НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Державна установа
«ІНСТИТУТ ХАРЧОВОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ ТА ГЕНОМІКИ
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор ДУ «ІХБГ НАН України»
академік НАН України
_____ Ярослав БЛЮМ
наказ № 22 від 22 травня 2026 р.

ПРОГРАМА
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР

для здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії
галузь знань Е Природничі науки, математика та статистика
спеціальність Е1 «Біологія та біохімія»

Шифр за ОНП - ВК 2.7.

КИЇВ – 2026

Робоча програма навчальної дисципліни **«Сучасні технології візуалізації біологічних структур»** для здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії галузь знань Е Природничі науки, математика та статистика за спеціальністю Е1 «Біологія та біохімія»
«22» травня 2026 року – 21 с.

Розробник:
Кравець О.А., д.б.н., с.н.с.

Робоча програма дисципліни «**Сучасні технології візуалізації біологічних структур»** схвалена на засіданні вченої ради ДУ «ІХБГ НАН України» (протокол № 8 від «21» травня 2026 року).

Робоча програма дисципліни «Сучасні технології візуалізації біологічних структур» розглянута на засіданні випускового відділу геноміки та молекулярної біотехнології ДУ «ІХБГ НАН України».

Завідувач відділу академік НАН України Ярослав БЛЮМ

20 травня 2026

© **Кравець О.А.**__, 2026 рік
© _____, 20___ рік
© _____, 20___ рік

ВСТУП

Навчальна дисципліна «**Сучасні технології візуалізації біологічних структур**» є складовою освітньо-наукової програми підготовки здобувачів вищої освіти галузі знань Е. Природничі науки, математика та статистика за спеціальністю Е1 «Біологія та біохімія»

Дана дисципліна є дисципліною за вибором аспіранта за ***спеціальністю*** Е1 Біологія та біохімія.

Викладається у 3 семестрі ІІ курсу аспірантури **в обсязі – 120 год.** ***(4 кредити ECTS)*** зокрема: *лекції – **20** год, практичні роботи – **20** год, самостійна робота – **80** год.* У курсі передбачено 4 *змістові модулі*. Завершується дисципліна **заліком.**

Мета дисципліни – засвоєння принципів сучасного розуміння основних проблем біології розвитку, системності світогляду, поняття онтогенезу і філогенезу. Метою практичного курсу є засвоєння принципів і методів проведення експерименту, його планування та обробки результатів, класичних та сучасних методів мікроскопії та їх застосування на практиці, стратегії вибору оптимального типу мікроскопії, розробки та використання швидких та зручних рослинних тест-систем, способів підготовки об’єктів та використання відповідної програми для обробки результатів. Здобувачі повинні оволодіти практичним інструментарієм наукових досліджень в галузі біології, набути наукові, дослідницькі та інноваційні компетентності через наукову складову програми; вміти комплексно застосовувати їх на практиці, розв’язувати комплексні завдання в процесі проведення дослідницько-інноваційної діяльності, оволодіти методологією наукової діяльності, проведення самостійного наукового дослідження, результати якого матимуть наукову новизну, теоретичне та практичне значення і можуть бути інтегрованими у світовий науковий простір.

Завдання:

1. Формування базових знань про організм як інтегральне ціле, що базується на міжрівневій взаємодії, регуляторних зв’язках та принципах самоорганізації, про онтогенез рослин, ріст, розвиток, чергування поколінь та ядерних фаз.
2. Засвоєння тем, що охоплюють проблеми онтогенезу рослин, архітектоніку та функції апікальних меристем рослин, репродуктивний етап онтогенезу Оволодіння концептуальними та методологічними знаннями з біології і на межі предметних галузей.
3. Відпрацювання та вдосконалення навичок для проведення наукового експерименту, його планування та обробки результатів з використанням сучасного інструментарію.
4. Вміти застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу.
5. Набуття вміння відбирати та використовувати зручні тест-системи для цитологічних та цитогенетичних досліджень, кількісно оцінювати вплив токсичних та мутагенних чинників на вегетативні та генеративні тканини рослин.

6. Оволодіння сучасними методами візуалізації біологічних структур, зокрема, сучасними прийомами флуоресцентної і конфокальної мікроскопії для візуалізації та дослідження клітинних структур: аналіз клітинних процесів і структур наживу, отримання тривимірного зображення об'єкта (3D-реконструкція), анімація та кількісний аналіз.

Програма навчальної дисципліни складається з **4 змістових модулів**:

1. Апікальні меристеми рослин як сенсорні і морфогенетичні центри рослин.
2. Критичні етапи онтогенезу та їхня роль для оцінки впливу стресових чинників.
3. Рослинні тест-системи в клітинній біології.
4. Сучасні методи візуалізації біологічних структур у дослідженні онтогенезу рослин.

В результаті вивчення навчальної дисципліни у здобувачів мають бути сформовані:

Інтегральна компетентність (ІК): Здатність розв'язувати комплексні проблеми в галузі біології у процесі проведення дослідницько-інноваційної діяльності, що передбачає глибоке переосмислення наявних та створення нових цілісних знань та професійної практики, оволодіння методологією наукової та науково-педагогічної діяльності, проведення самостійного наукового дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення і інтегруються у світовий науковий простір через публікації.

Загальні компетентності (ЗК):

ЗК01. Знати та розуміти предметну область та розуміти професійну діяльність:

- *основи онтогенезу рослин та рослинної клітини;*
- *структуру рослинної клітини та архітектуру твірних тканин;*
- *структуру та особливості розвитку генеративних органів та тканин;*
- *основні сучасні методи цитологічних досліджень;*
- *основні тест-системи, які можна застосовувати для проведення експериментів;*
- *методики обробки, фіксації, фарбування, мацерації тканин;*
- *методики приготування препаратів з пиляків для аналізу впливу стресових чинників довкілля;*
- *методики приготування та фотографування цитологічних препаратів з вегетативних та генеративних меристем.*

ЗК02. Бути здатним працювати в міжнародному контексті.

ЗК03. Бути здатним розробляти та управляти проектами.

ЗК04. Бути здатним мотивувати людей та рухатися вперед.

ЗК05. Бути здатним оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт.

ЗК06. Бути здатним працювати автономно та в колективі.

ЗК07. Здатність розуміти та застосовувати на практиці цінності, принципи і правила академічної доброчесності, дотримуватись принципу неприпустимості корупції.

Спеціальні (фахові, предметні) компетентності (СК):

СК01. Здатність аналізувати явища та процеси з точки зору фундаментальних загальнонаукових принципів і знань, адекватно застосовувати концептуальні та методологічні знання в галузі біології.

СК02. Здатність виявляти, формулювати та вирішувати проблеми дослідницького характеру в галузі біології, оцінювати та забезпечувати якість досліджень, зокрема, і міждисциплінарних.

СК03. Здатність критично аналізувати, оцінювати і синтезувати нові ідеї.

СК04. Здатність ініціювати, планувати і здійснювати комплексні оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які мають бути оприлюднені у наукових виданнях.

СК05. Здатність обирати методи та критерії оцінки досліджуваних феноменів та процесів в галузі біології відповідно до цілей та завдань наукового дослідження.

СК06. Здатність застосовувати сучасні інформаційні технології, бази даних, електронні ресурси, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності.

СК07. Здатність ініціювати, розробляти, реалізовувати комплексні інноваційні проєкти.

СК08. Здатність оприлюднювати результатів наукових досліджень в усній і письмовій формах відповідно до національних та міжнародних стандартів у академічній спільноті та суспільстві.

СК09. Здатність дотримуватись етичних принципів, академічної доброчесності та авторського права в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності.

СК10. Здатність сформувати системний науковий світогляд та загальнокультурний кругозір, навчатись упродовж життя.

СК11. Здатність використовувати закономірності та сучасні досягнення молекулярної генетики, клітинної біології, біотехнології у поєднанні з сучасним інструментарієм для дослідження біологічних систем та процесів.

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен:

РН01. Мати концептуальні та методологічні знання з біології і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні світових досягнень з відповідного напряму, отримання нових знань та/або здійснення інновацій

зокрема вміти:

- *виготовляти цитологічні тимчасові препарати з рослинних меристем із застосування різних типів мікроскопії;*
- *обирати оптимальні методики для обробки, фіксації, мацерації тканин та фарбування апікальних рослинних меристем;*
- *проводити цитогенетичний аналіз стану кореневої меристеми;*
- *виготовляти давлені препарати з тканин пиляка для аналізу мейозу, гаметогенезу, життєздатності пилку і фертильності пилку;*

- *виготовляти давлені препарати з пиляків для вивчення відхилень мейозу, мікроядерного тесту, відсотку нередукованих пилкових зерен;*
- *досліджувати пилкові трубки, що ростуть у тканинах маточки або у пилковій камері, шляхом фарбування флюорохромами;*
- *виокремлювати та аналізувати насіннєві зачатки, зародки та ендоспермальні плівки шляхом ферментативної мацерації;*
- *готувати розчини різних барвників, поживні та буферні розчини та ін.*
- *оволодіти методами флуоресцентної мікроскопії і конфокальної мікроскопії для візуалізації та дослідження клітинних структур, зокрема, аналізу клітинних процесів наживу, отримання тривимірного зображення об'єкта (3D-реконструкція), та кількісного аналізу*

РН02. Вільно презентувати та обговорювати результати досліджень, наукові та прикладні проблеми біології державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у наукових виданнях.

РН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати аналізу джерел літератури, експериментальних досліджень (опитувань, спостережень, експерименту) і математичного та/або комп'ютерного моделювання.

РН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у біології та дотичних міждисциплінарних напрямах.

РН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з біології та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасного інструментарію, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті всього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

РН06. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

РН08. Глибоко розуміти загальні принципи та методи біологічних наук, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері біології та у викладацькій практиці.

РН09. Знати міжнародну клітинно-біологічну термінологію; будову клітин, життєвий цикл, механізми регуляції фізіологічних процесів у клітинах; будову тканин та органів; вплив зовнішніх факторів довкілля на структуру та функції клітин, тканин, органів, систем органів та організм; доречність використання у клітинній біології та цитології комплексних методів мікроскопічного, електронно-мікроскопічного, авторадіографічного методів дослідження, світлової мікроскопії високої роздільної здатності, динамічної мікроскопії живих клітин, проточної цитометрії; основи сучасних методів культивування та практичного використання клітинних культур, тощо.

Місце дисципліни ***(****в структурно-логічній схемі підготовки фахівців відповідного напряму підготовки)*.

Навчальна дисципліна «Сучасні технології візуалізації біологічних структур» є дисципліною за вибором аспіранта з підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктор філософії галузь знань Е. Природничі науки, математика та статистика за спеціальністю Е1 «Біологія та біохімія»

У цій дисципліні рослини вивчаються на фізіологічному, клітинному і біохімічному рівнях. Методи та прийоми лабораторних досліджень можуть застосовуватись як у дослідженнях суміжних наук, так і в міждисциплінарних.

Методи навчання: пояснювально-ілюстративні і проблемного викладу (лекції) і частково-пошуковий та дослідницький (практикум).

Зв'язок з іншими дисциплінами.

Основою для вивчення навчальної дисципліни «Сучасні технології візуалізації біологічних структур» є обов'язкові дисципліни: «Методологія наукових досліджень», «Архітектура цито- та нуклеоскелету та морфогенез клітин», «Геномна інженерія та синтетична біологія», «Структурна та функціональна геноміка». Навчальна дисципліна «Сучасні технології візуалізації біологічних структур» є практично-орієнтованою для засвоєння знань та вмінь у системі професійної підготовки третього (освітньо-наукового) рівня з підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю Е1 «Біологія та біохімія».

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Апікальні меристеми як сенсорні і морфогенетичні центри рослин

Тема 1. Проблеми онтогенезу ***(12 год).***

Проблеми онтогенезу. Основні категорії онтогенезу. Особливості онтогенезу у рослин. Механізми реалізації програми онтогенезу. Морфогенез. Онтогенез як «морфогенетичний ландшафт» Уоддингтона. Періодизація індивідуального розвитку. Етапи онтогенез. Еволюція онтогенезу.

Тема 2. Апікальні меристеми рослин ***(18 год.)***

Будова, функції та походження кореневого апексу. Теорія гістогенів. Ініціалізація гістогенів. Дистальна і проксимальна меристеми. Архітектоніка кореневого апексу. Кореневий чохлик. Зона розтяжіння. Закладка бічних коренів. Позиційна інформація в морфогенезі кореня. Будова, функції та походження стеблового апекса. Зональність стеблового апекса. Апекс з листових примордіїв - динамічна та автономна система. Стовбурові клітини. Подібність і відмінності в структурі кореневих і стеблових апексів. Взаємодія між стебловим та кореневим апексами в процесі розвитку рослини. Гормональна регуляція розвитку. Особливості будови та функцій апікальних меристем. Вегетативні та генеративні меристеми. Мітоз і його патології.

Змістовий модуль 2. Критичні етапи онтогенезу для оцінки дії стресових чинників

ТЕМА 3. Репродуктивний етап онтогенезу ***(16 год)***

Внутрішні і зовнішні чинники, що визначають перехід рослин від вегетативного розвитку до генеративного. Індукція цвітіння. Термоіндукція (яровизація). Фотоперіодизм. Типи фотоперіодичною реакції. Цвітіння як багатоступінчастий процес. Евокація цвітіння і її регуляція. Флоральний морфогенез. Диференціація генеративного апекса. Флоральний морфогенез. Сучасні теорії індукції цвітіння. Природа флоральний стимулу. Гіпотези про бікомпонентну природу флорігену, про багатокомпонентний контроль цвітіння.

Способи розмноження: вегетативне, безстатеве (спорове), статеве та апоміктичне. Еволюція розмноження. Статеве розмноження, його походження і еволюція. Статевий диморфізм. Чергування поколінь і ядерних фаз. Редукція гаметофіту. Амфіміксис і апоміксис.

Тема 4. Мейоз ***(16 год.)*.**

Походження та еволюція мейозу. Генетичний контроль мейозу. Синаптонемальний комплекс та кросинговер. Репарація\рекомбінація ДНК - основа мейозу. Особливості, походження та значення мейозу в онтогенезі. Три «джерела» мейозу. Модельні об'єкти для дослідження молекулярних механізмів мейозу. Патології мейозу у гібридів, опромінених рослин, мутантів. Цитомиксис. Біологічне значення мейозу.

Змістовий модуль 3. Рослинні тест-системи в клітинній біології

Тема 5. Андроцей – чоловіча генеративна система покритонасінних ***(14 год.)***.

Розвиток та будова пиляка. Будова стінки пиляка, типи тапетума. Мікроспорогенез та розвиток пилку. Цитоміксис, його причин, наслідки та значення. Різні типи ЦЧС (чоловічої цитоплазматичної стерильності). Формування оболонки пилкового зерна. Будова екзини та інтини. Структура і функціональні особливості вегетативної і генеративної клітин. Сперміогенез. Пилок як тест-система. Життєздатність та фертильність пилкових зерен. Ацетокарміновий та йодний методи визначення фертильності.

Тема 6. Гінецей - жіноча генеративна система покритонасінних. Запилення та запліднення ***(16 год.)***.

Гінецей. Будова маточки і насіннєвого зачатку. Типи гінецею та плацентації. Будова і типи насіннєвих зачатків. Жіночий археспорій, його типи. Типи зародкових мішків. Формування та розвиток зародкового мішка Polygonum-типу Методи виділення насінних зачатків та зародкових мішків: мацерація за допомогою ферментів та кислот. Типи запилення. Проростання пилку та ріст ПТ. Будова органів розмноження. Походження та еволюція квітки. Запилення та запліднення.

Змістовий модуль 4. Сучасні методи візуалізації біологічних структур у дослідженні онтогенезу рослин.

Практикум. *Світлова і флуоресцентна мікроскопія* ***(14 год.).***

Застосування в біології. Будова і принципи роботи сучасного світлового мікроскопа. Схема принципу дії флуоресцентного мікроскопа. Методи мікроскопіювання. Барвники та антитіла, що використовуються в клітинній біології.

Практикум. Електронна і конфокальна мікроскопія ***(14 год.).***

Принципи і методи роботи. Отримання зображення клітинних структур і аналіз клітинних процесів, отримання тривимірного зображення об'єкта (3D-реконструкція), анімація та кількісний аналіз.

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

№ з/п	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	практичні	СРС
	Змістовий модуль 1 *Апікальні меристеми як сенсорні і морфогенетичні центри рослин*			
1	**Тема 1**. *Проблеми онтогенезу*	2	-	10
2	**Тема 2.** *Апікальні меристеми рослин*	4	4	10
	Разом за змістовим модулем 1	***6***	***4***	***20***
	Змістовий модуль 2. *Критичні етапи онтогенезу для оцінки дії стресових чинників*			
3	**Тема 3**. *Репродуктивний етап онтогенезу*	4	2	10
4	**Тема 4.** *Мейоз*	4	2	10
	Разом за змістовим модулем 2	***8***	***4***	***20***
	Змістовий модуль 3. *Рослинні тест-системи в клітинній біології*			
5	**Тема 5.** *Андроцей - чоловіча генеративна система покритонасінних*	2	2	10
6	**Тема 6.** *Гінецей - жіноча генеративна система покритонасінних. Запилення та запліднення*	4	2	10
	Разом за змістовим модулем 3	***6***	***4***	***20***
	Змістовий модуль 4 **Сучасні методи візуалізації біологічних структур у дослідженні онтогенезу рослин**			
7	**Практикум.** *Світлова і флуоресцентна мікроскопія.*	-	4	10
8	**Практикум.** *Електронна і конфокальна мікроскопія.*	-	4	10
	Разом за змістовим модулем 4	***-***	***8***	***20***
	ВСЬОГО	**20**	**20**	**80**

Загальний обсяг – ***120*** *год.**(4 кредити ECTS)**, у* тому числі:
Лекцій – ***20*** *год.*
Практичні заняття – ***20*** *год*
Самостійна робота – ***80*** *год.*

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1

Апікальні меристеми як сенсорні і морфогенетичні центри рослин

ТЕМА 1. *ПРОБЛЕМИ ОНТОГЕНЕЗУ* ***(12 год).***

Лекція 1. *ОСОБЛИВОСТІ ОНТОГЕНЕЗУ У РОСЛИН.* ***(2 год.)***

Завдання для самостійної роботи (10 год.)

Цитодиференціровка, дедиференціровка, тотипотентність рослинної клітини.
Механізми реалізації програми онтогенезу.
Морфогенез, його прояви: кореляції, полярність, "ефект положення", симетрія.
Життєвий цикл.
Періодизація індивідуального розвитку.
Ювенільний етап розвитку рослини.
Характерні риси ювенільності, її причини.
Етап розмноження
Етап старіння та його значення

Контрольні запитання та завдання

1. Предмет та основні категорії онтогенезу.
2. Механізми реалізації програми онтогенезу.
3. Цитодиференціація, дедиференціація, тотипотентність.
4. Особливості онтогенезу рослин.
5. «Морфогенетичний ландшафт» Уоддингтона.
6. Основні атрибути онтогенезу.
7. Періодизація індивідуального розвитку рослин.
8. Критичні етапи онтогенезу рослини.
9. Ембріональний етап онтогенезу.
10. Характерні риси ювенільності, її причини.
11. Етап розмноження.
12. Етап старіння та його значення

Рекомендована література:
[1, 6, 8,13,17-30]

Тема 2. *АПІКАЛЬНІ МЕРИСТЕМИ РОСЛИН* ***(18 год.)***

Лекція 2. *БУДОВА, ФУНКЦІЇ ТА ПОХОДЖЕННЯ КОРЕНЕВОГО АПЕКСУ* ***(2 год.)***

Практичне заняття 1 (2 год.)

1. *Дистальна і проксимальна меристеми.*
2. *Теорія гістогенів. Архітектоніка кореневого апексу.*
3. *Центр спокою.*

Завдання для самостійної роботи (5 год.)

Типи кореневої системи.

Типи АМК (апікальної меристеми кореня.
Стовбурові клітини кореня.
Кореневий чохлик.
Зона розтяжіння. Закладка бічних коренів.

Контрольні запитання та завдання

1. Типи кореневої системи.
2. Типи АМК. Відкритий і закритий типи меристеми.
3. Дистальна і проксимальна меристема.
4. Теорія гістогенів. Архітектоніка кореневого апексу.
5. Центр спокою.
6. Стовбурові клітини кореня.
7. Кореневий чохлик.
8. Зона розтяжіння. Закладка бічних коренів.

Рекомендована література:

[1, 6, 8, 13, 15, 19]

Лекція 3. *БУДОВА, ФУНКЦІЇ ТА ПОХОДЖЕННЯ СТЕБЛОВОГО АПЕКСА* ***(2 год.)***

Практичне заняття 2 (2 год)

1. *Апікальні меристеми - критичні тканини рослин.*
2. *Зональність стеблового апекса.*
3. *Апекс з листовими примордіями.*

Завдання для самостійної роботи (5 год.)

Взаємодія між стебловим та кореневим апексом в процесі онтогенезу.
Органогенний потенціал стеблового апексу.
Подібність і відмінності в структурі кореневих і стеблових апексів..
Етапи органогенезу стеблового апексу **.**

Контрольні запитання та завдання

1. Критичні тканини рослин.
2. Зональність стеблового апекса.
3. Апекс із листовими примордіями.
4. Взаємодія між стебловим та кореневим апексом в процесі розвитку рослини.
5. Подібність і відмінності в структурі кореневих і стеблових апексів.
6. Етапи органогенезу стеблового апексу.

Рекомендована література:

[1, 6, 8, 15, 17-20]

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2

Критичні етапи онтогенезу для оцінки дії стресових чинників

ТЕМА 3. *РЕПРОДУКТИВНИЙ ЕТАП ОНТОГЕНЕЗУ* ***(16 год.)***

Лекція 4. *ІНІЦІАЦІЯ ЦВІТІННЯ* ***(2 год.)***

Завдання для самостійної роботи (5 год.)

Цвітіння як багатоступінчастий процес.
Евокація цвітіння та її регуляція.
Сучасні теорії індукції цвітіння.
Природа флорального стимулу. Гіпотези щодо природи флорігену, (бікомпонентну та багатокомпонентну).

Контрольні запитання та завдання

1. Внутрішні і зовнішні чинники, що визначають перехід рослин до репродуктивного стану.
2. Індукція цвітіння. Термоіндукція (яровизація).
3. Фотоперіодизм. Типи фотоперіодичною реакції.
4. Цвітіння як багатоступінчастий процес.
5. Евокація цвітіння.
6. Флоральний морфогенез.
7. Сучасні теорії індукції цвітіння.
8. Природа флоральний стимулу.

Рекомендована література:

[1, 6, 7, 10-14, 15, 17, 18]

Лекція 5. *РОЗМНОЖЕННЯ РОСЛИН* ***(2 год.)***

Практичне заняття 3 (2 год)

1. *Будова репродуктивних органів вищих рослин.*
2. *Флоральний морфогенез на прикладі актиноморфних та зигоморфних квіток.*
3. *Приклади вегетативного, безстатевого (спорового), статевого та апоміктичного типів розмноження.*

Завдання для самостійної роботи (5 год.)

Вегетативне розмноження, клонування та його значення.
Апоміксис, основні типи та еволюційне значення.
Будова та еволюція репродуктивних органів покритонасінних, її основні закономірності.
Теорії походження та еволюція квітки.

Контрольні запитання та завдання

1. Будова репродуктивних органів вищих рослин.
2. Флоральний морфогенез на прикладі актиноморфних та зигоморфних квіток.
3. Вегетативне та безстатеве (спорове) розмноження
4. Статеве розмноження та його еволюційне значення.
5. Апоміктичне розмноження та його значення.
6. Основні типи апоміксису.

7. Будова та еволюція репродуктивних органів покритонасінних.
8. Основні закономірності еволюції гаметофіту.
9. Теорії походження та еволюція квітки.

Рекомендована література:
[1-3, 6, 7, 10-14, 15, 17-30]

Тема 4. *МЕЙОЗ* ***(16 год.).***

Лекції 6,7 *ПОХОДЖЕННЯ, ГЕНЕТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА ЕВОЛЮЦІЯ МЕЙОЗУ* ***(4 год.).***

Практичне заняття 4 (2 год.)
1. *Модельні об'єкти для дослідження мейозу (пиляки жита та традесканції).*
2. *Цитомиксис.*
3. *Методи аналізу порушень мейозу.*

Завдання для самостійної роботи (10 год.)
1. *Репарація/рекомбінація ДНК в профазі I.*
2. *Нормальний перебіг та патології мейозу (у гібридів, опромінених рослин, мутантів).*
3. *Типи мейозу та чергування ядерних фаз і поколінь.*
4. *Біологічне значення мейозу.*

Контрольні запитання та завдання
1. Фази мейозу, їх особливості. Відмінності мейозу від мітозу.
2. Репарація/рекомбінація ДНК в профазі1.
3. Походження та еволюція мейозу.
4. Генетичний контроль мейозу.
5. Типи мейозу та чергування ядерних фаз і поколінь.
6. Патології мейозу.
7. Біологічне значення мейозу

Рекомендована література:
[1-3, 6, 7, 16,18-21]

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3

Рослинні тест- системи в клітинній біології

Тема 5. *АНДРОЦЕЙ - ЧОЛОВІЧА ГЕНЕРАТИВНА СИСТЕМА ПОКРИТОНАСІННИХ* ***(14 год.)****.*
Лекція 8. *МІКРОСПОРОГЕНЕЗ ТА РОЗВИТОК ЧОЛОВІЧОГО ГАМЕТОФІТУ. ВПЛИВ СТРЕСОВИХ ФАКТОРІВ: ЦИТОМИКСИС, ПОРУШЕННЯ ТА СТЕРИЛЬНІСТЬ ПИЛКУ* ***(2 год)***

Практичне заняття 5 (2 год.)

1. *Виготовлення давлених препаратів для аналізу будови пиляка та його стінки.*
2. *Виготовлення давлених препаратів для дослідження мікроспорогенезу.*
3. *Виготовлення давлених препаратів для дослідження розвитку пилкового зерна та сперміогенезу.*
4. *Виготовлення давлених препаратів для дослідження цитоміксиса і порушень мікроспорогенезу.*
5. *Пилок як тест-система. Життєздатність та фертильність пилкових зерен. Ацетокарміновий та йодний методи визначення фертильності.*

Завдання для самостійної роботи (10 год.)

Будова та розвиток пиляка.
Типи розвитку стінки пиляка. Значення тапетума.
Типи чоловічого гаметофіту.
ЦЧС, її генетична основа.
Формування оболонки пилкового зерна. Будова екзини та інтини.
Структура і функціональні особливості вегетативної і генеративної клітин. Сперміогенез.

Контрольні запитання та завдання

1. Будова та розвиток пиляка.
2. Типи розвитку стінки пиляка.
3. Типи тапетума та його значення.
4. Типи ЦЧС, її генетична основа.
5. Мікроспорогенез.
6. Типи чоловічого гаметофіту.
7. ЦЧС, її генетична основа.
8. Структура і функціональні особливості вегетативної і генеративної клітин. Сперміогенез.
9. Структура оболонки пилкового зерна.
10. Методи визначення фертильності пилку.

Рекомендована література:

[1-4, 6,7, 10-11, 16-18, 21-30]

Тема 6. *ГІНЕЦЕЙ - ЖІНОЧА ГЕНЕРАТИВНА СИСТЕМА ПОКРИТОНАСІННИХ. ЗАПИЛЕННЯ ТА ЗАПЛІДНЕННЯ* ***(16 год.)***

Лекція 9. *ГІНЕЦЕЙ. БУДОВА МАТОЧКИ І НАСІННЄВОГО ЗАЧАТКУ. ТИПИ ГІНЕЦЕЮ ТА ПЛАЦЕНТАЦІЇ. БУДОВА І ТИПИ НАСІННЄВИХ ЗАЧАТКІВ. ЖІНОЧИЙ АРХЕСПОРІЙ, ЙОГО ТИПИ* ***(2 год.)****.*

Лекція 10. *ТИПИ ЗАРОДКОВОГО МІШКУ. ФОРМУВАННЯ ТА РОЗВИТОК ЗАРОДКОВОГО МІШКА POLYGONUM-ТИПУ. БУДОВА ОРГАНІВ РОЗМНОЖЕННЯ. ПОХОДЖЕННЯ ТА ЕВОЛЮЦІЯ КВІТКИ. ЗАПИЛЕННЯ ТА ЗАПЛІДНЕННЯ* ***(2 год.)****.*

Практичне заняття 6 (2 год.)

1. *Методи виділення насіннєвих зачатків та зародкових мішків: мацерація за допомогою ферментів та кислот*
2. *Будова насіннєвого зачатка.*
3. *Типи запилення та їх значення*

Завдання для самостійної роботи (10 год)

Типи гінецею та плацентації
Типи насіннєвого зачатка.
Типи запилення. Проростання пилку та ріст ПТ.
Класифікація типів жіночого гаметофіту.
Загальнобіологічне значення подвійного запліднення.

Контрольні запитання та завдання

1. Будова насіннєвого зачатка.
2. Типи гінецею та плацентації
3. Типи насіннєвого зачатка.
4. Класифікація типів жіночого гаметофіту.
5. Типи запилення та їх значення.
6. Запилення та запліднення
7. Загальнобіологічне значення подвійного запліднення.

Рекомендована література:

[3-4, 6, 7, 16-18]

Змістовий модуль 4

Сучасні методи візуалізації біологічних структур у дослідженні онтогенезу рослин

Практикум. *Світлова і флуоресцентна мікроскопія* ***(4 год.)***

Застосування в біології. Будова і принципи роботи сучасного світлового мікроскопа. Схема принципу дії флуоресцентного мікроскопа. Методи мікроскопіювання. Барвники та антитіла, що використовуються в клітинній біології.

Завдання для самостійної роботи (10 год)

Переваги і недоліки світлового і флуоресцентного мікроскопів.
Фазово-контрастна і темнопольна мікроскопія.
Біолюмінесце́нція.

Практикум. *Електронна і конфокальна мікроскопія* ***(4 год.)***

Принципи і методи роботи. Отримання зображення клітинних структур і аналіз клітинних процесів, отримання тривимірного зображення об'єкта (3D-реконструкція), анімація та кількісний аналіз.

Завдання для самостійної роботи (10 год)

Типи електронних мікроскопів.
Структура і експресія GFP генів.
Похідні GFP.

Рекомендована література:

[1,9, 19, 22-23]

Контроль знань і розподіл балів, які отримують здобувачі

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою.

У змістовий модуль 1 (ЗМ1) входять теми 1-2, у змістовий модуль 2 (ЗМ2) – теми 3-4, у змістовий модуль 3 (ЗМ3) – теми 5-6, у змістовий модуль 4 (ЗМ4) - практикуми.

Види контролю – поточний і підсумковий.

Поточний контроль здійснюється під час проведення навчальних занять і має на меті перевірку засвоєння аспірантами навчального матеріалу. Форма проведення поточного контролю під час навчальних занять: усне опитування, письмовий контроль, тестовий, самооцінювання, перевірка практичних навичок.

Обов'язковим для заліку є відпрацювання всіх практичних занять. У випадку відсутності аспіранта, він може відпрацювати пропущене заняття у позааудиторний час (пропущених занять не може бути більше половини від загальної кількості занять).

Оцінювання за формами поточного контролю: ***Коефіцієнт 2***

	ЗМ1		***ЗМ2***		***ЗМ3***		***ЗМ4***	
	Min. – 6 балів	*Max. – 10 балів*	*Min. – 6 балів*	*Max. – 10 балів*	*Min. – 6 балів*	*Max. – 10 балів*	*Min. – 12 балів*	*Max. – 20 балів*
Відповідь	*„3" x 2 = 6*	*„5" x 2 = 10*	*„3 x 2 = 6*	*„5" x 2 = 10*	*„3" x 2 = 6*	*„5" x 2 = 10*	*„3" x 4 = 12*	*„5" x 4 = 20*
„3/5" – мінімальна/максимальна оцінку, яку може отримати аспірант.								

Для аспірантів, які набрали сумарно меншу кількість балів ніж *критично-розрахунковий мінімум* ***60*** *балів*, для здачі заліку обов'язкове проходження додаткового тестування.

Підсумковий контроль проводиться на останньому практичному занятті і складається із суми балів усіх змістових модулів.

При простому розрахунку отримаємо:

	Змістовий модуль 1	Змістовий модуль 2	Змістовий модуль 3	Змістовий модуль 4	Залік (підсумкова оцінка)
Мінімум	12	12	12	24	60
Максимум	**20**	**20**	**20**	**40**	**100**

При цьому, кількість балів:

- **1-34** відповідає оцінці «незадовільно» з обов'язковим повторним вивченням дисципліни;
- **35-39** відповідає оцінці «незадовільно» з можливістю повторного складання;
- **40-60** відповідає оцінці «задовільно» («достатньо»);
- **61-69** відповідає оцінці «задовільно»;
- **70 - 80** відповідає оцінці «добре»;

- **81 - 89** відповідає оцінці «добре» («дуже добре»);
- **90 - 100** відповідає оцінці «відмінно».

Шкала оцінювання академічної успішності аспіранта

Рівень досягнень, % /Marks, (бали за освітнюдіяльність)	Оцінка ЄКТС/ECTS	Оцінка за національною шкалою (Nationalgrade)	Залік
90 – 100	**A**	**відмінно** (Excellent)	**зараховано**
82 – 89	**B**	**добре** (Good)	
74 – 81	**C**		
64 – 73	**D**	**задовільно** (Satisfactory)	
60 – 63	**E**		
35 – 59	**FX**	**незадовільно** (Fail) з можливістю повторного складання	**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 Epson EMP-S42, 2, рік введення в експлуатацію – 2004; ноутбук, екран, Zoom/Google Meet — сервіси для дистанційного навчання та онлайн консультацій.

Матеріальне забезпечення дисципліни

Аудиторії, обладнання відділу клітинної біології та біотехнології.

Політики навчальної дисципліни

Рекомендації щодо роботи на курсі: брати активну участь у всіх формах роботи на заняттях, присвячувати 1-2 год. щодня виконанню самостійної роботи та підготовці до занять, задавати питання під час занять, вчасно здавати завдання та виконувати усі форми контролю.

Відвідування занять. Відвідування лекцій та практичних занять є обов'язковим. При спізненні на лекцію або практичне заняття більше ніж на 5 хвилин здобувач(ка) освіти можете бути не допущений(на) до заняття. Пропущені заняття відпрацьовуються відповідно до Положення про організацію освітнього процесу в аспірантурі Державної установи «Інститут харчової біотехнології та геноміки Національної академії наук України» https://ifbg.org.ua/uk/293/normatyvno-pravove-ta-metodychne-zabezpechennya-navchannya-v-aspiranturi

Академічна доброчесність. В ДУ «ІХБГ НАН України» дотримуються принципу нетерпимості («нульової толерантності») до порушень академічної доброчесності та

етики академічних взаємовідносин. Будь-які порушення принципів академічної доброчесності тягнуть за собою відповідальність у встановленому в ДУ «ІХБГ НАН України» порядку https://ifbg.org.ua/uk/293/normatyvno-pravove-ta-metodychne-zabezpechennya-navchannya-v-aspiranturi

Використання електронних гаджетів та інструментів штучного інтелекту допускається лише з дозволу викладача.

Політика щодо осіб з особливими освітніми потребами. Здобувачі з особливими освітніми потребами мають зв'язатися з викладачем задля розробки індивідуальної освітньої траєкторії. Час відповіді викладача: 24 години.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Botanical microscopy. Ed. A.W. Robards, Oxford sci. publications, 1985. – 368 p.
2. Cai, X., Xu, S.S. Meiosis-driven genome variation in plants, *Curr. Genomics*, 2007, vol. 8, pp. 151–161.
3. Fuentes, I. Stegemann, S., Golczyk, H., Karcher, D., Bock, R. Horizontal genome transfer as an asexual path to the formation of new species, *Nature*, 2014, vol. 511, pp. 232–235. doi:10.1038/nature13291.
4. Pedro Gómez-Gálvez, Samira Anbari, Luis M. Escudero, Javier Buceta et al. Mechanics and self-organization in tissue development. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 2021, vol.120, pp. 147-159. https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2021.07.003.
5. Heidstra Renze, Sabrina Sabatin. Plant and animal stem cells: similar yet different -Nat Rev Mol Cell Biol. 2014 May;15(5):301-12. DOI: 10.1038/nrm3790
6. Joel Ryan, Abby R. Gerhold, Vincent BoudreauVincent Boudreau et al. Introduction to Modern Methods in Light Microscopy. 2017. Methods in molecular biology (Clifton, N.J.) 1563:1-15. DOI: 10.1007/978-1-4939-6810-7_1.In book: Light Microscopy.
7. Kordyum E.L.and Kravets H.A.. Evolutionary Patterns of the Internal Structures of Generative Organs in Angiosperm Plants. In book: Plant Reproductive Ecology - Recent Advances. IntechOpen, 2021, p. 26. DOI: 10.5772/intechopen.100593. ISBN:978-1-83969-493-6. Available from: https://www.intechopen.com/online-first/79346
8. Kravets O.A., Plohovskaya S.G., Horyunova I.I., Yemets A.I., Blume Ya.B. Origin of chromosomal polymorphism of microsporocytes in species of *Lilium* L.та *Allium* L: cytomixis, extra chromosomes, chromatin diminution. *Cytology and Genetics*, 2021, v. 55(2):.107–116. DOI: 10.3103/S0095452721020080.
9. Kravets E.A., Berezhnaya V.V., Sakada V.I., Rashydov N.M. and Grodzinsky D.M. Structural architectonics of the root apical meristem in connection with quantitative evaluation of its radiation damage**.** Cytology and Genetics, 2012, 46 (2):63-73. DOI: 10.3103/S0095452712020016.
10. Nathan S. Claxton, Thomas J. Fellers, and Michael W. Davidson. Laser scanning confocal microscopy. - UCC 1-35. https://www.ucc.ie › imagegallery › confocal gallery.
11. Olson J. Perspectives on structural molecular biology visualization: from past to present. J Mol Biol. 2018. 430(21): 3997–4012. doi: 0.1016/j.jmb.2018.07.009.
12. Rutishauser R. EvoDevo: Past and future of continuum and process plant morphology. Philosophies. 2020; 5:41. DOI:10.3390/philosophies5040041 1–38

13. Visualizing biological data-now and in the future. Sean O' DonoghueSean O' DonoghueAnne-Claude GavinAnne-Claude GavinNils et al. 2010. Nature Methods 7(3 Suppl):S2-4 DOI: 10.1038/nmeth.f.301.
14. Waddington, C. H. A Catastrophe Theory of Evolution. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1974. 231:32–42.
15. Wolf YuI, Koonin EV. Genome reduction as the dominant mode of evolution. Bioessays. 2013; 35:829–837. https://doi.org/10.1002/bies.201300037
16. Xu, F, *et al.* (2020) Three-dimensional nanoscopy of whole cells and tissues with in situ point spread function retrieval. *Nature Methods*. doi.org/10.1038/s41592-020-0816-x.
17. Zickler, D and Kleckner, N. Recombination, Pairing, and Synapsis of Homologs during Meiosis, Cold Spring Harb Perspect Biol, 2015. doi: 10.1101/cshperspect.a016626. Cold Spring Harb Perspect Biol 2015;7:a016626.
18. Bernier Georges, Andrée Havelange, Claude Houssa et al. Physiological Signals That Induce Flowering. The Plant Cell.Vol. 5, No. 10, Special Review Issue on Plant Reproduction. 1993. p. 1147-115. Published By: Oxford University Press. https://doi.org/10.2307/3869768.
19. Банникова В.П., Хведынич О.А. Основы эмбриологии растений. – К.: Наук. думка, 1982. – 164 с.
20. Блюм Я. Б., Я.А. Шеремет, Ю.А. Красиленко, А. І. Ємець. Конфокальна мікроскопія у центрі користування унікальними приладами при Інституті харчової біотехнології та геноміки НАНУ. Наука та інновації, Т. 5, № 2. - 2009. – С. 82-91.
21. Радіобіологічні ефекти хронічного опромінення рослин у зоні впливу Чорнобильської катастрофи / Гродзинский Д.М., Дмитрієв О.П., Гуща М.І., Коломієць О.Д., Кравець О.А. та ін.: [ред. Д.М. Гродзинський] – К.: Наукова думка, 2008. – 373 с. (с.191-227). ISBN: 978-966-00-0741-3.
22. Kravets E.A., Plokhovska S.G., Yemets A.I., Blume Y.B. UV-B Stress and plant sexual reproduction. In: UV-B Radiation and Crop Growth (Kataria S., Singh V.P., eds), 2023, Springer, Singapore., p. 293–317. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3620-3_14
23. LSM 510 and LSM 510 META. Laser Scanning Microscopes. Brief Operating Manual Release 3.5. January 2005.
24. Інструкція по роботі із програмним забезпеченням конфокального мікроскопу LSM 510 META. Київ – 22.
25. Elizabeth L. Kordyum and Helen A. Kravets Evolutionary Patterns of the Internal Structures of Generative Organs in Angiosperm Plants. In book: Plant Reproductive Ecology - Recent Advances. IntechOpen, 2021, p. 26. DOI: 10.5772/intechopen.100593. ISBN:978-1-83969-493-6. Available from: https://www.intechopen.com/online-first/79346.
26. Plokhovska S.H., Shadrina R.Yu., Kravets O.A., Yemets A.I., Blume Ya.B. The role of nitric oxide in the *Arabidopsis thaliana* response to simulated microgravity and the involvement of autophagy in this process. Cytol. Genet. 2022, 56(3): P. 244–252. https://doi.org/10.3103/S0095452722030100. **Q4.**
27. Yemets A.I., Plokhovska S.H., Shadrina R.Yu., Kravets O.A., Blume Ya.B. Elucidation of cellular mechanisms of autophagy involvement in plant adaptation to microgravity

conditions. Космічна наука і технологія/ Space science and technology. 2023. 29(2):22-31. DOI: https://doi.org/10.15407/knit. Q3.

28. Kravets E.A., Plokhovska S.G., Yemets A.I., Blume Y.B. UV-B Stress and plant sexual reproduction. In: UV-B Radiation and Crop Growth (Kataria S., Singh V.P., eds), 2023, Springer, Singapore., p. 293–317. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3620-3_14.
29. Plokhovska S.H., Kravets E.A., Yemets A.I., Blume Y.B. (2022). Crosstalk between melatonin and nitric oxide in plant development and UV-B stress response. In: UV-B Radiation and Crop Growth (Kataria S., Singh V.P., eds), 2023, Springer, Singapore, p. 319–339. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3620-3_15.
30. O.A. Kravets, S.G. Plokhovska,T.V. Chugunkova, A.I. Yemets, Ya.B. Blume. Autophagy activation during microsporogenesis and tapetogenesis in Angiosperms. Cytology and Genetics, 2025, 59(3): 11-22.