефект Варбурга. Залежність фотосинтезу від температури, температурна крива фотосинтезу. Вплив оводненості тканин, умов мінерального живлення на фотосинтез. Денний хід фотосинтезу. Вплив внутрішніх факторів (генетичних і онтогенетичних) на фотосинтез. Процеси темної фази фотосинтезу. Роль фотосинтезу в процесах енергетичного й пластичного обміну рослин. Просторова організація процесів фотосинтезу. Еволюція структури фотосинтетичного апарату. Продуктивність фотосинтезу. Біосферна роль.

Завдання для самостійної роботи (2 год)

Робота з конспектом. Питання.

1. Характеристика фікобіліпротейнів. Хроматична комплементарна адаптація.
2. Характеристика каротиноїдів. Хімічна будова, класифікація, представники та функції у фотосинтетичних процесах. Віолосантинний цикл.

Рекомендована література: [8, 9, 17, 18]

Лекція 7. Особливості C3 – та C4 – шляхів фотосинтезу. САМ-рослини. (2 год)

Історія досліджень. Порівняння C3 та C4 рослин. Анатомічні відмінності. Світлові криві у світлолюбних та тіньлюбних рослин, у C-3 і C-4 рослин.. Цикл Хетча-Слека – C-4-шлях фіксації CO₂. Структурна організація циклу. Кранц-анатомія листка. Різні метаболічні шляхи кооперативного фотосинтезу. САМ-тип метаболізму. Представники САМ-рослин. Адаптивне значення C-4 і САМ-типу фіксації CO₂ для рослин. Гліколатний цикл - C-2 шлях фотосинтезу або фотодихання. Роль РБФК як оксигенази. Основні фази циклу. Просторова організація циклу – взаємодія трьох органел: хлоропласт – пероксисома – мітохондрія. Баланс між C-2 і C-3 шляхами фотосинтезу.

Завдання для самостійної роботи (2 год)

Робота з конспектом. Питання.

1. Методи визначення продуктивності фотосинтезу.
2. Методи оцінки стану фотосинтетичних органів рослин.

Рекомендована література [6, 7, 9, 21, 22]

Тема 7. Дихання. Баланс газообміну у різних видів рослин. (2 год)

Лекція 8. Дихання. Баланс газообміну у різних видів рослин. (2 год)

Фізіологічне значення фотодихання. Взаємозв'язок фотосинтезу і процесів засвоєння азоту. Первинні продукти фотосинтезу, їх перетворення, розподіл та запасання. Загальна характеристика дихання та його значення. Пластична і енергетична роль. Клітинне дихання. Історія розвитку уявлень про клітинне

дихання рослин. Типи окислювально-відновних реакцій. Типи ферментів дихання. Теорія «дихальних хромогенів» В.І. Палладіна. Гліколіз (дихотомічне окислювання глюкози). Функції гліколізу в клітині. Бродіння. Взаємозв'язок гліколізу і бродіння. Цикл ди- та трикарбонових кислот (цикл Кребса). Гліюксилатний цикл. Пентозофосфатний окислювальний цикл (пентозний шунт, апотомічне окислювання глюкози). Функція ПФЦ. Взаємозв'язок різних шляхів дисиміляції глюкози. Синтез АТФ у процесі окисного фотофосфорилування. Цианідрезистентне дихання рослин. Немітохондріальні електрон-транспортні ланцюги рослинної клітини. Показники, що характеризують дихання. Дихальний коефіцієнт. Ефект Пастера. Екологічні аспекти дихання. Залежність дихання від концентрації CO_2 , концентрації O_2 , водного режиму, умов мінерального живлення, дії світла, механічного стресу та інших факторів. Онтогенетичні зміни дихання. Клімактеричний підйом дихання.

Завдання для самостійної роботи (2 год)

Робота з конспектом. Питання.

1. Порівняння процесів фотосинтезу та дихання.
2. Зв'язок між аеробним та анаеробним диханням.
3. Зв'язок між диханням і процесами біосинтезу.

Рекомендована література [14, 15]

Тема 8. Метаболони. Процеси біосинтезу. (4 год)

Лекція 9. Метаболони.

Визначення поняття метаболонів. Історія розвитку концепції метаболонів. Загальні принципи організації метаболонів. Моделі метаболонів. Метаболічні шляхи, в яких формуються метаболони. Факти, що підтверджують метаболони. Регулювання метаболону як надмолекулярного комплексу ензимів.

Завдання для самостійної роботи.

Робота з конспектом. Питання.

1. Структурно-функціональна організація метаболону ферментів циклу трикарбонових кислот.
2. Методи дослідження метаболому рослин.
3. Метаболічний профіль і метаболом.

Рекомендована література [9, 13]

Лекція 10. Біосинтез в метаболічних циклах рослин.

Субстрати для біосинтезу у рослин, джерела їх отримання. Основні біосинтетичні потреби рослин залежно від умов існування. Регуляція біосинтетичних процесів у рослин. Метаболічні шляхи, що ведуть до господарськи цінних продуктів у рослин. Симбіотична азотфіксація. Амін-альдегідна конденсація. Неканонічне окиснення амінокислот. Каскади формування С-С зв'язків.

Завдання для самостійної роботи (2 год)

Робота з конспектом. Питання.

1. Трансфер груп під час процесів біосинтезу.
- 2.

2. Методи дослідження біосинтезу у рослин.

3. Перспективи досліджень біосинтезу в Україні та світі, актуальні питання та напрями.

Рекомендована література [1, 2, 4, 9, 10]

Семінар 2. Фотосинтез і фотодихання. Ключові метаболічні цикли рослин.

Теми 6- 8. (2 год)

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3

Біохімічні стратегії адаптації рослин.

Тема 9. Системи регуляції у рослин. Способи передачі сигналу та рівні сприйняття. (4 год)

Лекція 11. Системи регуляції у рослин.

Гормональна регуляція. Фітогормони й біологічно активні речовини. Класифікація. Історія досліджень й концепції. Ауксини, гібереліни, цитокініни, етилен, абсцизова кислота. Брасиностероїди. Жасмонова і саліцилова кислота.

Шляхи синтезу фітогормонів. Регуляція росту і розвитку рослин в онтогенезі. Роль фітогормонів у міжклітинних зв'язках рослин. Рецептор-подібні серин/треонінові кінази (рецептори брасиностероїдів та пептидних гормонів). Структура, механізм сприйняття та трансдукції фітогормонального сигналу.

Гістидин-кінази та двокомпонентні сигнальні системи. Структура гістидин-кіназ та регуляторів відповіді. Ядерні рецептори. Рецептори стероїдних гормонів. Значення шаперонів у функціонуванні ядерних рецепторів. Участь протеїнкіназ та фосфопротеїнфосфатаз у трансдукції гормональних сигналів. Сигнальні системи деяких рослинних гормонів. Рецепція ауксину та внутрішньоклітинна передача ауксинового сигналу. Роль убіквітинових лігаз у регуляції експресії ауксин-залежних генів. Регулятори транскрипції ARF і Аук/ІАА. Механізм дії цитокініну. Двокомпонентна сигнальна система, регулятори відповіді та їхні типи, цитокінін-залежні гени. Активація клітинного поділу. Взаємодія сигнальної системи цитокініну з фітохромною регуляторною системою. Трансдукція гіберелінового сигналу. Трансдукція сигналу АБК. Фосфоліпази та вторинні посередники в системі трансдукції сигналу АБК. АБК-залежні гени. Значення АБК в закриванні проростків. Сприйняття та трансдукція етиленового сигналу. Рецепція та трансдукція брасиностероїдного сигналу. Вплив фотоперіоду. Фотоморфогенетичні реакції. Активація фітохромів. Фототропізм та циркадні ритми. Типи світлових рецепторів. УФ-рецептори, фототропіни, криптохроми, цитохроми. Циркадні ритми та можливості їх модифікацій. Інтеграція світлових та гормональних шляхів сигналізації, вплив на ріст та розвиток рослин.

Завдання для самостійної роботи.

Робота з конспектом. Питання.

1. Синтетичні регулятори росту рослин.

- 2.Штучна регуляція фотоперіоду й процесів вегетації та оптична стимуляція продукції рослин у виробництві.
- 3.Регуляція росту і розвитку рослин *in vitro*.
- Рекомендована література [19, 20]

Лекція 12. Передача сигналів у рослин.

Рослинна клітина як саморегульована система. Компоненти сигнальної системи Типи сигнальних механізмів. Рецепція сигналу. Рецептори з ферментативною активністю. Рецептори, що входять до системи убіквітинування. Рецептори, асоційовані з G-білками. Трансдукція сигналу. Шляхи трансдукції внутрішньоклітинних сигналів. Геномна відповідь. Транскрипційні фактори. Сигнальні молекули. Активні форми кисню та їх участь в сигналінгу рослин. Шляхи утворення та властивості АФК. Сигнальна роль АФК під час росту і морфогенезу. Сигнальна роль АФК під час біотичного стресу, у запрограмованій смерті клітин і гіперчутливості. Оксид азоту NO та вплив на рослини. NO-синтаза та нітрат-редуктаза. цАМФ як вторинний месенджер. Шляхи взаємодії сигнальних систем (crosstalk): антагонізм, адитивний ефект, синергізм. Сприйняття зовнішніх сигналів. Фосфоліпази, їх типи та класифікація. Йони Ca^{2+} у системі трансдукції сигналу. Розподіл кальцію всередині та поза клітиною. Значення активного транспортування у підтриманні внутрішньоклітинного кальцію. Ca^{2+} -АТФази РМ-типу та ER-типів. Потенціал-залежні та рецептор-залежні Ca^{2+} -канали. Рецептор ІФЗ. Ca^{2+} -зв'язуючі білки. EF-мотив. Кальмодулін.

Завдання для самостійної роботи (2 год)

Робота з конспектом. Питання.

- 1.Пролін як маркер реакцій рослин.
2. Ефект посилення в сигнальних системах рослин.

Рекомендована література

Тема 10. Зовнішні фактори як чинники зміни перебігу метаболічних процесів у рослині. (2 год)

Лекція 13. Абіотичні та біотичні фактори впливу на рослини.(2 год)

Зовнішні фактори як чинники зміни рівня перебігу регуляторних процесів у рослині. Класифікація факторів впливу. Фізичні й хімічні фактори. Виділення речовин кореневою системою рослин як фактор впливу рослинами на середовище ґрунту.. Механізми виділення і види спеціалізованих секреторних структур. Алелопатія. Мінеральне живлення – фактор продуктивності рослин і якості врожаю. Фізіологічні основи застосування добрив. Затоплення і гіпоксія. Імунітет рослин. Класифікація збудників хвороб рослин. Поранення рослин. Наслідки військових дій як комбінація факторів впливу на рослини.

Завдання для самостійної роботи (2 год)

Робота з конспектом. Питання.

1. Методи визначення стійкості рослин.
 2. Дослідження факторів впливу на рослин в лабораторних умовах.
- Рекомендована література[7, 9, 21]

Тема 11. Біохімічні механізми адаптивних реакцій у рослин (4 год)

Лекція 14. Біохімічні механізми адаптації до абіотичних факторів.(2 год)

Специфіка стресової реакції рослин. Реакція-відповідь рослин на стрес (зміна експресії генів, включення синтезу стресових білків, перебудова мембранних систем, синтез протекторних речовин). Біохімія адаптаційного процесу. Каскадні реакції неспецифічного адаптаційного процесу: перекисне окислення ліпідів, синтез сумісних осмолітів, синтез БТШ та ін. Механізми, стратегії та види адаптацій рослин. Посухостійкість рослин. Види посухи: атмосферна і ґрунтова. Еволюційні адаптації рослин-ксерофітів до водного дефіциту. Фізіологічні адаптації мезофітів до посухи. Екстремальні температури і рослини. Дія високих температур і жаростійкість рослин. Термінові адаптації рослин. Білки теплового шоку (БТШ): особливості синтезу, групи, функції молекулярних шаперонів. Дія низьких позитивних температур (холодостійкість), негативних температур (морозостійкість) і ґрунтово-кліматичних факторів (зимостійкість). Загартовування рослин. Солестійкість рослин. Галофіти, їхня класифікація і механізми еволюційних адаптацій до засолення ґрунтів. Рослини в умовах гіпоксії і аноксії. Вищі рослини і ультрафіолетова радіація. Забруднення шкідливими газами. Токсичність їхньої дії на рослини. Формування стійкості до газів (регулювання їх надходження, підтримка внутрішньоклітинного гомеостазу, детоксикація отрут, що утворюються). Особливості забруднення важкими металами, токсичність для вищих рослин. Формування стійкості до важких металів – клітинні та молекулярні механізми. Радіаційна стійкість рослин і її механізми.

Завдання для самостійної роботи (2 год)

Робота з конспектом. Питання.

1. Теорії стресу.
2. Етапи адаптації рослин.
3. Методи детоксикації ґрунту при забрудненні.
4. Методи діагностики рослин й оцінки стану рослин при дії абіотичних факторів.

Рекомендована література: [5, 7,9, 10, 16, 20]

Лекція 15. Біохімічні механізми адаптації до біотичних факторів (2 год)

Механізми регуляції процесів життєдіяльності на різних структурних і функціональних рівнях організації рослинного організму: генетичні, гормональні, трофічні, ензиматичні, електрофізіологічні, донорно акцепторні. Комунікативні системи рослин та їхня роль в формуванні захисту від патогенів. Участь жасмонової та саліцилової кислот. Леткі форми сигнальних молекул. Малі РНК як мобільні сигнальні молекули. Системін у індукції

захисних реакцій рослин. Механізми індукції неспецифічного імунітету рослин. Біотичні еліситори.

Завдання для самостійної роботи (2 год)

Робота з конспектом. Питання.

1. Методи діагностики патогенів й оцінка стану рослин.
2. Захист рослин від патогенів і його профілактика.
3. Біохімічний вплив засобів захисту рослин при боротьбі з патогенами.

Рекомендована література: [9, 15, 21, 22]

Тема 12. Епігенетичні механізми адаптивних реакцій у рослин (4 год)

Лекція 16. Епігенетичні адаптивні реакції при абіотичних стресах у рослин. (2 год)

Епігенетичні модифікації. Метилування. Поліморфізм метилування ДНК у видів природної флори та сільськогосподарських рослин. Метилування ДНК і мовчання генів протягом онтогенезу рослин. Ацетилювання. Епігенетична регуляція генної експресії. Епігенетичний контроль праймування насіння. Епігенетичний поліморфізм і екологічна пластичність. Радіостійкість і епігенетичний вплив. Протеом та епігенетичний компонент адаптації. Роль епігенетичних механізмів у трансгенераційному успадкуванні змін стійкості.

Завдання для самостійної роботи (2 год)

Робота з конспектом. Питання.

1. Епігенетичний компонент адаптації при УФ-В опроміненні.
2. Епігенетика та еволюційна теорія.
3. Методи роботи з ДНК для виявлення епігенетичних варіацій.

Рекомендована література [9, 16].

Лекція 17. Епігенетичні механізми адаптації при біотичних стресах у рослин (2 год)

Епігенетичні механізми в імунітеті рослин. Зміни щільності хроматину, некодуюча РНК. Посттрансляційні модифікації гістонів. Стрес-індукований мобілом. Епігенетичні модифікації ДНК та неспецифічний імунітет рослин. Трансгенераційна передача стійкості до захворювань у рослин. Епігенетичний каталіз диверсифікації генів стійкості.

Завдання для самостійної роботи (2 год)

Робота з конспектом. Питання.

1. Епігенетичні механізми в селекції та розмноженні рослин.
2. Еволюційні наслідки епігенетичних механізмів в імунітеті рослин.

Рекомендована література [9, 16]

Семінар 3. Біохімічні стратегії адаптації рослин. Теми 9- 12. (2 год)

**КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ І РОЗПОДІЛ БАЛІВ, ЯКІ ОТРИМУЮТЬ
ЗДОБУВАЧІ**

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою. У змістовий

модуль 1 входять теми 1 - 5, у змістовий модуль 2 – теми 6 - 8, у змістовий модуль 3 - теми 9 - 12. 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:

	Змістовий модуль 1		Змістовий модуль 2		Змістовий модуль 3		Залік	Підсумкова оцінка
Максимальна кількість балів	Поточний контроль	Тест 1	Поточний контроль	Тест 2	Поточний контроль	Тест 3		
	10	10	10	10	10	10	40	100
Сума	20		20		20		40	100

Для аспірантів, які набрали за результатами контролю у двох змістових модулях сумарно меншу кількість балів, ніж критичний мінімум (30) балів, проходження додаткового тестування є обов'язковим для допуску до заліку. Загальна оцінка за вивчення курсу складається із суми оцінок, отриманих при поточному 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	не зараховано

		або заліку	
1 – 34	F	незадовільно (fail) з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	

Методи навчання Пояснювально-ілюстративні, частково-пошукові, дослідницькі.

Технічні засоби навчання Проектор мультимедійний; ноутбук.

Матеріальне забезпечення дисципліни Аудиторії, лабораторні приміщення відділу біофізики та радіобіології.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна література

1. Фізіологія та біохімія рослин: Комплекс навчально-методичних матеріалів / О. О. Авксентьева, В. В. Жмурко, Ю.Ю. Юхно, А. С. Щоголев. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2013. –96 с.
2. Голуб В. О., Голуб С.М., Єрмейчук Т. М. Фізіологія та біохімія рослин : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для студентів денної форми навчання спеціальності 205 "Лісове господарство" факультету біології та лісового господарства / Волинський національний університет імені Лесі Українки, факультет біології та лісового господарства, кафедра ботаніки і методики викладання природничих наук. Луцьк : Сіті-Друк, 2022. 45с.....
3. Джамеєв В. Ю. Механізм рецепції та внутрішньоклітинного сигналіngu: [навч. посіб.] / В. Ю. Джамеєв. – Х.: ХНУ ім В.Н. Каразіна, 2018. – 207 с. Іншина Н. М. Молекулярна біологія клітини рослин: [навчальний посібник]. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2015. 168 с.
4. Кобилецька М. С. Біохімія рослин: [навч. посіб.] / М. С. Кобилецька, О. І. Терек. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2017. – 269 с.
5. Колупасєв Ю. Є. Основи фізіології стійкості рослин. Курс лекцій. Х. Міськдрук. 2010. 121 с.
6. Красильнікова Л. О. Біохімія рослин: [навчальний посібник] / Л. О. Красильнікова, О. О. Авксентьева, В. В. Жмурко. – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2014. 200 с.
7. Екологічна фізіологія рослин: [навчальний посібник] / В. Г. Скляр; за заг. ред. проф. Ю. А. Злобіна – Суми: ВТД «Університетська книга», 2015. 259 с.
8. Самойленко Т.Б. Основи метаболізму рослин [для аграрних вищих навчальних закладів] / Т.Б. Самойленко // Миколаїв: МДА, 2014. – 194 с.
9. Gleason F. Plant biochemistry: / F. Gleason, R. Chollet. – Garland: Jones and Bartlett publishers, 2011. – 249 p.

10. Біохімія рослин. Практикум: [навч. посіб.] / Л. І. Останчук та ін. – Київ: НУ імені Т. Г. Шевченка, 2021. – 193 с.
11. Коваленко О. А. Стрес та адаптація рослин: [навч. посіб.] / О. А. Коваленко. – Миколаїв: МНАУ, 2020. – 70 с.
12. Чечуй О.Ф. Біохімія рослин: [навч. посіб.] / О. Ф. Чечуй. – Харків: ХНАУ, 2021. – 204 с.
13. Чечуй О. Ф. Метаболізм мікротілець у рослинах: [навч.- метод. вид.] / О. Ф. Чечуй, Каліман П. А., Жмурко В. В. – Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. – 97 с.
14. Сяблук С. П. Асиміляція CO_2 в системі ґрунт-рослини: [навч.-метод. вид.] / С. П. Сяблук, О. Ф. Чечуй, М. М. Мирошніченко. – Харків: ННЦ «Агрохімії та ґрунтознавства» імені О. В. Соколовського, 2016. – 82 с.
15. Чечуй О. Ф. Біохімічні процеси в системі ґрунт-рослини: [метод. вказ. для слухачів спеціальності 201 агрономія] / О. Ф. Чечуй – Харків: ХНАУ імені В. В. Докучаєва, 2018. – 42 с.
16. Епігенетичні фактори адаптації рослин. Київ, «ФОП Палівода», 2018, 284 с

Додаткова література

17. Недуха О.М. Клітинна оболонка рослин і фактори середовища. – Київ: Альтерпрес, 2015. – 289 с.: табл. 23, іл. 84
18. Степанов С.С., Мокросноп В.М. Метаболічні процеси та цінні речовини водоростей. – Київ: Наукова Думка, 2021. – 245 с.
19. Фітогормональна система та структурно-функціональні особливості папоротеподібних (*Polypodiophyta*) / Головний редактор І.В. Косаківська. – Київ: Наш формат, 2019. – 250 с.
20. Гормональна система рослин за дії важких металів / І.В. Косаківська, В.А. Васюк, Л.В. Войтенко, М.М. Щербатюк. – Київ: Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного, 2022. – 176 с.
21. Я.П. Дідух. Рослинний світ України в аспекті кліматичних змін / Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного Національна академія наук України. Київ: Наукова думка, 2023. – 250 с.
22. Антоняк Г.Л., Панас Н.Є., Мамчур З.І., Жиліщич Ю.В. Біохімічна екологія. Навчальний посібник. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка (Серія «Біологічні студії»). – 2019. – 425 с.
23. A. Heredia, J. J. Benítez, Ana González Moreno, Eva Domínguez. Revisiting plant cuticle biophysics. New Phytologist, (2024) <https://doi.org/10.1111/nph.20009>
24. R. Malinowski, D. Singh, A. Kasprzewska, S. Blicharz, A. Basińska-Barczak Vascular tissue – boon or bane? How pathogens usurp long-distance transport in plants and the defence mechanisms deployed to counteract them New Phytologist, (2024) <https://doi.org/10.1111/nph.20030>
25. A. Bakery, S. Vraggalas, B. Shalha, H. Chauhan, M. Benhamed, S. Fragkostefanakis. Heat stress transcription factors as the central molecular rheostat to

optimize plant survival and recovery from heat stress.<https://doi.org/10.1111/nph.20017>

26.Roberta Croce, Elizabete Carmo-Silva, Young B Cho, Maria Ermakova, Jeremy Harbinson, Tracy Lawson, Alistair J McCormick, Krishna K Niyogi, Donald R Ort, Dhruv Patel-Tupper, Paolo Pesaresi, Christine Raines, Andreas P M Weber, Xin-Guang Zhu, Perspectives on improving photosynthesis to increase crop yield, *The Plant Cell*, 2024;, koae132, <https://doi.org/10.1093/plcell/koae132>

27.Klaas J van Wijk.Intra-chloroplast proteases: A holistic network view of chloroplast proteolysis. *The Plant Cell*, Volume 36, Issue 9, September 2024, Pages 3116–3130, <https://doi.org/10.1093/plcell/koae178>

28. Yanan Liu and others.Proteolysis in plant immunity *The Plant Cell*, Volume 36, Issue 9, September 2024, Pages 3099–3115, <https://doi.org/10.1093/plcell/koae142>

29.Srayan Ghosh and others Charting the evolutionary path of the SUMO modification system in plants reveals molecular hardwiring of development to stress adaptation *The Plant Cell*, Volume 36, Issue 9, September 2024, Pages 3131–3144, <https://doi.org/10.1093/plcell/koae192>

30. Karin Vogel and Erika Isono. Erasing marks: Functions of plant deubiquitylating enzymes in modulating the ubiquitin code *The Plant Cell*, Volume 36, Issue 9, September 2024, Pages 3057–3073, <https://doi.org/10.1093/plcell/koae129>

31. M. de Roij and others. Protein degradation in auxin response *The Plant Cell*, Volume 36, Issue 9, September 2024, Pages 3025–3035, <https://doi.org/10.1093/plcell/koae125>

32.Jose M Romero and others. CONSTANS, a HUB for all seasons: How photoperiod pervades plant physiology regulatory circuits *The Plant Cell*, Volume 36, Issue 6, June 2024, Pages 2086–2102, <https://doi.org/10.1093/plcell/koae090>

33.E. Gage, R. Jain, L. A. Terry, N. Falagán.Controlled atmosphere as cold chain support for extending postharvest life in cabbage, *Plant Physiology and Biochemistry*, Volume 216, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.109094>