

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кафедра фізіології, біохімії рослин та біоенергетики

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Декан факультету захисту рослин,  
біотехнологій та екології

\_\_\_\_\_ Коломієць Ю.В.  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**«СХВАЛЕНО»**

на засіданні кафедри фізіології,  
біохімії рослин та біоенергетики  
Протокол № 10 від «3» червня 2021 р.  
В.о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Прилуцька С.В.

**«РОЗГЛЯНУТО»**

Гарант ОП 162 «Біотехнології та біоінженерія»

**Кляченко О.Л.**

Гарант ОП \_\_\_\_\_  
(підпис)

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
КЛІТИННА БІОЕНЕРГЕТИКА**

спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

освітня програма «Біотехнології та біоінженерія»

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

Розробник: в.о. зав. кафедри, д.б.н., ст.н.с. Прилуцька С.В.

## 1. Опис навчальної дисципліни «КЛІТИННА БІОЕНЕРГЕТИКА»

<b>Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній ступінь</b>	
Освітній ступінь	Бакалавр
Спеціальність	162 «Біотехнології та біоінженерія»
Освітній програма	«Біотехнології та біоінженерія»
<b>Характеристика навчальної дисципліни</b>	
Вид	Обов'язкова
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	2
Кількість змістових модулів	2
Курсовий проект (робота) (якщо є в робочому навчальному плані)	Не має
Форма контролю	екзамен
<b>Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форм навчання</b>	
Рік підготовки	4
Семестр	7
Лекційні заняття	15 год
Практичні, семінарські заняття	–
Лабораторні заняття	30 год.
Самостійна робота	75 год.
Індивідуальні завдання	-
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних	3 год.
самостійної роботи студента –	5 год.

## 2. Мета, завдання та компетентності навчальної дисципліни

Метою дисципліни «Клітинна біоенергетика» є вивчення молекулярних основ утворення та використання енергії, молекулярних форми її акумулювання в живих організмах на клітинному рівні. Енергетичний обмін в живих системах може бути описаний першим законом термодинаміки, а саме під час реалізації різноманітних біохімічних реакцій загальна кількість енергії залишається сталою. Дисципліна спрямована на формування визначених освітньо-науковою програмою професійних компетентностей та можливостей для застосування у професійній діяльності теоретичних знань про біоенергетичні процеси на клітинному рівні, як основу життєдіяльності живих організмів; провідну роль мітохондрій та хлоропластів в забезпеченні утворення енергії в клітинах; метаболічні і біоенергетичні процеси, що забезпечують клітинне дихання, окисне фосфорилування та утворення енергії, що є базисом біоенергетичних основ біотехнологічних процесів.

### **Завдання при вивченні дисципліни:**

Спеціаліст у галузі біотехнологій повинен керуватись наступними основними завданнями:

- з метою забезпечення енергією клітини та організму в цілому знати фундаментальне і прикладне значення клітинної біоенергетики;
- знати основи метаболічних перетворень на клітинному та організменному рівнях;
- знати шляхи утворення, акумуляції та вивільнення енергії в клітинах рослин;
- знати місця локалізації, джерело та органели у яких відбуваються біоенергетичні процеси.
- знати шляхи регуляції та застосування біоенергетичних процесів у біотехнології рослин.

### **Вимоги щодо знань і вмінь, набутих внаслідок вивчення дисципліни**

Після вивчення дисципліни “Клітинна біоенергетика” студент повинен:

#### **а) знати:**

- теоретичні і практичні основи процесу синтезу енергії в клітинах рослинного і тваринного організмів;
- молекулярну організацію дихального ланцюга мітохондрії та його роботу;
- молекулярну організацію хлоропласта, роботу фотосистем;
- участь мітохондрій та хлоропластів у синтезі АТФ;
- проблематику механізмів спряження дихання та окисного фосфорилування;
- особливості про- та антиоксидантного метаболізму;
- роль енергетичних процесів у формуванні електрохімічного мембранного потенціалу та у транспортних системах клітинних мембран,

#### **б) вміти:**

- взаємопов'язувати процеси дихання і фосфорилування у мітохондріях;
- взаємопов'язувати процеси окисного фосфорилування у пероксисомах;
- застосовувати сучасні біологічні методи дослідження біоенергетичних процесів у наукових дослідженнях біотехнологічного спрямування.

Набуття компетентностей:

**Загальні компетентності (ЗК):** здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях; здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями; здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.

**Фахові (спеціальні) компетентності (ФК):** здатність здійснювати аналіз нормативної документації, необхідної для забезпечення інженерної діяльності в галузі біотехнології; здатність працювати з біологічними агентами, використовуваними у біотехнологічних процесах (мікроорганізми, гриби, рослини, тварини, віруси, окремі їхні компоненти).

**3. Програма та структура навчальної дисципліни для:  
Студентів денної форми навчання**

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин													
	денна форма							заочна форма						
	тижні	усього	у тому числі					усього	у тому числі					
			л	п	лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
<b>Змістовий модуль 1. Сучасні підходи до вивчення питань біоенергетики</b>														
<b>Тема 1.</b> Введення в клітинну біоенергетику	1	8	1		2		5							
<b>Тема 2.</b> Сучасні методи клітинної біоенергетики	2	8	1		2		5							
<b>Тема 3.</b> Транспорт речовин через біологічні мембрани	3	8	1		2		5							
<b>Тема 4.</b> Загальні закономірності метаболізму у живих організмів	4	8	1		2		5							
<b>Тема 5.</b> Окиснення глюкози та жирних кислот	5	8	1		2		5							
<b>Тема 6.</b> Цикл лимонної кислоти	6	8	1		2		5							
<b>Тема 7.</b> Дихальний ланцюг мітохондрій	7	8	1		2		5							
Разом за змістовним модулем 1	56		7		14		35							
<b>Змістовий модуль 2. Біоенергетичне забезпечення фізіологічних функцій</b>														
<b>Тема 1.</b> Хеміосмотична теорія Мітчелла	8	8	1		2		5							
<b>Тема 2.</b> Спряження дихання та окисного фосфорильовання	9	8	1		2		5							

<b>Тема 3.</b> Синтез АТФ	10	8	1	2	5							
<b>Тема 4.</b> Біоенергетика фотосинтезу	11	8	1	2	5							
<b>Тема 5.</b> Фотосинтетичн а фіксація карбону	12	8	1	2	5							
<b>Тема 6.</b> Конкуренція фотосинтезу та фотодихання	13	8	1	2	5							
<b>Тема 7.</b> Особливості біоенергетики бактерій	14	8	1	2	5							
<b>Тема 8.</b> Дихальний контроль у клітині	15	8	1	2	5							
Разом за змістовним модулем 1	64		8	16	40							
Усього годин	<b>120</b>		<b>15</b>	<b>30</b>	<b>75</b>							

#### 4. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Не передбачено робочим навчальним планом	

#### 5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Не передбачено робочим навчальним планом	

#### 6. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
<i>Методи виділення органел і мембран клітин</i>		
1	Недеструктивні методи виділення органел і мембран клітин	2
2	Методи розділення субклітинних компонентів	2
3	Ідентифікація та оцінка чистоти субклітинних фракцій	2
4	Методи визначення активності окисно-відновних	2

	ферментів	
5	Методи виділення окремих органел і мембранних систем	2
<i>Сучасні методологічні підходи щодо дослідження біологічних мембран</i>		
6	Методи дослідження мембранних структур	2
7	Виділення і характеристика мембранних фракцій	2
8	Виділення і аналіз ліпідних компонентів мембран	2
9	Виділення та модифікація мембранних білків и пептидів	2
<i>Дослідження окисно-відновного стану мітохондрій</i>		
10	Методи визначення мембранного потенціалу органел і клітин	2
11	Оцінка цитотоксичних властивостей	2
<i>Дослідження фотосинтетичних процесів</i>		
12	Екстракція пластидних пігментів	2
13	Дослідження фізико-хімічних властивостей хлорофілу	2
14	Розділення пігментів хлоропластів хроматографічним методом	2
15	Кількісне визначення хлорофілу за допомогою спектрофотометрії	2
		30

### Самостійна робота

№ п/п	Назва теми	К-сть годин
1	2	3
1	1. Закони термодинаміки. Вільна енергія (ДG). Ентальпія. Ентропія. Макроергічні сполуки	5
2	Система цитохромів. Цитохром с. Цитохром-оксидаза. Fe-S-білки	5
3	Альтернативні шляхи тканинного дихання. Окисно-відновні потенціали	5
4	Механізм спряження дихання і фосфорилування в мітохондріях. Гіпотези хеміосмотичного спряження, хімічного спряження та конформаційного спряження	5
5	Вільне, нефосфорилуюче окиснення	5
6	Біоенергетика і порушення обміну речовин. Гіпоенергетичні стани	5
7	Конвертуюча енергетична «валюта» живої клітини. $\Delta\mu\text{H}$ , $\Delta\mu\text{p}$ , $\Delta\mu\text{Na}$ , $\Delta\mu\text{s}$	1,7
8	Будова біологічних мембран. Ліпідний компонент біомембран	5
9	Використання детергентів в мембранології	5
10	Процеси анаеробного бродіння (гліколіз, шлях Ентнера-Дудорова, масляно-кисле, ацетоно-бутилове бродіння)	5
11	Сучасні методи клітинної біоенергетики	5

12	Особливості біоенергетики аеробних та анаеробних бактерій	5
13	Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> та Ca <sup>2+</sup> -транспортувальні системи у мітохондріях	5
14	Про- та антиоксидантні механізми пероксидного окиснення ліпідів	5
15	Мітохондрії як «мішень» дії за протипухлинних, протидіабетичних, протиішемійних та ін. терапевтичних підходів до лікування	5

## **7. Контрольні запитання, комплекти тестів для визначення рівня засвоєння знань студентами**

1. Що вивчає клітинна біоенергетика?
2. Обмін речовин і енергії. Стадії катаболічних та анаболічних шляхів. Основні шляхи регуляції метаболізму.
3. Обмін речовин і біоенергетика.
4. Макроергічні сполуки.
5. Реакції біологічного окиснення та тканинне дихання.
6. Теорія окисно-відновних реакцій.
7. Механізми транспорту електронів у клітині.
8. Рівняння реакції біологічного окиснення, циклу Кребса.
9. Ланцюг переносу електронів.
10. Будова і властивості мітохондрій.
11. Будова і властивості хлоропластів.
12. Нікотинамідні дегідрогенази.
13. Флавінові дегідрогенази.
14. Структура і властивості убіхінону.
15. Цитохроми.
16. FeS-білки.
17. Комплекси дихального ланцюга.
18. Фотосинтез. Стадії, реакції, кінцеві і проміжні продукти, ферменти.
19. Характеристика фотосистем.
20. Молекулярні механізми фотосинтезу.
21. Фотосинтетична фіксація вуглецю.
22. Методи вимірювання мембранного потенціалу.
23. Значення електрохімічного потенціалу ( $\Delta pH$ ).
24. Альтернативні шляхи тканинного дихання.
25. Окисне фосфорилування.
26. Спряження дихання і фосфорилування.
27. Механізм хеміосмотичного спряження.
28. Будова та функціонування АТФ-синтази. Типи АТФ-аз. Немітохондріальні АТФ-синтази.
29. Регуляція тканинного дихання.
30. Види біологічного окиснення.
31. Мікросомальне окиснення.

32. Система мікросомного окиснення. Цитохром Р-450. Ізоформи цитохрому Р-450.
33. Регуляція дії цитохрому Р450 цитохромом В<sub>5</sub>.
34. Діоксигенази.
35. Пероксидазне окиснення.
36. Мієлопероксидазна система.
37. Кисень і активні кисневі метаболіти.
38. Радикальні окислювальні процеси.
39. Супероксид аніон-радикал. Загальна характеристика та механізми утворення.
40. НАДФН-оксидаза.
41. Ксантиноксидоредуктаза.
42. Утворення активних кисневих метаболітів в мітохондріях.
43. Відновлення кисню цитохромом р-450.
44. Загальна характеристика системи антиоксидантного захисту.
45. Структура та функції супероксиддисмутази та супероксидредуктази.
46. Структура та функції каталази.
47. Структура та функції глутатіонпероксидази.
48. Загальна характеристика та класифікація фенольних антиоксидантів.
49. Структура та роль вітаміну Е.
50. Каротиноїди.
51. Структура та роль вітаміну С.
52. SH-вмісні сполуки.
53. Історія становлення науки «Біоенергетика».
54. Бактеріородопсин, галородопсин і химерні протеоліпосоми.
55. Натрієвий цикл у корисних бактерій.
56. Дія антимікробних агентів, направлених на систему мембранної енергетики.
57. Регенерація АТФ за рахунок енергії світла.
58. Роль мембрани з точки зору біоенергетики.

## **8. Методи навчання.**

Лекції, лабораторні роботи та самостійна робота студента.

## **9. Форми контролю.**

Для здійснення контролю за якістю знань та вмінь студентів використовують наступні методи контролю:

- модульні тестові завдання;
- індивідуальні завдання;
- індивідуальні співбесіди;
- іспит

## **10. Розподіл балів, які отримують студенти.**

Оцінювання знань студента відбувається за 100-бальною шкалою і переводиться в національні оцінки згідно з табл. 1 «Положення про екзамен та заліки у НУБіП України» (наказ про уведення в дію від 27.12.2019 р. № 1371)

Рейтинг студента, бали	Оцінка національна за результати складання	
	екзаменів	заліків
90-100	Відмінно	Зараховано
74-89	Добре	
60-73	Задовільно	
0-59	Незадовільно	Не зараховано

Для визначення рейтингу студента (слухача) із засвоєння дисципліни  $R_{\text{дис}}$  (до 100 балів) одержаний рейтинг з атестації (до 30 балів) додається до рейтингу студента (слухача) з навчальної роботи  $R_{\text{НР}}$  (до 70 балів):  $R_{\text{дис}} = R_{\text{НР}} + R_{\text{ат}}$ .

### 11. Методичне забезпечення

Науково-методичне забезпечення навчального процесу передбачає: державні стандарти освіти, навчальні плани, навчальні програми з усіх нормативних і вибіркових навчальних дисциплін; програми навчальної, виробничої та інших видів практик; підручники і навчальні посібники; інструктивно-методичні матеріали до семінарських, практичних і лабораторних занять; індивідуальні навчально-дослідні завдання; контрольні роботи; текстові та електронні варіанти тестів для поточного і підсумкового контролю, методичні матеріали для організації самостійної роботи студентів.

### 12. Рекомендована література

#### Основна:

1. Бабський А, Іккерт О, Манько В. Основи біоенергетики: підручник [для студ. вищ. навч. закл.] – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2019. – 312 с. – (Серія «Біологічні студії»).
2. Александрова К.В. Особливості енергообміну в живих організмах. – Запоріжжя, 2012. – 106 с.
3. Огурцов А.Н. Молекулярная биоэнергетика клетки. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – 112 с.
4. Гребеник Л.І., Висоцький І.Ю. Курс лекцій з біохімії. Розділ «Загальні закономірності метаболізму. молекулярні основи біоенергетики». – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 74 с.
5. Скулачев В.П. Энергетика биологических мембран. – Москва: Наука, 1989. – 554 с.

#### **Допоміжна:**

1. Костюк П.Г., Зима В.Л., Магура Ш.С., Мірошніченко М.С., .шуба М.Ф. Біофізика. – Київ: Видавництво «ВПЦ Київський університет», 2008. – 567 с.
2. Волькенштейн М.В. Біофізика. – М.: Наука, 1988. – 592 с.
3. Чиркин А.А., Данченко Е.О. Біохімія с основами молекулярной биологии. ВГУ им. П.М.Машерова, 2006. – 301 с.

#### **13. Інформаційні ресурси**

Інтернет – ресурси, методичні рекомендації, підручники

## **ТЕЗИСНИЙ КОНСПЕКТИ ЛЕКЦІЙ З КЛІТИННОЇ БІОЕНЕРГЕТИКИ**

### **Тема 1. Введення в клітинну біоенергетику.**

Предмет і завдання, розвиток біоенергетики. Молекулярні основи біоенергетики. Основні біоенергетичні процеси в живих системах. Макроергічні фосфати.

### **Тема 2. Сучасні методи клітинної біоенергетики.**

### **Тема 3. Транспорт речовин через біологічні мембрани.**

Механізми активного і пасивного транспорту речовин через біологічні мембрани.  $\text{Ca}^{2+}$ -транспортувальні системи у мітохондріях.

### **Тема 4. Загальні закономірності метаболізму у живих організмів.**

Стадії катаболізму і анаболізму біомолекул. Метаболічні та біоенергетичні процеси, які задіяні в біоенергетиці клітин. Процеси аеробного розпаду поживних речовин, їх роль в постачанні гідрогену, як носія енергії, та вивільненні енергії. Анаеробні метаболічні процеси, що задіяні в енергетичному обміні клітин окремих органів.

### **Тема 5. Окиснення глюкози та жирних кислот.**

Тканинне дихання та біологічне окиснення. Ферменти біологічного окиснення.

Окиснення жирних кислот у мітохондріях та пероксисомах.

### **Тема 6. Цикл лимонної кислоти.**

Біологічні функції та реакції циклу. Участь вітамінів у роботі ЦЛК. Енергетичний баланс ЦЛК з урахуванням окисного фосфорилування. Регуляція циклу лимонної кислоти.

### **Тема 7. Дихальний ланцюг мітохондрій.**

Основні компоненти дихального ланцюга. Молекулярна організація дихального ланцюга мітохондрій. Комплекси дихального ланцюга. Інгібітори дихального ланцюга.

### **Тема 8. Хеміосмотична теорія Мітчелла**

Теорія окисного фосфорилування. Інгібітори та роз'єднувачі окисного фосфорилування. Перенесення електронів дихальним шляхом. НАД- і ФАД-залежні механізми. Протонний градієнт як форма зберігання енергії.

### **Тема 9. Спряження дихання та окисного фосфорилування.**

Хімічна, конформаційна та хеміосмотична теорії спряження. Поняття протонного та натрієвого потенціалів.

### **Тема 10. Синтез АТФ.**

Окисне та субстратне фосфорилування. Будова і функції АТФ-синтетази. Ротаційний каталіз.

**Тема 11. Біоенергетика фотосинтезу.**

Пластиди. Фотосистеми. Світлова і темнова фаза процесу.

**Тема 12. Фотосинтетична фіксація карбону.**

Цикл Кальвіна.

**Тема 13. Конкуренція фотосинтезу та фотодихання.**

C4- та C3-рослини.

**Тема 14. Особливості біоенергетики бактерій.**

Окисне фосфорилування у бактеріях.

**15. Дихальний контроль у клітині.**

Шляхи використання кисню в організмі. Мітохондрії й активні форми кисню. Джерела активних форм кисню у клітинах. Механізми та фізіологічне значення пероксидного окиснення ліпідів. Антиоксидантний захист клітин.