

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнології та екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

фізіології, біохімії рослин та

біоенергетики

_____ **Світлана ПРИЛУЦЬКА**

«_____» _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему «Вплив фулерену C₆₀ на окремі фізіолого-біохімічні показники
дикорослих (*Arabidopsis thaliana*) та культурних (*Zea mays*) рослин»**

Спеціальність: 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Гарант освітньої програми

Кандидат біологічних наук, доцент
кафедри екобіотехнології
та біорізноманіття

(підпис)

Олена КВАСКО

**Керівник бакалаврської кваліфікаційної
роботи**

Кандидат біологічних наук, доцент
кафедри фізіології,
біохімії рослин та біоенергетики

(підпис)

Тетяна ТКАЧЕНКО

Виконала

(підпис)

Анастасія ГУРЖИЙ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнології та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
фізіології, біохімії рослин та
біоенергетики

_____ **Світлана ПРИЛУЦЬКА**

«__» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студентці

Гуржий Анастасії Єгорівні

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Вплив фулерену C_{60} на окремі фізіолого-біохімічні показники дикорослих (*Arabidopsis thaliana*) та культурних (*Zea mays*) рослин» затверджена наказом ректора НУБіП України від «22» жовтня 2024 р. №1880 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 20 травня 2025 року

Вихідні дані до бакалаврської роботи: літературні джерела, методики проведення досліджень, фулерен C_{60} .

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Огляд та аналіз літературних даних за темою дипломної роботи.
2. Дослідження впливу різних концентрацій розчину фулерену C_{60} на рослинні дикорослі (*Arabidopsis thaliana*) та культурні (*Zea mays*) організми.
3. Оцінка ефективності росту і розвитку досліджуваних рослин за допомогою визначення фізіолого-біохімічних показників, формування висновків.

Дата видачі завдання «1» вересня 2024 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ Тетяна ТКАЧЕНКО
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____ Анастасія ГУРЖИЙ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему «Вплив фулерену C₆₀ на окремі фізіолого-біохімічні показники дикорослих (*Arabidopsis thaliana*) та культурних (*Zea mays*) рослин» містить 57 сторінок, 11 таблиць, 23 рисунки, 36 літературних джерел, 3 додатки.

Актуальність роботи: внаслідок стрімкої зміни клімату, що відбувається через негативний антропогенний вплив, наразі є актуальним вирішення проблем, які виникають у сільському господарстві та екології, за допомогою біотехнологічних методів та використання нанотехнологій. Фулерен C₆₀ має потенціал як біологічно активна речовина, що стимулює ріст рослин, проте може здійснювати фітотоксичний вплив в окремих випадках. Тому дослідження впливу наночастинок на різні види організмів є необхідним та важливим, а також отримані результати потенційно корисні для сільськогосподарських та екологічних потреб.

Мета роботи: дослідити та оцінити вплив розчинів фулерену C₆₀ різних концентрацій на окремі фізіолого-біохімічні показники дикорослих (*Arabidopsis thaliana*) та культурних (*Zea mays*) рослин.

Об'єкт дослідження – фізіолого-біохімічні показники дикорослих (*Arabidopsis thaliana*) та культурних (*Zea mays*) рослин за дії фулерену C₆₀.

Предмет дослідження: представник дикорослих рослин – гусимка Таля (*Arabidopsis thaliana*) та представник культурних рослин – кукурудза звичайна (*Zea mays*).

Методи дослідження: фізіологічні (визначення морфометричних показників та вмісту фотосинтетичних пігментів), біохімічні (визначення основних антиоксидантних ферментів каталази та пероксидази), статистичні.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	10
1.1. Загальний опис і класифікація фулеренів	10
1.1.1. Будова і властивості фулерену C ₆₀	11
1.1.2. Методи отримання та застосування фулерену C ₆₀	12
1.2. Механізм впливу наночастинок на рослини.....	13
1.2.1 Позитивний вплив фулерену C ₆₀ на рослинні системи	14
1.2.2. Фітотоксичний вплив фулерену C ₆₀	15
1.3. Фізіолого-біохімічні показники ефективності росту і розвитку рослин....	15
1.3.1. Загальні відомості	15
1.3.2. Фотосинтетичні пігменти	16
1.3.3. Каталаза.....	19
1.3.4. Пероксидаза	19
1.4. Загальна характеристика гусимки Таля (<i>Arabidopsis thaliana</i>).....	20
1.4.1. Ботанічний опис рослини	20
1.4.2. Значення і використання	22
1.5. Загальна характеристика кукурудзи звичайної (<i>Zea mays</i>).....	22
1.5.1. Ботанічний опис рослини	22
1.5.2. Значення і використання	24
1.6. Основні відмінності культурних і дикорослих рослин.....	24
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	27
2.1. Матеріали дослідження.....	27
2.1.1. Кукурудза звичайна (<i>Zea mays</i>).....	27
2.1.2. Гусимка Таля (<i>Arabidopsis thaliana</i>)	27

	6
2.2. Матеріали та обладнання.....	28
2.3. Умови вирощування дослідних рослин	29
2.3.1. Підготовка та посадка насіння.....	29
2.3.2. Обробка розчинами фулерену C ₆₀	31
2.3.3. Відбір рослинного матеріалу	32
2.4. Визначення морфометричних показників.....	34
2.5. Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів.....	34
2.6. Визначення активності каталази.....	35
2.7. Визначення активності пероксидази	36
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	39
3.1. Результати морфометричного аналізу.....	39
3.1.1 Морфометричні показники <i>Arabidopsis thaliana</i>	39
3.1.2 Морфометричні показники <i>Zea mays</i>	41
3.2. Результати визначення вмісту фотосинтетичних пігментів.....	45
3.2.1 Вміст фотосинтетичних пігментів у рослинному матеріалі <i>Arabidopsis thaliana</i>	45
3.2.2. Вміст фотосинтетичних пігментів у рослинному матеріалі <i>Zea mays</i>	46
3.2. Результати визначення активності каталази.....	47
3.2.1 Активність каталази у рослинному матеріалі <i>Arabidopsis thaliana</i>	47
3.2.2. Активність каталази у рослинному матеріалі <i>Zea mays</i>	48
3.3. Результати визначення активності у рослинному матеріалі <i>Zea mays</i>	49
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53
ДОДАТКИ.....	58
Додаток А	58
Додаток Б	61

Додаток В	65
------------------------	-----------

ВСТУП

Інтерес до застосування нанотехнологій у агрономії з кожним роком зростає. Серед різноманітних матеріалів, які можуть покращувати процеси росту та підвищувати стійкість рослин до стресових факторів, має важливе місце і великий потенціал фулерен C_{60} , завдяки своїй здатності впливати на біологічні системи живих організмів. Фулерени та їхні похідні мають в основі вуглецевий каркас, а також мають унікальні структурні характеристики та електронні властивості, що відкривають широкі можливості для підвищення їх функціональності та використання для різних потреб [1].

Унаслідок глобальних проблем, таких як забруднення навколишнього середовища, збільшення викидів парникових газів, підвищення температури повітря, кліматичних змін, виникнення озонових дір, з кожним роком посилюється вплив несприятливих факторів, які негативно впливають на ріст і розвиток рослин. Важливі сільськогосподарські культури можуть страждати від нестачі води, перегріву, збільшення кількості шкідників та хвороб, через що знижується врожайність, якісні характеристики продукції.

Шлях вирішення проблеми за допомогою використання пестицидів, мінеральних добрив є широко застосовуваним, проте має ряд недоліків, такі як негативний вплив на біорізноманіття, виснаження ґрунту, також частково пестициди можуть затримуватися безпосередньо у рослинах. З розвитком біотехнологій все більше використовуються біопрепарати на основі живих систем мікроорганізмів, що діють більш селективно, не затримуються у рослині та набагато менше шкодять навколишньому середовищу. Нині актуальним є пошук універсальних методів, що допомагали б зменшити вплив несприятливих антропогенних і природних факторів, допомогли б покращити якісні та кількісні характеристики продукції.

Метою роботи є дослідження впливу фулерену C_{60} на фізіологічні та біохімічні показники дикорослої рослини гусимки Таля (*Arabidopsis thaliana*), що також використовується як модельна рослина, та культурної рослини

кукурудзи звичайної (*Zea mays*), для оцінки впливу конкретно на сільськогосподарські культури.

Предметом дослідження є гусимка Таля (*Arabidopsis thaliana*), як представник отриманий з природнього навколишнього середовища, та кукурудза звичайна (*Zea mays*) сорту Багратіон F1, як представник сільськогосподарських культур.

Фізіолого-біохімічні показники рослин визначалися за допомогою фізіологічних та біохімічних (спектрофотометрія) методів, опрацьовувалися за допомогою статистичного аналізу.

Отримані результати мають важливе значення для вивчення властивостей і впливу фулерену C₆₀ на різні види рослин. Сприятливий вплив фулерену C₆₀ на сільськогосподарські культури має опосередкований вплив на підвищення врожайності та є додатковим фактором для покращення економіки країни та конкурентноспроможності отриманої продукції [2].

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Загальний опис і класифікація фулеренів

Фулерени – це такі молекули, що складаються з атомів вуглецю, які безперервно зв'язані між собою та утворюють комбінації п'ятикутників та шестикутників. Завдяки такій структурі вони є стійкими та стабільними. До властивостей фулеренів відносять високий ступінь симетричності, наявність унікальних фізичних та електронних характеристик, можливість витримувати високий тиск і температуру, а також антиоксидантні властивості. Залежно від розміру можуть набувати додаткових специфічних ознак. Кількість атомів вуглецю у молекулі може коливатися від 60 до 100 та більше [3, 4].

Фулерени умовно можна поділити на декілька груп залежно будови. До першої групи відносяться нанотрубки – невеликі за розміром (від кількох нанометрів до кількох міліметрів) циліндричні молекули, що мають відкритий і закритий кінець. До другої групи відносяться нижчі фулерени – молекули, що складаються з шестикутників та п'ятикутників, мають симетричну форму (додекаедр C_{20} , ікосаедр C_{60}). В окрему групу можна виділити мегатрубки, що відрізняються від нанотрубок більшим діаметром, такі молекули використовуються для перенесення інших молекул. Інша група – полімерні структури, що з'єднані ковалентними хімічними зв'язками, побудовані з вуглецевих ланцюгів, можуть утворювати двовимірні та тривимірні структури за дії високого тиску та температури. Вищі фулерени представлені сферичними молекулами, що містять більше 60 атомів вуглецю (C_{70} , C_{76} , C_{78} , C_{84}). Також існують гетерофулерени, які побудовані не тільки з вуглецю, а й інших елементів. У таких молекулах атоми вуглецю можуть бути заміщені атомами бору або азоту. Ендоедральні фулерени характеризуються тим, що всередині вуглецевої клітки захоплені певні атоми, іони або кластери, наприклад, захоплення у молекулі фулерену металу приводить до утворення металофулерену. Ще однією групою фулеренів є такі, що побудовані з двох

сферичних фулеренів і з'єднані між собою вуглецевим ланцюгом. На рисунку 1.1 зображено будову деяких представників фулеренів [3-5].

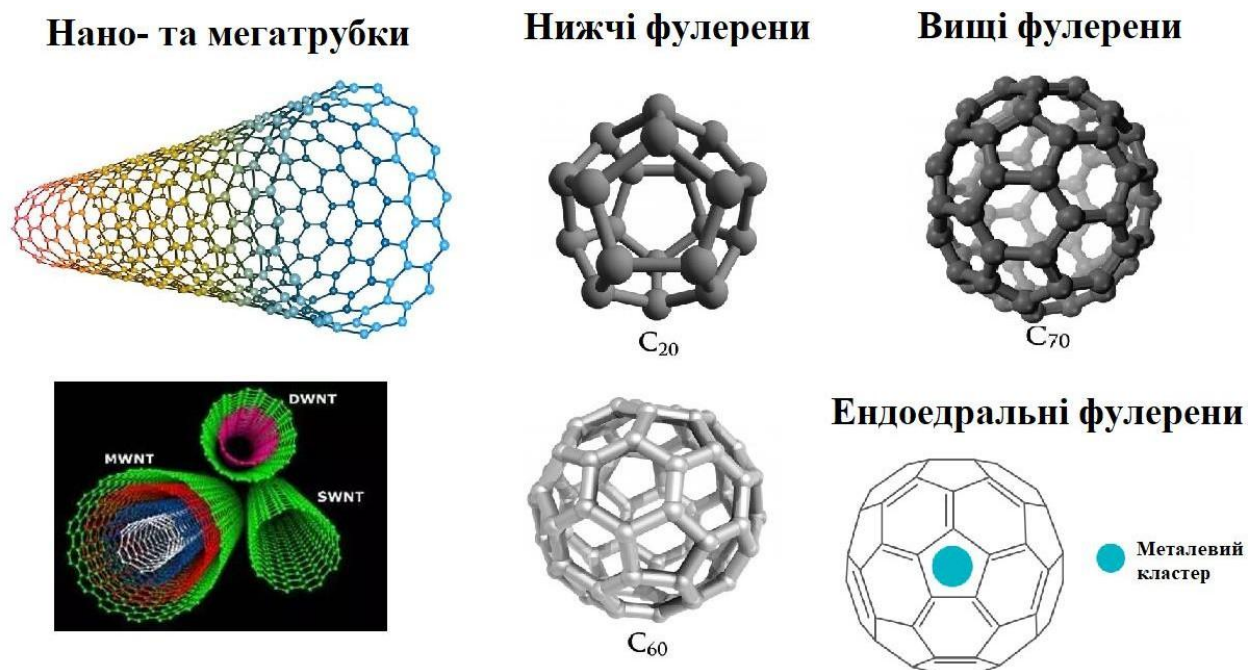


Рис. 1.1. Будова деяких представників груп фулеренів. Джерело: Складено автором на основі джерел [3-5]

1.1.1. Будова і властивості фулерену C₆₀

Фулерен C₆₀ або бакібол – сферична молекула, що складається з 20 шестикутників та 12 п'ятикутників правильної форми. Містить 60 атомів вуглецю, які є його вершинами і розташовані симетрично. Зовнішній діаметр фулерену C₆₀ становить 0,71 нм, відносна молекулярна маса близько 720,6, температура плавлення більше 280°C, густина 1,68 г/см³. Стандартною теплою утворення фулерену є 9,08 ккал/моль. Оптичні властивості характеризуються показником заломлення 2,2, що відповідає довжині хвилі 600 нм. У чистому стані має вигляд чорного дрібнокристалічного порошку з легким металевим блиском. Слабо розчиняється у органічних розчинниках, проте розчинний у воді. Найстабільніший з представників фулеренів, тому отримав найбільше застосування для різних потреб. За допомогою легування лужними металами можна надати C₆₀ надпровідних властивостей. Також C₆₀ здатен певною мірою виявляти магнітні властивості. До основних хімічних властивостей C₆₀ належать

здатність приєднання до шести електронів та відновлення до аніону C_{60}^{6-} , здатність брати участь у перциклічних реакціях, піддаватися реакціям гідрування та гідроксилування. При взаємодії з металами можуть утворюватися як і ендоедральні комплекси, так і екзоєдральні сполуки. У першому випадку атом металу знаходиться всередині каркасу, а у другому – на поверхні. На рисунку 1.2 зображено будову фулерену C_{60} [4, 6].

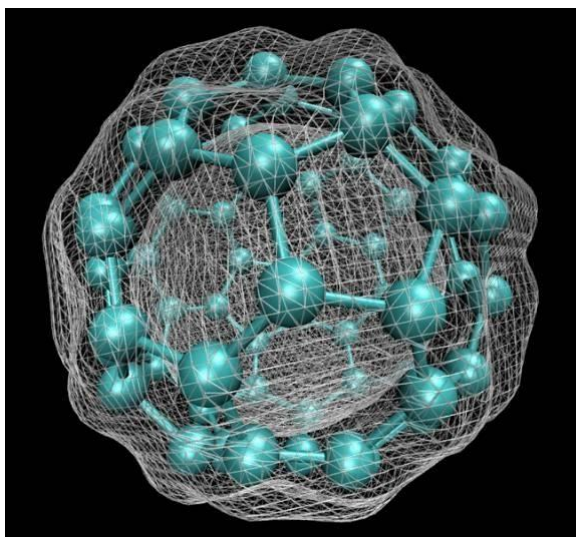


Рис. 1.2. Фулерен C_{60} з візуалізацією електронної густини [5]

1.1.2. Методи отримання та застосування фулерену C_{60}

Фулерен C_{60} отримують різними методами, такими як метод випаровування розчинника, метод осадження, метод шаблону, метод фізичного осадження з пари та багатоетапний метод [6].

Метод випаровування розчинника полягає у тому, що у розчині розчинника і фулерену C_{60} наночастинки досягають перенасичення під час переходу розчинника у газоподібний стан і кристалізуються утворюючи монокристали [6].

Метод осадження ґрунтується на різниці розчинності між розчинником, у якому фулерен C_{60} добре розчинний, та розчинником, у якому фулерен C_{60} погано розчинний. Таким чином монокристали утворюються на межі розподілу двох розчинників [6].

Виділяючи монокристали фулерену C_{60} методом шаблону використовують специфічні шаблони, які поміщають у розчин, що містить фулерен C_{60} з подальшим багаторазовим чергуванням занурення і осушення шаблону [6].

Метод фізичного осадження з пари ґрунтується на здатності C_{60} до сублімації з утворенням газоподібних молекул. Для проходження цього процесу підвищують температуру, а далі осаджують шляхом зниження температури [6].

Багатоетапний метод поєднує у собі декілька методів отримання монокристалів фулерену C_{60} [6].

Фулерен C_{60} має потенціал для застосування у різних галузях. Надпровідні і магнітні властивості обумовлюють його використання для потреб космічної промисловості та у напівпровідникових пластинах. Здатність до взаємодії з металами та іншими елементами має перспективи у розробці нових типів полімерних сполук та використання у електронних батареях. Також можливим є дослідження використання C_{60} для створення вуглецевої плівки, яка подібна за будовою до алмазу, та як компонент автомобільного мастила. Похідні сполуки C_{60} завдяки антиоксидантним властивостям мають потенціал для використання у фармацевтиці (виготовлення нових препаратів для покращення роботи мозку, антимікробних засобів), медицині (пригнічення росту пухлин) та косметології (сповільнювати процеси старіння шкіри) [6-8].

1.2. Механізм впливу наночастинок на рослини

Наночастинки можуть здійснювати сприятливий вплив на ріст і розвиток рослин, покращувати проходження процесів фотосинтезу, підвищувати здатність до засвоєння поживних речовин і створювати стійкість до несприятливих умов. Прояв негативного впливу відбувається при високих концентраціях або підвищенні тривалості впливу, що призводить до надмірного утворення активних форм кисню, окислювального стресу, пошкодження клітинних структур, вивільнення токсичних сполук (наприклад, іонів металів), порушення активності ферментів. Для того щоб зменшити негативний вплив

наночастинок на життєдіяльність рослин необхідно використовувати низькі та контрольовані концентрації, що не будуть викликати шкідливої дії [9].

1.2.1 Позитивний вплив фулерену C₆₀ на рослинні системи

Існує багато досліджень, у яких повідомляється про позитивний вплив фулерену C₆₀ на рослини. В одному з таких досліджень визначали вплив фулерену C₆₀ на такі сільськогосподарські культури як соя, пшениця та кукурудза та їхню здатність до засвоєння азоту та мінеральних елементів. Методами дослідження були мікрорентгенівська флуоресцентна спектрометрія синхротронного випромінювання (SR- μ XRF) та метод мічення стабільними ізотопами ¹⁵N. Результати дослідження показали, що вплив фулерену C₆₀ на обрані культури є неоднаковим. У кукурудзі і сої C₆₀ зменшував засвоєння нітратного азоту, а у пшениці – збільшував. Також C₆₀ мав сприятливий вплив на засвоєння мінеральних елементів усіма досліджуваними культурами. Сільськогосподарські культури, що вирощувалися з C₆₀, мали кращу здатність до засвоєння азоту та мінеральних сполук, що потенційно може зменшити надмірне використання добрив, покращити врожайність і якість сільськогосподарських культур [10].

В іншому дослідженні вивчався вплив C₆₀ на ріст і розвиток деревних рослин та їхню здатність до поглинання і розкладання сечовини, яка є забруднювачем стічної води. Використовувалися різні концентрації C₆₀ та проводився аналіз основних біохімічних показників рослин, таких як вміст хлорофілу та активність ферментів. Дослідження показало, що додавання розчину C₆₀ у концентрації 25 мг/мл сприятливо діє на ріст рослин та вміст поживних речовин у них, збільшувало поглинання води та відновлення азоту. Таким чином C₆₀ може підвищувати ефективність фіторемедіації стічних вод [11].

У дослідженні впливу фулерену C_{60} на ріст і розвиток томатів було виявлено, за оцінкою морфологічних параметрів та кількості фотосинтетичних пігментів та окису азоту (II) у дорослих рослинах, що у концентрації 25 мкг/мл відбувається позитивний вплив [12].

1.2.2. Фітотоксичний вплив фулерену C_{60}

Фулерен C_{60} може здійснювати фітотоксичний вплив на рослини. У дослідженні росту та розвитку томатів за дії фулерену C_{60} при високих концентраціях спостерігається сповільнення росту розсади, а у дорослих рослин зниження вмісту хлорофілу *b* і каротиноїдів [12].

В іншому дослідженні визначали цитогенетичні ефекти використовуючи *Allium*-тест. На *Allium cepa* (Цибуля ріпчата) здійснювався вплив фулерену C_{60} у різних концентраціях та оцінювався вплив на ріст і розвиток. Негативний вплив проявлявся зі збільшенням концентрації, при концентрації 50-70 мкг/мл було виявлено невеликі деформації коренів, також несприятливий вплив виявлявся у порушенні механізму формування веретена поділу у рослинних клітинах [13].

1.3. Фізіолого-біохімічні показники ефективності росту і розвитку рослин

1.3.1. Загальні відомості

Фізіолого-біохімічні показники рослин є важливими індикаторами їхнього стану, ефективності росту і розвитку, а також здатності до адаптації до несприятливих умов. Для підтримання нормальної життєдіяльності, рослині необхідні оптимальні значення рН середовища, забезпечення водою, мінеральними речовинами, достатнє освітлення та температура [14].

Фізіологічні та біохімічні показники формуються на основі функціональних змін, які відбуваються на клітинному та тканинному рівнях, та вказують на інтенсивність обміну речовин та ефективність проходження

біохімічних процесів. На клітинному рівні відбувається ріст рослинних клітин завдяки їхньому поділу, розтягненню та збільшенню розміру, при цьому відбувається зміна в структурі та функціонуванні основних органел (активізація рибосом, збільшення кількості мітохондрій, розвиток пластид). Мають важливе значення біохімічні параметри, такі як вміст хлорофілів, білків, полісахаридів, фенольних сполук, активність ферментів, що забезпечують протікання процесів дихання та діяльність антиоксидантної системи. На тканинному рівні у межах спеціалізованих систем можна визначити певні особливості. У тканинах меристеми можна визначити високу інтенсивність мітотичного поділу та біосинтезу нуклеїнових кислот. У листках рослин міститься високий вміст фотосинтетичних пігментів, що забезпечують проходження процесу фотосинтезу та газообміну. Провідні тканини, до яких належать ксилема і флоєма, характеризуються ефективністю транспорту води та мінеральних і поживних речовин. Тканини паренхіми здатні до накопичення запасних речовин, таких як білки, ліпіди та вуглеводи. Показники на різних рівнях організації рослинного організму забезпечують багаторівневу оцінку його життєздатності. Завдяки ним можна послідовно досліджувати стан рослини у певний момент розвитку і прогнозувати реакції на вплив стресових умов [14].

1.3.2. Фотосинтетичні пігменти

Відіграють важливу роль у забезпеченні процесу фотосинтезу, здійснюють первинне поглинання світлової енергії та перетворення її у хімічну. Фотосинтетичні пігменти поділяються на три основні групи: хлорофіли, каротиноїди, фікобіліни [14].

Хлорофіли – основні пігменти, що забезпечують проходження процесу фотосинтезу у рослині, синтезуються з глютамінової кислоти. За хімічною структурою є складними ефірами дикарбонової хлорофілінової кислоти, що містить фітол і метанол. За будовою молекула складається з порфіринового ядра та бічного ланцюга. Порфіринове ядро містить чотири пірольні кільця, що

ксантофілового циклу, що є важливим для захисту фотосинтетичного апарату від фотоокислювального пошкодження. Здатні поглинати світлову енергію у спектральному діапазоні, що не поглинається хлорофілами (400-550 нм), чим розширюють спектр поглинання світла, але ефективність процесу складає 40%, що нижче, ніж у хлорофілів (90%). Каротиноїди також беруть участь у репродуктивних процесах рослин, за рахунок накопичення у пиляках під час цвітіння. На рисунку 1.4 зображено групи споріднених каротиноїдів, до яких належать β -каротин, вітамін А, ретиналь та зеаксантин [14, 15].

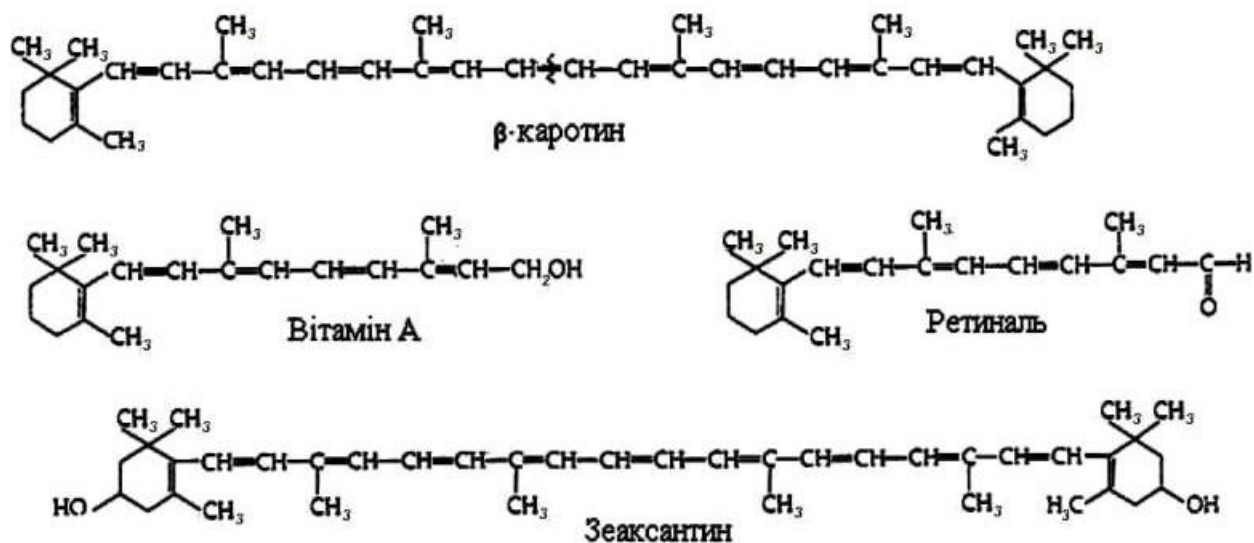


Рис. 1.4. Групи споріднених каротиноїдів [14]

Фікобіліни – група фотосинтетичних пігментів, які існують у формі фікобіліпротеїнів. Характерні для червоних водоростей, ціанобактерій та криптофітових водоростей. Основними типами фікобілінів є фікоеритрин та фікоціанін, вони мають аналогічну хлорофілу *b* дію та асоційовані з хлорофілом *a* у складі світлозбиральних комплексів. Мають лінійну тетрапірольну будову молекул, чотири пірольні кільця з'єднані метиленовими та метиновими містками [14].

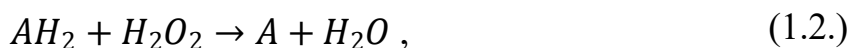
1.3.3. Каталаза

Каталаза – фермент, що складається з білка, до якого приєднана простетична група (гем, що містить атом заліза). Каталаза бере участь у процесах розкладання перекису водню (H_2O_2) на воду та молекулярний кисень (1.1). У даному випадку пероксид водню є побічним продуктом метаболізму і може діяти токсично на клітини, каталаза виконує захисну функцію за рахунок наявності антиоксидантних властивостей. Активність каталази залежить від рН середовища, якщо рН буде сильнокислим (нижче 3), то фермент руйнується, оптимальними є слаболужне або нейтральне середовище (рН близько 6,8). Каталаза виконує важливу роль під час виникнення стресових умов для рослини, наприклад, окислювального навантаження, та дозволяє рослині адаптуватися до несприятливих умов [14].



1.3.4. Пероксидаза

Пероксидаза – фермент, що належить до антиоксидантної системи рослин. Каталізує окисно-відновні реакції, використовуючи пероксид водню або інші органічні пероксиди як акцептори електронів (1.2) [14].



де А – окиснений субстрат, AH_2 – відновлена форма.

Гем-група пероксидаз забезпечує каталітичну активність, тому пероксидаза має подібну дію до каталази – нейтралізує пероксид водню. За будовою є залізопорфіриновим ферментом, містить простетичну групу, що має у складі атом заліза [14].

Фермент здатний активно окиснювати поліфеноли, ароматичні аміни, гідрохінон, за наявності іону мангану (II) – брати участь у реакціях з одноатомними фенолами. Також може діяти як оксидаза, якщо відбувається дефіцит пероксиду, у такому випадку субстрат окиснюється за допомогою молекулярного кисню (1.3) [14, 16].



До основних функцій пероксидаз належить захист рослини від токсичної дії пероксиду водню, полімеризація фенольних сполук шляхом окислення, чим зміцнює клітинні стінки, беруть участь у метаболізмі фітогормонів, впливають на ріст і розвиток рослин [16].

1.4. Загальна характеристика гусимки Таля (*Arabidopsis thaliana*)

1.4.1. Ботанічний опис рослини

Гусимка Таля (*Arabidopsis thaliana*) – це однорічна рослина, невеликого розміру (близько 5-30 см заввишки), належить до родини капустяні (*Brassicaceae*) [17].

Коренева система стрижнева. Стебла прямостоячі, варіюються за кількістю від одного до кількох, відходять від основи. Можуть бути простими або мати розгалуження, що знаходиться переважно у верхній частині стебла (дистально). Довжина стебел зазвичай від 2 до 30 см, менші розміри частіше спостерігаються у квітучих рослин, оскільки стебло може перекриватися листковою розеткою. Опушення стебла має чітку зональність. Базальна частина стебла зазвичай щільно вкрита простими трихомами, рідко – розгалуженими. Верхівка стебла зазвичай гола [17, 18].

Листя має ознаки диморфізму – поділяється на прикореневі та стеблові. Прикореневе листя формує розетку, черешок може мати малі розміри або бути відсутнім. Листова пластинка може мати оберненояйцеподібну, лопаткоподібну, еліптичну, яйцеподібну форму, розміри варіюються від 1 до 5 у довжину та від 2 до 15 мм у ширину. Краї листкової пластинки зазвичай цілісні, можуть бути зубчасті. Верхівка листка тупа, адаксальна поверхня містить переважно прості та черешкові трихоми. Стеблові листки зазвичай сидячі, листова пластинка має ланцетну, довгасту, лінійну або еліптичну форму, розміри варіюються 0,5-2,5 см завдовжки та 1-10 мм завширшки. Краї листків цілісні, рідко можуть бути малозубчастими [17, 18].

Квіти дрібні, радіально симетричні, зібрані у гронаподібні суцвіття. Суцвіття налічує 15-30 квіток. Квітковіжки у плодах тонкі, висхідні або широко розлогі, довжиною 0,3-1,2 см. Чашолистки мають зелене забарвлення з вузькими білими краями, довгасті, довжиною близько 1-2,5 мм, голі або рідко опушені дистально простими трихомами. Пелюстки зазвичай мають біле забарвлення, рідко – блідо-рожеве, лопаткоподібну форму із заокругленою верхівкою. Довжина пелюсток варіюється від 1,8 до 4 мм, а ширина – від 0,5 до 1,5 мм. Андроцей представлений шістьма тичинками, тичинкові нитки довжиною 1,5-2 мм. Пиляки округлі, довжиною близько 0,3-0,5 мм. Гінецей має зав'язь з 40-70 насінними зачатками. Стовпчик короткий – до 0,5 мм [17, 18].

Ботанічна ілюстрація *Arabidopsis thaliana* наведена на рисунку 1.5.



Рис. 1.5. Ботанічна ілюстрація *Arabidopsis thaliana*. Джерело: [19]

Насіння дрібне, розміром 0,3-0,5 мм у довжину та близько 0,4 мм у ширину, має еліпсоїдну або довгасту форму. Колір варіюється від світло-

коричневого до червонувато-коричневого. Плодоношення відбувається з квітня по червень. Плодами є стручки циліндричної або лінійної форми, стиснуті дорсально-вентрально, мають вузьку перегородку, форма пряма або злегка вигнута, довжина від 0,6 до 2 см, ширина від 0,5 до 0,8 мм. Стулки гладкі та валькуваті, кожна з чітко вираженою середньою жилкою. Кількість насінин у кожному локулі близько 20-30. Стовпчик короткий, шириною близько 0,2 мм, а довжиною – 0,3-0,5 мм. Хромосомне число $2n=10$ [17, 18].

1.4.2. Значення і використання

Гусимка Таля (*Arabidopsis thaliana*) хоч і є бур'яном, проте використовується як модельна рослина у генетиці, біотехнології, молекулярній біології тощо. Перевагами для використання є короткий життєвий цикл (близько 6 тижнів), невеликі розміри, здатність до самозапилення та повністю секвенований геном (розміром приблизно 135 Mb). Використовується для вивчення різних процесів, що протікають у рослині, у тому числі реакції рослини на зовнішні сигнали, патогени та стресові умови. Також за допомогою *Arabidopsis thaliana* досліджується проходження метаболічних процесів рослин [20, 21].

1.5. Загальна характеристика кукурудзи звичайної (*Zea mays*)

1.5.1. Ботанічний опис рослини

Кукурудза звичайна (*Zea mays*) – однорічна рослина з родини тонконогових (*Poaceae*) [22].

Коренева система мичкувата та розгалужена. Коріння може досягати глибини 1,5-4 м, проте основна частина зосереджена на глибині 30-60 см. Стебло розділене міжвузлями, прямостояче та циліндричне, 0,5-7 м у висоту та товщиною 2-7 см. Поверхня стебла вкрита епідермісом, під ним містяться щільно розташовані судинно-волокнисті пучки, що складають дерев'янисту частину. Центральна частина стебла заповнена паренхімою, що має губчасту будову та

містить судинні пучки та ситоподібні трубки. Надземних вузлів 6-20 і більше, а підземних вузлів – 4-9, завдяки їхньому розтягненню відбувається ріст рослини [22].

Листки лінійні, мають ланцетоподібну форму. Листкова пластина 5-12 см у ширину, довжина листків складає 70-110 см. Стебло охоплює листкова піхва, що переходить у листкову пластинку через язичок, у ділянці між піхвою та язичком утворюється листові вузли. Верхня частина листка опушена, нижня частина листка – гладенька, центральна жилка виражена і товста. Кожен листок, що розташовується вище за попередній, направлений у протилежний бік. Кількість листків у пізньостиглих рослин може перевищувати 30, а у ранньостиглих рослин варіюється від 8 до 10 [22, 23].

Ботанічна ілюстрація кукурудзи *Zea mays* наведена на рисунку 1.6.

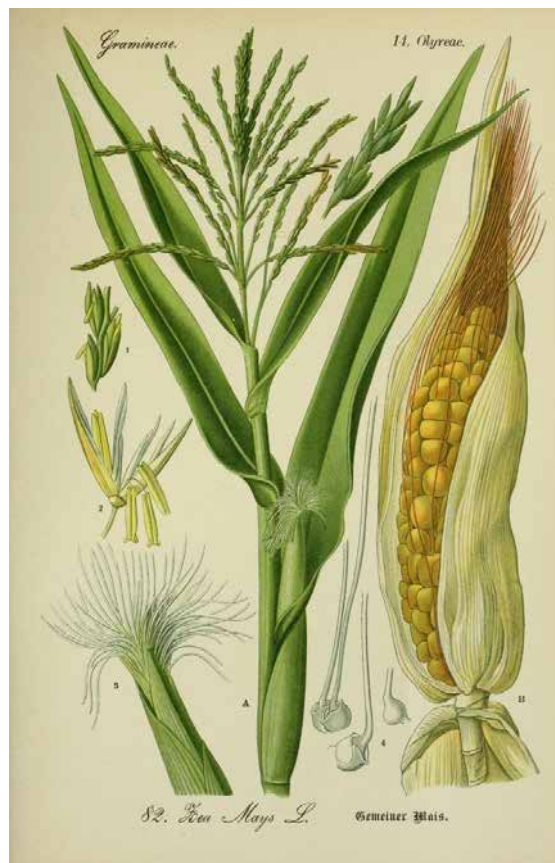


Рис. 1.6. Ботанічна ілюстрація *Zea mays*. Джерело: [24]

Квітки роздільностатеві. Чоловічі утворюють верхівкову волоть, а жіночі – початки, що розташовуються у пазухах листків. Волоть складається переважно з гілок першого порядку, розташовується на верхівці головного або

бічного пагона. Вздовж кожної гілки розташовуються двоквіткові колоски, що містять чоловічі тичинкові квітки (попарно у 2-4 ряди, один з яких сидячий, інший – на короткій ніжці). Кожна квітка має три тичинки з двогніздовими пиляками. Жіночі квітки розташовані у комірках стрижня вздовж рядів та згруповані у двоквіткові колоски, розвивається лише верхня квітка. Зерна розташовані парними рядами (від 8 до 24 і більше), кожне утворене добре розвиненою маточкою з зав'яззю, ниткоподібним стовпчиком (до 40–50 см) та приймочкою. Запилення здійснюється переважно вітром, пилок поширюється на відстань до 1 км [22].

Плід – початок, розвивається з бруньок, розташовується на циліндричному стебельці довжиною 15-35 см, ззовні оточений спеціальними листками, що мають редуковані пластинки та розвинені піхви. Такі листки мають внутрішню, світлішу, та зовнішню, більш товсту та зелену, частини. Зерна на початку розташовані парними рядами (від 8 до 24 і більше), кожне утворене добре розвиненою маточкою з зав'яззю, ниткоподібним стовпчиком (до 40–50 см) і приймочкою. На одному стеблі можливе утворення 2-3 початків. Насіння – зернівка. Хромосомне число $2n=20$ [22].

1.5.2. Значення і використання

Кукурудза звичайна (*Zea mays*) є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світі. Вона використовується як основне джерело їжі для людини, у якості корму для тварин, а також як сировина для виробництва біопалива, промислового крохмалю та спирту. Завдяки високій врожайності та універсальності у використанні, кукурудза має важливе значення в економіках багатьох країн [25].

1.6. Основні відмінності культурних і дикорослих рослин

Основними відмінностями культурних і дикорослих рослин є варіабельність ознак, їх середні значення, хімічна різноманітність та екологічні взаємодії. Культурні рослини мають відмінності у морфометричних та

біохімічних значеннях на рівні окремих листків. Такими характеристиками є питома площа листка, співвідношення вуглецю до азоту, щільність трихом, склад вторинних метаболітів. Процес доместикації супроводжується зсувом середніх значень ключових фізіологічних ознак. Селекція може призводити до збільшення питомої площі листка або модифікації хімічного складу рослин, що впливає на їхню продуктивність та здатність адаптуватися до стресових факторів. Культурні рослини часто характеризуються більшою різноманітністю хімічних сполук, особливо вторинних метаболітів. Взаємодія дикорослих рослин з навколишнім середовищем відрізняється більшою стійкістю до зовнішніх впливів та більшою здатністю до адаптації до стресових умов [26].

Культурні рослини – це рослини, що були одомашнені людиною для своїх потреб у харчуванні, господарстві або промисловості. Вони мають стабільну спадковість ознак, високу продуктивність та характеризуються пристосованістю до агротехнічних умов. Здатність до самостійного виживання у природному середовищі знижена [27].

Дикорослі рослини – це рослини, що ростуть у природних умовах, вони мають високу стійкість до кліматичних та ґрунтових умов. Багато дикорослих видів багаті на вітаміни, мінерали та біологічно активні речовини, що відкриває можливості для використання у харчовій промисловості та для досліджень. Вирощування дикорослих рослин потребує вивчення їх біологічних особливостей, розробки технологій вирощування, збирання, зберігання та переробки [28].

Розглянемо значення культурних рослин на прикладі кукурудзи. Кукурудза широко застосовується в харчовій промисловості для виробництва борошна, крупи, олії та інших продуктів. Також вона є важливою кормовою культурою. Кукурудза використовується для виробництва біоетанолу та інших промислових продуктів. Завдяки високій врожайності та стабільному попиту на внутрішньому та світовому ринках, кукурудза має велике значення для агропромислових підприємств. Її вирощування сприяє підвищенню прибутковості сільськогосподарських підприємств [29].

До дикорослих рослин відносяться бур'яни, що характеризуються високою адаптивністю до різноманітних умов середовища, що забезпечує їхню життєздатність у широкому спектрі екологічних умов. Вони мають високу репродуктивну здатність, утворюють велику кількість насіння, яке може зберігати схожість протягом тривалого часу. Бур'яни конкурують з культурними рослинами за ресурси для забезпечення умов життєдіяльності рослини. Можуть сприяти поширенню збудників хвороб та шкідників. Контроль бур'янів здійснюється за допомогою гербіцидів або використання природних природних інгібіторів [30].

Розглянемо вплив бур'янів на прикладі гусимки Таля (*Arabidopsis thaliana*). Рослина завдає шкоди деяким культурним рослинам, зокрема прямих видам. Має швидкий ріст та високу конкурентрспроможність, що найбільше виявляється під час фази проростання. Може знижувати урожайність культур завдяки здатності швидко поширюватися на площі ґрунту, це потребує своєчасного застосування гербіцидів або інших заходів контролю [31].

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Матеріали дослідження

2.1.1. Кукурудза звичайна (*Zea mays*)

Матеріалом дослідження була кукурудза звичайна (*Zea mays*) сорту Багратіон F1. Середньоранній гібрид, ФАО 240-260 [32]. Використовувалося насіння з партії 1313, серії 24. Для дослідження було відібрано 12,7 г насіння (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Зважування насіння *Zea mays* на лабораторних вагах.

2.1.2. Гусимка Таля (*Arabidopsis thaliana*)

Другим об'єктом дослідження була гусимка Таля (*Arabidopsis thaliana*). Це дикоросла рослина, яку відносять до бур'янів. Використовувалося насіння, що виділено з природного середовища у кількості 0,082 г (рис. 2.2)



Рис. 2.2. Зважування насіння *Arabidopsis thaliana* на лабораторних вагах

2.2. Матеріали та обладнання

Для вирощування рослин використовували універсальну ґрунтову суміш з рН близько 6-7 (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Ґрунтова суміш

Для дослідження було використано розчини фулерену C_{60} , вихідна концентрація яких становила 150 мкг/мл. Водні розчини розводили у концентраціях 0,9 мкг/мл, 0,6 мкг/мл, 0,3 мкг/мл, 0,1 мкг/мл (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Розведені розчини фулерену C_{60} у різних концентраціях

Також використовували наступні реактиви для проведення досліджень: 70% розчин етанолу, 50% розчин гіпохлориту натрію, дистильована вода, розчин 96 % етилового спирту, $CaCO_3$, 4 % розчин $(NH_4)_2MoO_4$, 0,03 % розчин H_2O_2 , 1M фосфатний буфер, 50 mM фосфатний буфер (pH 7,0), аскорбінова кислота (22 мг на 50 мл дистильованої H_2O), 1 mM пероксид водню, 0,5 mM Na-EDTA (трилон Б).

Для спектрофотометричного аналізу вмісту фотосинтетичних пігментів, каталази та пероксидази використовували спектрофотометр UVmini-1240 SHIMADZU (Японія), що має спектральний діапазон від 190 до 1100 нм.

Також для дослідження було використано лабораторну центрифугу CM-3M MICROmed, лабораторні ваги TBE «Техноваги», магнітну мішалку MM-5 MICROmed та водяну баню ВБ-10 MICROmed.

2.3. Умови вирощування дослідних рослин

2.3.1. Підготовка та посадка насіння

Для проведення стерилізації насіння попередньо були підготовлені 70% розчин етанолу, 50% розчин гіпохлориту натрію та дистильована вода.

Стерилізацію насіння проводили поетапно, однаково для обох рослинних об'єктів [33]:

1. Насіння *Arabidopsis thaliana* поміщали у чашку Петрі, а насіння *Zea mays* – у мірний стакан ємністю 150 мл.
2. Додавали 20 мл 70% етилового спирту у чашку Петрі та 100 мл у мірний стакан, щоб повністю покрити насіння (рис. 2.5). Суспендували насіння протягом двох хвилин.
3. Зливали розчин етилового спирту, далі додавали таку ж кількість 50% гіпохлориту натрію, що й етилового спирту. Обробка тривала 5 хвилин з періодичним короткочасним перемішуванням.
4. Гіпохлорит натрію зливали.
5. Проводили ретельне промивання насіння дистильованою водою 5 разів під витяжною шафою.



Рис. 2.5. Замочування насіння *Arabidopsis thaliana* (а) та насіння *Zea mays* (б) у 70% розчині етилового спирту

Після проведення стерилізації насіння висаджували у ґрунт. Для посадки насіння *Zea mays* використовувалися стаканчики об'ємом 500 мл, а для посадки насіння *Arabidopsis thaliana* використовували лотки для розсади (рис 2.6.). Перед обробкою фулереном C_{60} рослини *Arabidopsis thaliana* були пересаджені у більші

горщики (рис. 2.7). Рослини вирощувалися за кімнатної температури (близько 19-23°C), умов оптимального достатнього зволоження ґрунту та природнього освітлення.



Рис. 2.5. Посадка насіння *Arabidopsis thaliana* (а) та насіння *Zea mays* (б)

2.3.2. Обробка розчинами фулерену C₆₀

Обробка рослин кукурудзи здійснювалася методом поливу на фазі 2-3 листка (14 день після посадки) (рис. 2.6). Це обумовлено тим, що під час фази 2-8 листків кукурудза активно використовує поживні речовини, тому забезпечення її необхідними елементами сприяє оптимальному розвитку рослин [34]. Загальна тривалість вирощування складала 21 день.



Рис. 2.6. *Zea mays* на 14 день після посадки

Обробка рослин *Arabidopsis thaliana* здійснювалася методом поливу на 14 день після висадки. Загальна тривалість вирощування складала 42 дні, до моменту утворення насіння (рис. 2.7).

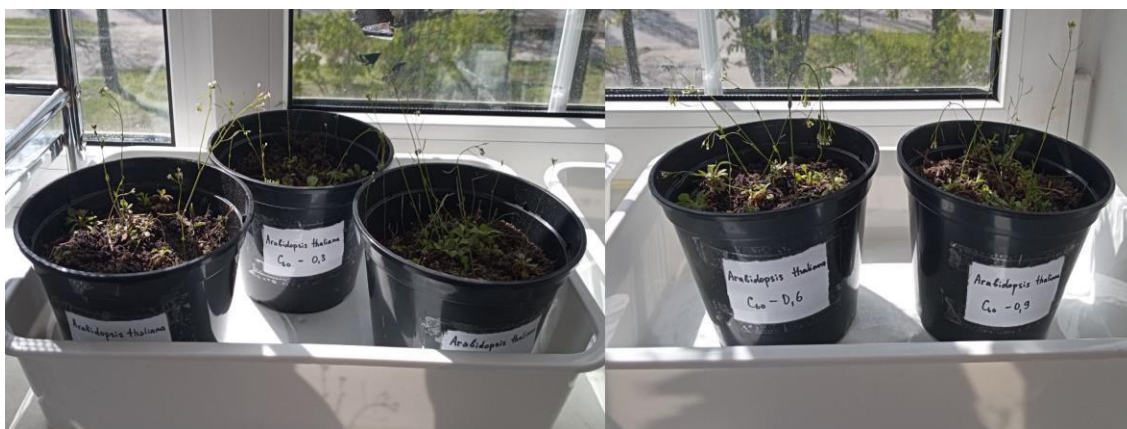


Рис. 2.7. *Arabidopsis thaliana* на 42 день після посадки

2.3.3. Відбір рослинного матеріалу

Для проведення аналізу морфометричних показників *Zea mays* відбиралося по 6 рослин кожної дослідної ділянки та контроль, рослини відмивалися від ґрунту у проточній воді від залишків ґрунту (рис. 2.8).

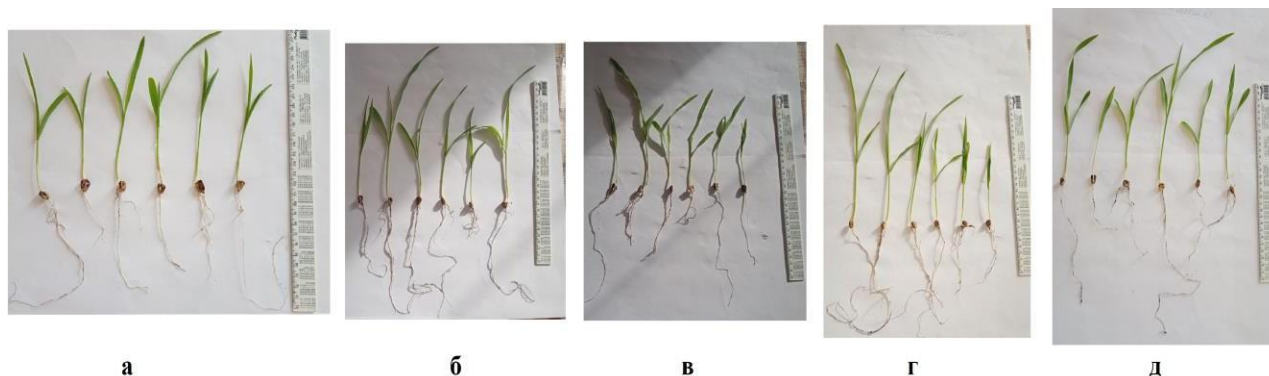


Рис. 2.8. Відбір рослин *Zea mays* для визначення морфометричних показників: а – контроль, б – рослини оброблені розчином фулерену C_{60} у концентрації 0,1 мкг/мл, в – рослини оброблені розчином фулерену C_{60} у концентрації 0,3 мкг/мл, г – рослини оброблені розчином фулерену C_{60} у концентрації 0,6 мкг/мл, д – рослини оброблені розчином фулерену C_{60} у концентрації 0,9 мкг/мл.

Для проведення аналізу морфометричних показників *Arabidopsis thaliana* відбиралося по 5 рослин кожної дослідної групи та контроль, рослини відмивалися від ґрунту у проточній воді (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Відбір рослин *Arabidopsis thaliana* для визначення морфометричних показників: а – контроль, б – рослини оброблені розчином фулерену C_{60} у концентрації 0,1 мкг/мл, в – рослини оброблені розчином фулерену C_{60} у концентрації 0,3 мкг/мл, г – рослини оброблені розчином фулерену C_{60} у концентрації 0,6 мкг/мл, д – рослини оброблені розчином фулерену C_{60} у концентрації 0,9 мкг/мл

2.4. Визначення морфометричних показників

Для оцінки морфометричних показників *Zea mays* були обрані такі параметри: довжина пагона та кореня, повна довжина рослини, маса кореня і пагона, повна маса рослини, товщина пагона та кореня, кількість листків.

Для оцінки морфометричних показників *Arabidopsis thaliana* були обрані такі параметри: довжина пагона та кореня, загальна довжина рослини, маса кореня, пагона та листків, загальна маса рослини.

2.5. Визначення вмісту фотосинтетичних пігментів

Попередньо були підготовані розчин 96% етилового спирту, CaCO_3 .

Вміст фотосинтетичних пігментів як і *Arabidopsis thaliana*, так і *Zea mays* визначали спектрофотометричним методом, без попереднього розділення хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів [35]. Методика проведення аналізу складалася з етапів:

1. Наважку рослинного матеріалу (0,1 г) подрібнювали та поміщали в охолоджену ступку.
2. На кінчику лабораторного шпателя вносили невелику кількість CaCO_3 . Цей етап необхідний для попередження феофітинізації пігментів, а також для нейтралізації клітинного соку.
3. Далі доливали 96% розчин етилового спирту і гомогенізували.
4. Отриманий екстракт зливали на скляний фільтр, на який попередньо поміщений фільтрувальний папір. Ступку ополіскували декілька разів невеликими порціями розчинника і зливали на фільтр.
5. Екстракт фільтрувався у пробірки та після фільтрування доводився до 5 мл.

Оптичну густина вимірювали спектрофотометричним методом. Хлорофіли *a* та *b* вимірювалися при довжині хвилі 663 нм та 646 нм відповідно, каротиноїди вимірювали при довжині хвилі 470 нм. Розчинник використовували як контроль. Концентрацію пігментів розраховували за формулами:

$$C_{\text{хл. } a} = 12,21 \cdot D_{663} - 2,81 \cdot D_{646}, \quad (2.1.)$$

де $C_{\text{хл. } a}$ – вміст хлорофілу a , мг/л, D_{663} – оптична густина розчину за довжини хвилі 663 нм, D_{646} – оптична густина розчину за довжини хвилі 646 нм.

$$C_{\text{хл. } b} = 20,13 \cdot D_{646} - 5,03 \cdot D_{663}, \quad (2.2.)$$

де $C_{\text{хл. } b}$ – вміст хлорофілу b , мг/л, D_{646} – оптична густина розчину за довжини хвилі 646 нм, D_{663} – оптична густина розчину за довжини хвилі 663 нм.

$$C_{\text{хл. } a} - C_{\text{хл. } b} = 7,12 \cdot D_{660} + 16,8 \cdot D_{642,5}, \quad (2.3.)$$

де $C_{\text{хл. } a} - C_{\text{хл. } b}$ – різниця концентрацій хлорофілів a і b , мг/л, D_{660} – оптична густина розчину за довжини хвилі 660 нм, $D_{642,5}$ – оптична густина розчину за довжини хвилі 642,5 нм.

$$C_{\text{кар}} = \frac{1000 \cdot D_{470} - 3,27 \cdot C_{\text{хл. } a} - 100 \cdot C_{\text{хл. } b}}{229}, \quad (2.4.)$$

де $C_{\text{кар}}$ – вміст каротиноїдів, мг/л, D_{470} – оптична густина розчину за довжини хвилі 470 нм.

Уміст пігментів у рослинній сировині розраховували за формулою:

$$A = \frac{C \cdot V}{H \cdot 1000}, \quad (2.5.)$$

де A – вміст пігментів, мг/г, C – концентрація пігментів, мг/л, V – об'єм екстракту, мл, H – наважка рослинного матеріалу, г.

2.6. Визначення активності каталази

Попередньо були підготовлені 4% розчин $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$, 0,03% розчин H_2O_2 , 1М фосфатний буфер.

Визначення активності каталази відбувалося спектрофотометричним методом. Принцип методу ґрунтується на здатності пероксиду водню утворювати з аніоном молібдату стійкий комплекс жовтого кольору, інтенсивність якого вимірюють спектрофотометрично за довжини хвилі 410 нм [36]. Методика проведення аналізу складалася з етапів:

1. Наважку рослинного матеріалу (0,25 г) розтирали в охолодженій ступці на холодоагенті з 5 мл фосфатного буферу.
2. Переносили у епіндорф, центрифугували за 3 тис. об/хв 10 хвилин.
3. У пробірки розносили 1 мл пероксиду водню і додавали 100 мкл супернатанту.
4. У контрольну пробу вносили 100 мкл дистильованої води замість супернатанту.
5. Вміст пробірок інкубували протягом 10 хвилин, при температурі 37°C на водяній бані.
6. Реакцію запиняли додаванням 1 мл молібдату амонію.
7. Вміст пробірок центрифугували 10 хвилин при 3 тис. об/хв.

Інтенсивність забарвлення надосаду вимірювали спектрофотометром при довжині хвилі 410 нм. Активність каталази розраховували за формулою:

$$E = (A_{\text{хол}} - A_{\text{досл}}) \cdot V \cdot t \cdot \frac{K}{m}, \quad (2.6.)$$

де E – активність каталази (мкат/мг), $A_{\text{хол}}$ – екстинція холостої проби, у якій замість пероксиду водню додавали H_2O , $A_{\text{досл}}$ – екстинція дослідної проби, V – обсяг внесеної проби (100 мкл), t – час інкубації (600 с), m – маса тканини при внесенні проби (мг), K – коефіцієнт мілімолярної екстинції пероксиду водню ($22,2 \cdot 10^3 \text{ мМ}^{-1} \text{ хем}^{-1}$).

2.7. Визначення активності пероксидази

Попередньо були підготовлені реактиви: 50 мМ фосфатний буфер (рН 7,0) (299 мг Na_2HPO_4 та KH_2PO_4 на 100 мл дистильованої H_2O), аскорбінова кислота 22 мг на 50 мл дистильованої H_2O), 1 мМ пероксид водню (11 мкл 30% H_2O_2 на 100 мл H_2O), 0,5 мМ Na-EDTA (трилон Б) (7,31 мг на 50 мл дистильованої H_2O).

Принцип методу полягає в окисненні аскорбінової кислоти при зниженні світлопоглинання за довжини хвилі 290 нм. Хлоропласти можуть поглинати пероксид водню за допомогою пероксидази, яка використовує фотовідновник як

донор електронів, а донор електронів для поглинання перекису водню у хлоропластах – L-аскорбат, який регенерується дегідроаскорбат системою [36].

Методика проведення аналізу складалася з етапів:

1. Наважку рослинного матеріалу (0,25 г) розтирали у охолодженій ступці на холодоагенті з 1,5-2 мл охолодженого 50 mM фосфатного буферу (pH 7,0)
2. Отриманий гомогенат переносили у центрифужну пробірку та змивали залишки рослинного матеріалу невеликими кількостями фосфатного буферу (по 100 мкл 5 разів). Загальний об'єм становив 5 мл.
3. Далі проби центрифугували за 15 тис. об/хв протягом 20 хвилин за температури 4°C.
4. Надосад використовували для визначення активності ферменту. Надосад не можна зберігати у холодильнику більше 2 годин.
5. Дослідна проба містила суміш реагентів: 1,5 мл 50 mM фосфатного буферу, 0,5 мл розчину 1 mM перекису водню, 0,5 мл розчину аскорбінової кислоти, 0,1 мл розчину 0,5 mM розчину Na-EDTA.
6. Контрольна проба містила суміш реагентів: 1,5 мл 50 mM фосфатного буферу, 1 мл дистильованої води, 0,1 мл розчину 0,5 mM розчину Na-EDTA.
7. Реакцію починали внесенням 50 мкл охолодженого надосаду до кювети, в яку перенесено попередню суміш реагентів відповідно до того контрольна проба чи дослідна.
8. Суміш реагентів та внесеного надосаду швидко та інтенсивно струшували.
9. Одразу вимірювали оптичне поглинання досліджуваної проби на спектрофотометрі за довжини хвилі 290 нм 2-3 хв кожні 10 секунд.
10. Отримані результати вимірювання використовували для розрахунку швидкості зниження максимуму поглинання у часовому проміжку, що відповідає лінійній кривій при 290 нм ($tg=\Delta D/t$).

11. Для переходу від тригонометричної функції до абсолютних одиниць активності пероксидази використовували формулу:

$$APox = \frac{(tg_c - tg_k) \cdot V_p}{2,8 \cdot C_p}, \quad (2.7.)$$

де $APox$ – активність пероксидази, мкМ аскорбату на мг білка за хв, tg_c – $\Delta D/t$ для дослідної проби, tg_k – $\Delta D/t$ для контрольної проби, V_p – об'єм реакційного середовища у пробі (2,65 мл), 2,8 – коефіцієнт екстинції аскорбату, мкМ/см, C_p – вміст білка у пробі, мг.

12. Вміст білку у супернатанті визначали за реакцією Бредфорда.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Результати морфометричного аналізу

3.1.1 Морфометричні показники *Arabidopsis thaliana*

Аналіз морфометричних показників проводився на 42 день після висадки насіння у ґрунт. З кожної групи випадковим чином було відібрано по 5 рослин і досліджено такі параметри як загальна довжина рослини, довжина пагонів, довжина коренів, середня маса рослини, середня маса пагонів, середня маса коренів. Отримані результати було опрацьовано методом статистичного аналізу.

Порівняння середніх довжин рослин гусимки Таля та співвідношення довжини кореня до пагону наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Порівняння середніх показників довжини пагона, кореня та загальної довжини рослини *Arabidopsis thaliana*

Показник середнього значення	Контроль	Конц С ₆₀ 0,1 мкг/мл	Конц С ₆₀ 0,3 мкг/мл	Конц С ₆₀ 0,6 мкг/мл	Конц С ₆₀ 0,9 мкг/мл
Повна довжина, мм	161,8	191,8	144,6	184,6	159,2
Довжина пагона, мм	104,2	117,8	87	132,2	105,4
Довжина кореня, мм	48	61,7	48	43,7	44,9
Співвідношення довжини пагону до довжини кореня	2:1	2:1	1,8:1	3:1	2,3:1

За отриманими показниками встановлено найбільшу довжину пагона при концентрації фулерену С₆₀ 0,6 мкг/мл, а найбільшу довжину кореня при концентрації фулерену С₆₀ 0,1 мкг/мл, водночас найменші показники довжини пагона при концентрації фулерену С₆₀ 0,3 мкг/мл, а найменші показники довжини кореня – у контрольних зразків та при концентрації фулерену С₆₀ 0,3 мкг/мл.

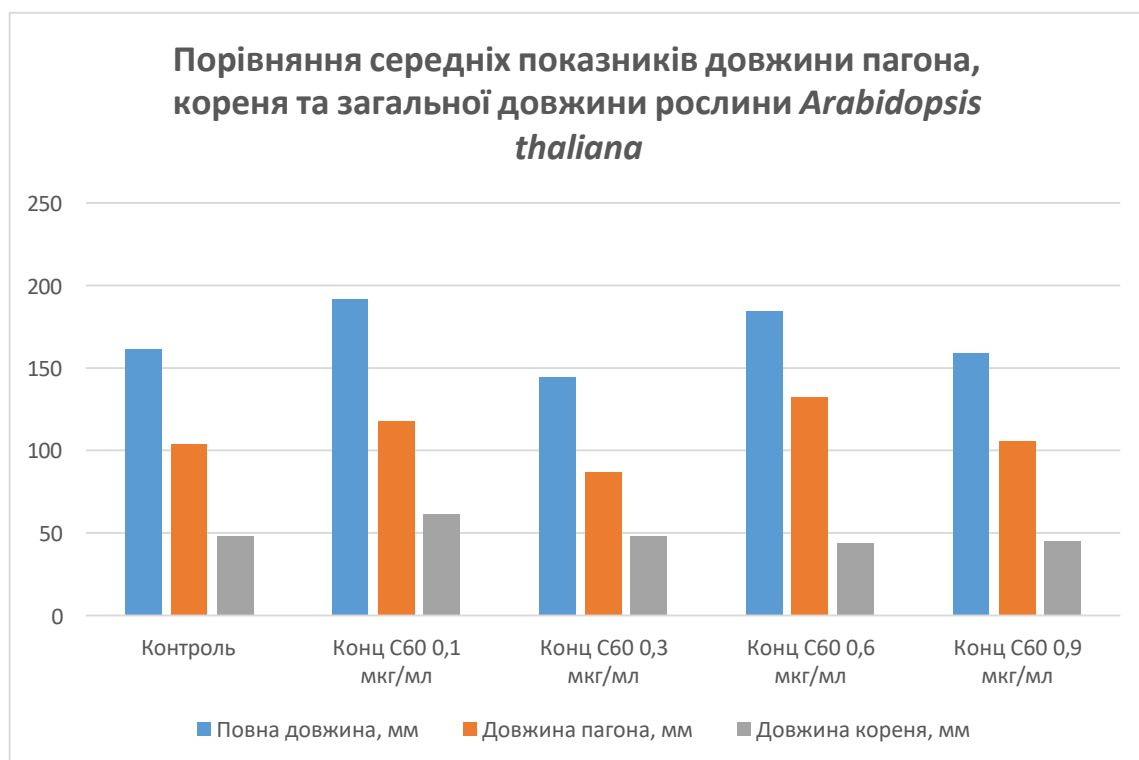


Рис. 3.1. Порівняння середніх показників довжини пагона, кореня та загальної довжини рослини *Arabidopsis thaliana*

Порівняння середніх мас рослин гусимки Таля наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Порівняння середніх показників маси пагона, кореня, листків та загальної маси рослини *Arabidopsis thaliana*

Показник середнього значення	Контроль	Конц С ₆₀ 0,1 мкг/мл	Конц С ₆₀ 0,3 мкг/мл	Конц С ₆₀ 0,6 мкг/мл	Конц С ₆₀ 0,9 мкг/мл
Повна маса, г	0,446	0,601	0,344	0,568	0,400
Маса пагона, г	0,054	0,074	0,028	0,075	0,062
Маса листків, г	0,278	0,438	0,243	0,373	0,285
Маса кореня, г	0,114	0,089	0,073	0,12	0,053
Співвідношення маси надземної частини рослини до підземної	2,91:1	5,75:1	3,71:1	3,73:1	6,55:1

За показниками встановлено найбільшу масу пагона при концентрації фулерену С₆₀ 0,6 мкг/мл, найбільшу масу кореня при концентрації фулерену С₆₀

0,6 мкг/мл, , найбільшу масу листків при концентрації фулерену C_{60} 0,1 мкг/мл, водночас найменші показники маси пагона при концентрації фулерену C_{60} 0,3 мкг/мл, найменші показники маси кореня при концентрації фулерену C_{60} 0,9 мкг/мл, найменші показники маси листків при концентрації фулерену C_{60} 0,3 мкг/мл.

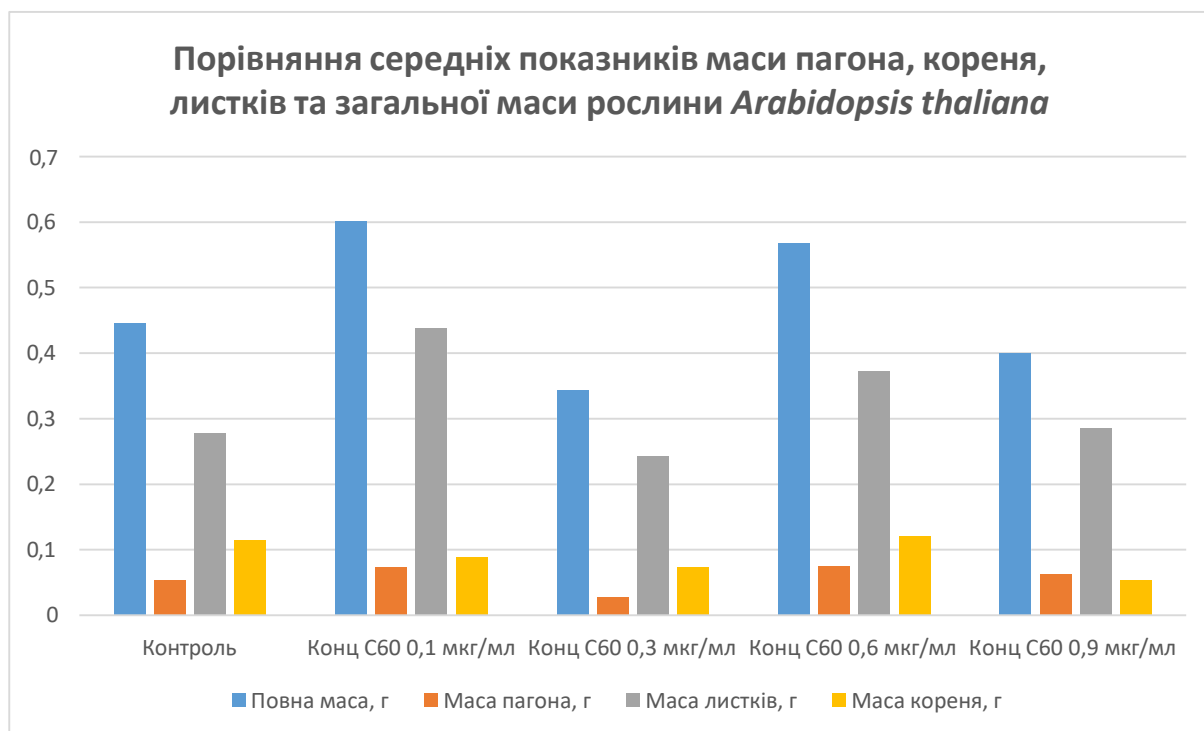


Рис. 3.2. Порівняння середніх показників маси пагона, кореня, листків та загальної маси рослини *Arabidopsis thaliana*

3.1.2 Морфометричні показники *Zea mays*

Аналіз морфометричних показників проводився на 21 день після висадки насіння у ґрунт. З кожної групи випадковим чином було відібрано по 6 рослин і досліджено такі параметри як загальна довжина рослини, довжина пагонів, довжина коренів, загальна маса рослини, маса пагонів, маса коренів. Отримані результати було опрацьовано методом статистичного аналізу.

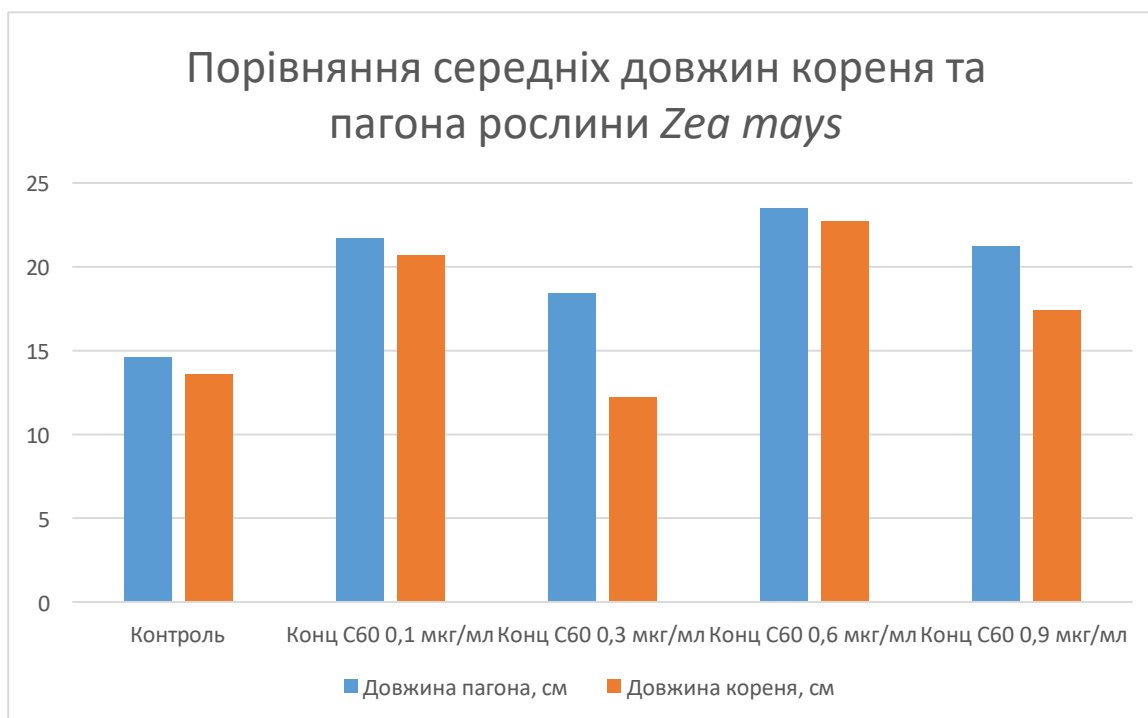
Порівняння довжин пагонів і коренів рослин кукурудзи звичайної наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3.

Порівняння середніх довжин кореня та пагона рослини *Zea mays*

№ рослини	Довжина пагона, см					Довжина кореня, см				
	контр	0,1	0,3	0,6	0,9	контр	0,1	0,3	0,6	0,9
1	14,2	17	18,9	32,5	24,8	17,3	14,7	22,5	45,5	20,5
2	11,1	28,5	25,2	28	15	7	28,4	9,1	36,1	10
3	16	21,7	18,7	25,6	21,8	12,8	24,6	11,6	17,6	14
4	19,3	20,1	18,6	16	29,6	9,1	21,7	7	13,3	32,7
5	14,2	16,5	17,5	19,1	16,5	10,5	7	19,4	11,5	9,5
6	13	26,5	11,2	19,7	19,4	25	27,8	3,4	12,2	17,5
Середнє	14,6	21,7	18,4	23,5	21,2	13,6	20,7	12,2	22,7	17,4

За показниками визначено, що найбільшу довжину пагона мають рослини, що вирощувалися при концентрації фулерену C_{60} 0,6 мкг/мл, а найбільшу довжину кореня при концентрації фулерену C_{60} 0,6 мкг/мл, найменші показники довжини пагона у контрольних зразків та при концентрації фулерену C_{60} 0,3 мкг/мл, а найменші показники довжини кореня – при концентрації фулерену C_{60} 0,3 мкг/мл.

Рис. 3.3. Порівняння середніх довжин кореня та пагона рослини *Zea mays*

Порівняння загальної довжини кукурудзи звичайної наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Порівняння загальної довжини *Zea mays*

№ рослини	Загальна довжина рослини <i>Zea mays</i>				
	Контроль	Конц С ₆₀ 0,1 мкг/мл	Конц С ₆₀ 0,3 мкг/мл	Конц С ₆₀ 0,6 мкг/мл	Конц С ₆₀ 0,9 мкг/мл
1	31,5	31,7	41,4	78	44,3
2	18,1	56,9	34,3	64,1	25
3	28,8	46,3	30,3	43,2	35,8
4	28,4	41,8	25,6	29,3	62,3
5	24,7	23,5	36,9	30,6	26
6	38	54,3	14,6	31,9	36,9
Середнє	28,6	42,4	30,5	46,2	38,6

За показниками визначено, що найбільшу загальну довжину мають рослини, що вирощувалися при концентрації фулерену С₆₀ 0,6 мкг/мл, найменші показники загальної довжини у контрольних зразків та при концентрації фулерену С₆₀ 0,3 мкг/мл.

Порівняння середніх мас пагонів і коренів рослин кукурудзи звичайної наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5.

Порівняння маси пагона і кореня *Zea mays*

№ рослини	Маса пагона, г					Маса кореня, г				
	контр	0,1	0,3	0,6	0,9	контр	0,1	0,3	0,6	0,9
1	0,246	0,298	0,302	0,790	0,261	0,272	0,314	0,367	0,369	0,384
2	0,17	0,611	0,594	0,723	0,486	0,291	0,510	0,458	0,456	0,364
3	0,264	0,462	0,250	0,522	0,419	0,355	0,472	0,303	0,357	0,411
4	0,343	0,398	0,280	0,250	0,709	0,287	0,354	0,316	0,291	0,318
5	0,268	0,261	0,263	0,380	0,303	0,361	0,271	0,253	0,353	0,294
6	0,205	0,559	0,166	0,237	0,344	0,260	0,455	0,370	0,280	0,349
Середнє	0,249	0,413	0,309	0,484	0,420	0,304	0,396	0,345	0,351	0,353

За показниками визначено, що найбільшу масу пагона мають рослини, що вирощувалися при концентрації фулерену C_{60} 0,6 мкг/мл, а найбільшу масу кореня при концентрації фулерену C_{60} 0,1 мкг/мл, найменші показники маси пагона у контрольних зразків та при концентрації фулерену C_{60} 0,3 мкг/мл, а найменші показники маси кореня – у контрольних зразків та при концентрації фулерену C_{60} 0,3 мкг/мл.

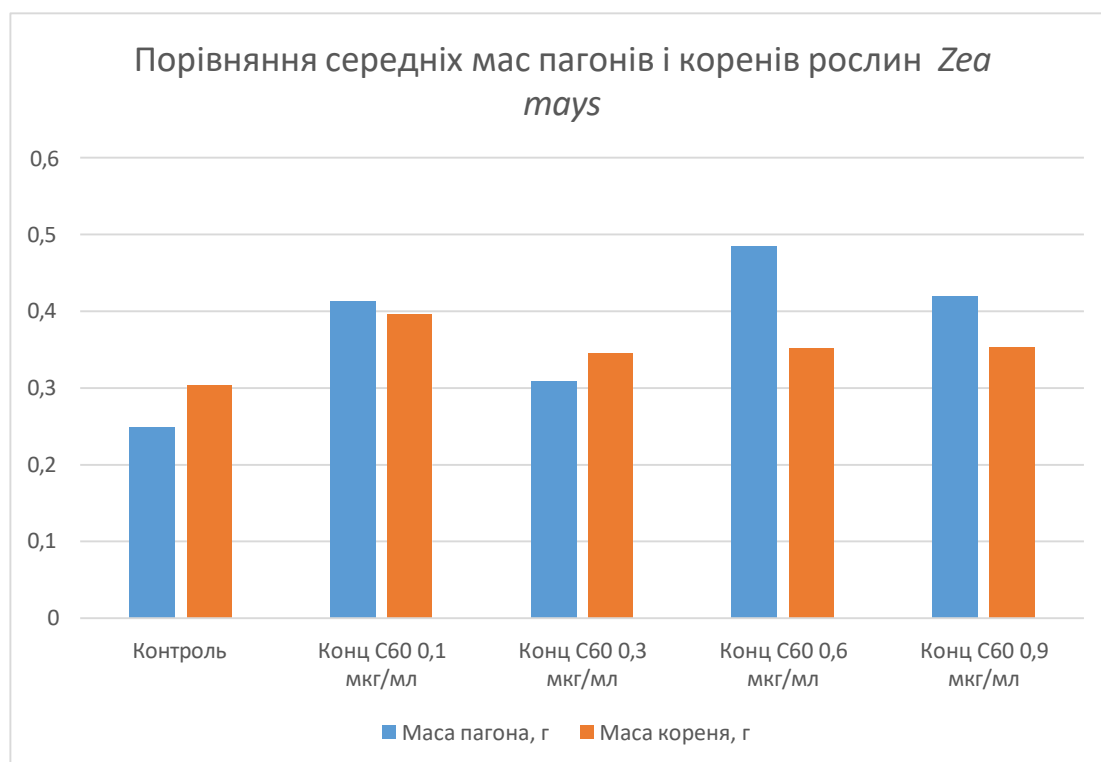


Рис. 3.4. Порівняння середніх мас пагонів і коренів рослин *Zea Mays*

Порівняння загальної маси кукурудзи звичайної наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6.

Порівняння загальної маси *Zea mays*

№ рослини	Загальна маса рослин <i>Zea mays</i>				
	Контроль	Конц C_{60} 0,1 мкг/мл	Конц C_{60} 0,3 мкг/мл	Конц C_{60} 0,6 мкг/мл	Конц C_{60} 0,9 мкг/мл
1	0,518	0,612	0,669	1,159	0,645
2	0,461	1,121	1,052	1,179	0,850
3	0,619	0,934	0,553	0,879	0,830
4	0,630	0,752	0,596	0,541	1,027
5	0,629	0,532	0,516	0,733	0,597
6	0,465	1,014	0,536	0,517	0,693
Середнє	0,553	0,828	0,653	0,835	0,774

За показниками визначено, що найбільшу загальну масу мають рослини, що вирощувалися при концентрації фулерену C_{60} 0,6 мкг/мл, найменші показники загальної маси у контрольних зразків та при концентрації фулерену C_{60} 0,3 мкг/мл.

3.2. Результати визначення вмісту фотосинтетичних пігментів

3.2.1 Вміст фотосинтетичних пігментів у рослинному матеріалі

Arabidopsis thaliana

За результатами аналізу (табл. 3.7) максимальне значення хлорофілу *a* міститься у контрольному зразку. Мінімальна концентрація хлорофілу *a* міститься у зразках, оброблених розчинами фулерену C_{60} з концентраціями 0,1 мкг/мл та 0,6 мкг/мл.

Найвища концентрація хлорофілу *b* виявлена у контрольному зразку та зразку, обробленому розчином з концентрацією 0,9 мкг/мл. Найменший вміст зафіксовано у зразку з концентрацією фулерену C_{60} 0,1 мкг/мл.

Вміст каротиноїдів зростає зі збільшенням концентрації розчину фулерену C_{60} , досягаючи максимального значення у зразку з концентрацією 0,9 мкг/мл. Мінімальна концентрація каротиноїдів спостерігається у контрольному зразку.

Найвищий сумарний вміст фотосинтетичних пігментів виявлено у контрольному зразку. Мінімальне сумарне значення пігментів зафіксовано у зразку, обробленому розчином з концентрацією 0,1 мкг/мл.

Таблиця 3.7

Вміст фотосинтетичних пігментів у рослинах

Зразок	Хлорофіл <i>a</i> , мкг/л	Хлорофіл <i>b</i> , мкг/л	Каротиноїди, мкг/л	Загальний вміст пігментів, мг/г
Контроль	11,8	3,4	2,2	5,0
Конц C_{60} 0,1 мкг/мл	6,1	1,5	2,7	2,4
Конц C_{60} 0,3 мкг/мл	7,4	1,8	2,4	3,0
Конц C_{60} 0,6 мкг/мл	6,1	1,6	2,7	2,5
Конц C_{60} 0,9 мкг/мл	7,2	3,4	4,7	2,9

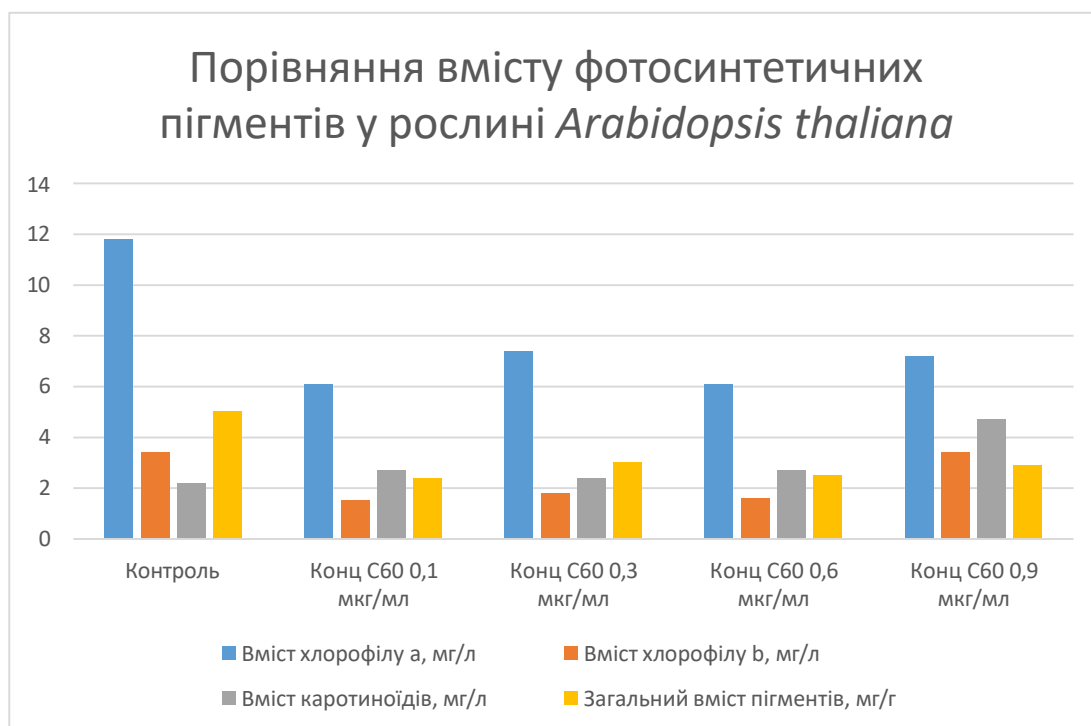


Рис. 3.5. Порівняння вмісту фотосинтетичних пігментів у рослині *Arabidopsis thaliana*

3.2.2. Вміст фотосинтетичних пігментів у рослинному матеріалі *Zea mays*

За результатами аналізу (табл. 3.8) максимальне значення хлорофілу *a* міститься у зразку, обробленому розчином фулерену C_{60} з концентрацією 0,1 мкг/мл. Мінімальна концентрація хлорофілу *a* міститься у контрольному зразку.

Найвища концентрація хлорофілу *b* виявлена у зразку, обробленому розчином з концентрацією фулерену C_{60} 0,3 мкг/мл. Найменший вміст зафіксовано у контрольному зразку.

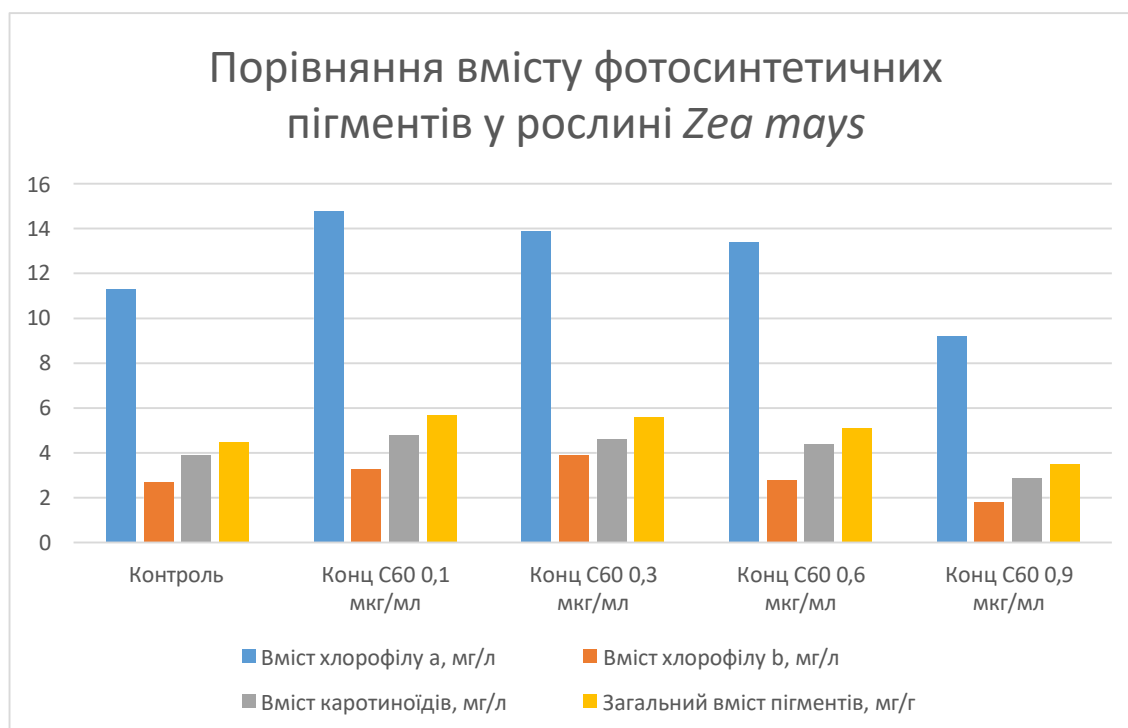
Вміст каротиноїдів має найбільше значення у зразках з концентраціями фулерену C_{60} 0,1 мкг/мл та 0,3 мкг/мл. Мінімальна концентрація каротиноїдів спостерігається у зразку з концентрацією фулерену C_{60} 0,9 мкг/мл.

Найвищий сумарний вміст фотосинтетичних пігментів виявлено у зразках з концентраціями фулерену C_{60} 0,1 мкг/мл та 0,3 мкг/мл. Мінімальне сумарне значення пігментів зафіксовано у зразку, обробленому розчином з концентрацією 0,9 мкг/мл.

Таблиця 3.8

Порівняння вмісту фотосинтетичних пігментів у рослині *Zea mays*

Зразок	Хлорофіл <i>a</i> , мкг/л	Хлорофіл <i>b</i> , мкг/л	Каротиноїди, мкг/л	Загальний вміст пігментів, мг/г
Контроль	11,3	2,7	3,9	4,5
Конц С ₆₀ 0,1 мкг/мл	14,8	3,3	4,8	5,7
Конц С ₆₀ 0,3 мкг/мл	13,9	3,9	4,6	5,6
Конц С ₆₀ 0,6 мкг/мл	13,4	2,8	4,4	5,1
Конц С ₆₀ 0,9 мкг/мл	9,2	1,8	2,9	3,5

Рис. 3.6. Порівняння вмісту фотосинтетичних пігментів у рослині *Zea mays*

3.2. Результати визначення активності каталази

3.2.1 Активність каталази у рослинному матеріалі *Arabidopsis thaliana*

За результатами аналізу (табл. 3.9) виявлено, що мінімальне значення активності каталази зафіксовано у контрольному зразку. Найбільшу активність каталази мав зразок, оброблений розчином фулерену С₆₀ з концентрацією 0,1 мкг/мл.

Таблиця 3.9

Визначення активності каталази у рослинах *Arabidopsis thaliana*

Зразок	Активність каталази, кат
Контроль	18648
Конц С ₆₀ 0,1 мкг/мл	11694696
Конц С ₆₀ 0,3 мкг/мл	269064
Конц С ₆₀ 0,6 мкг/мл	221112
Конц С ₆₀ 0,9 мкг/мл	559440

Рис. 3.7. Активність каталази у рослині *Arabidopsis thaliana*

3.2.2. Активність каталази у рослинному матеріалі *Zea mays*

За результатами аналізу (табл. 3.10) виявлено, що мінімальне значення активності каталази зафіксовано у контрольному зразку. Найбільшу активність каталази мав зразок, оброблений розчином фулерену С₆₀ з концентрацією 0,9 мкг/мл.

Таблиця 3.10

Визначення активності каталази у рослинах *Zea mays*

Зразок	Активність каталази, кат
Контроль	58608
Конц С ₆₀ 0,1 мкг/мл	325008
Конц С ₆₀ 0,3 мкг/мл	247752
Конц С ₆₀ 0,6 мкг/мл	285048
Конц С ₆₀ 0,9 мкг/мл	484848

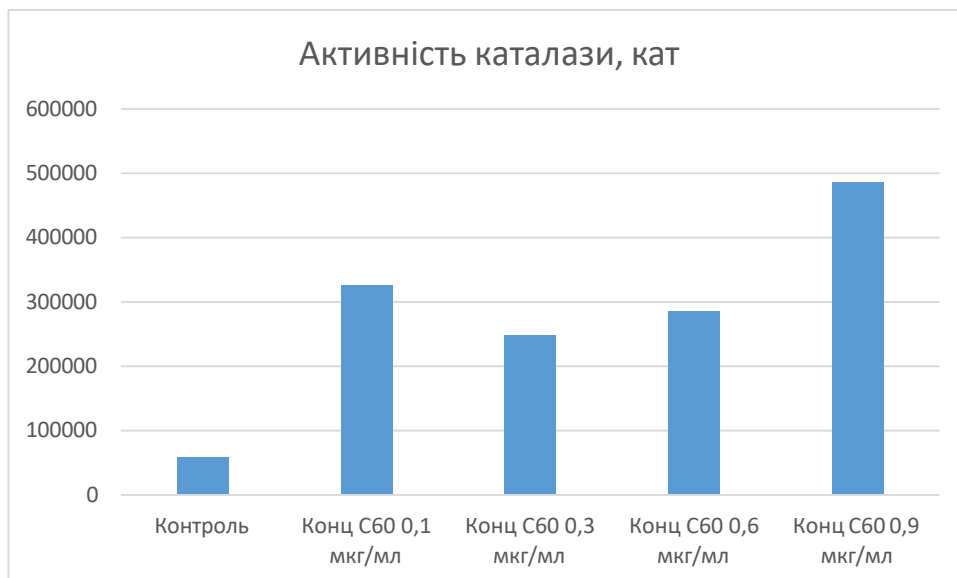


Рис. 3.8. Активність каталази у рослині *Zea mays*

3.3. Результати визначення активності у рослинному матеріалі *Zea mays*

За результатами аналізу (табл. 3.11) виявлено, що мінімальне значення активності пероксидази зафіксовано у контрольному зразку. Найбільшу активність каталази мав зразок, оброблений розчином фулерену C₆₀ з концентрацією 0,3 мкг/мл.

Таблиця 3.11

Визначення активності каталази у рослинах *Zea mays*

Зразок	Активність пероксидази, мкМ аскорбату на мг білка за хвилину
Контроль	167,35
Конц C ₆₀ 0,1 мкг/мл	225,68
Конц C ₆₀ 0,3 мкг/мл	209,08
Конц C ₆₀ 0,6 мкг/мл	201,03
Конц C ₆₀ 0,9 мкг/мл	188,42

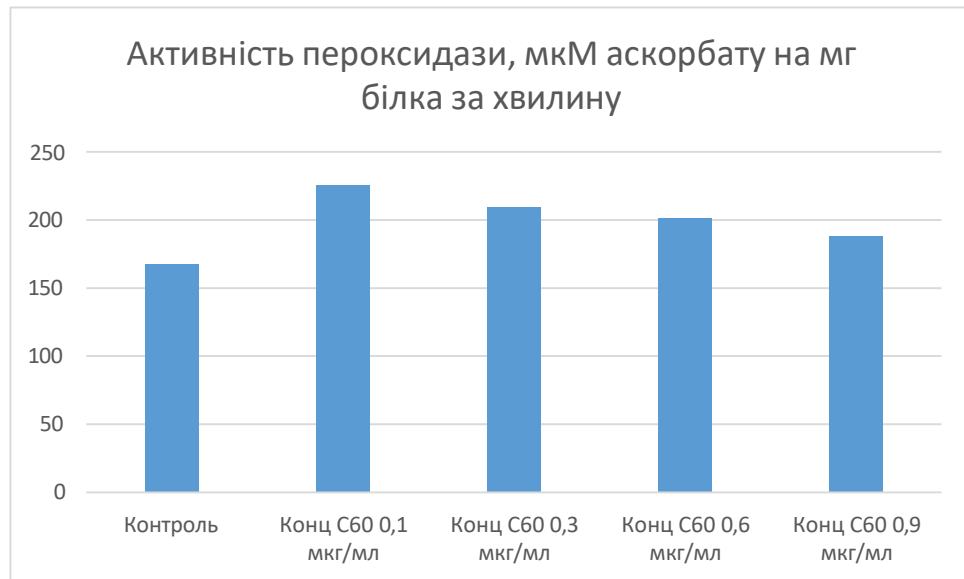


Рис. 3.8. Активність пероксидази у рослині *Zea mays*

ВИСНОВКИ

1. Дослідження морфометричних показників *Arabidopsis thaliana* та *Zea mays* показало, що існують певні варіації у рості та розвитку рослин під впливом різних концентрацій фулерену C₆₀. Отримані дані свідчать про те, що фулерен C₆₀ може мати як стимулюючий, так і інгібуючий вплив на ріст рослин, залежно від концентрації та виду рослини. Найефективніші розчини фулерену C₆₀ для обох рослин з концентраціями 0,1 мкг/мл та 0,6 мкг/мл.

2. Аналіз вмісту фотосинтетичних пігментів (хлорофілу *a*, хлорофілу *b* та каротиноїдів) у листках досліджуваних рослин показав, що фулерен C₆₀ впливає на їх акумуляцію. Спостерігалися зміни у кількості пігментів порівняно з контрольною групою, що може свідчити про вплив фулерену C₆₀ на фотосинтетичну активність рослин. Найефективніше діяли розчини з концентраціями фулерену C₆₀ 0,1 мкг/мл для *Zea mays*, а у рослинах *Arabidopsis thaliana* порівняно з контрольною групою вміст пігментів був нижче для всіх концентрацій, що може свідчити про певну інгібуючу дію.

3. Дослідження активності антиоксидантних ферментів каталази та пероксидази виявили зміни в їх активності під впливом фулерену C₆₀. Ці результати вказують на те, що фулерен C₆₀ може впливати на окислювально-відновні процеси в рослинних клітинах та їхню здатність реагувати на стресові умови. Активність каталази у рослинах *Arabidopsis thaliana* висока для усіх концентрацій порівняно з контролем. Активність каталази у рослинах *Zea mays* збільшується з підвищенням концентрації, а активність пероксидази вища для усіх концентрацій, порівняно з контролем.

4. Отримані результати свідчать про те, що фулерен C₆₀ має значний вплив на фізіолого-біохімічні показники як дикорослих (*Arabidopsis thaliana*), так і культурних (*Zea mays*) рослин. Вплив фулерену C₆₀ є комплексним і залежить від його концентрації, виду рослини та конкретного фізіологічного процесу. При негативному впливі фулерену C₆₀ спостерігається зменшення кількості фотосинтетичних пігментів та підвищення активності

антиоксидантних ферментів. Це вказує на те, що найбільш сприятливою за сукупністю показників для *Zea mays* є розчин з концентрацією фулерену C₆₀ 0,1 мкг/мл. На рослини *Arabidopsis thaliana* обрані концентрації фулерену здійснюють фітотоксичну дію. Ці дані є важливими для розуміння механізмів взаємодії наночастинок з рослинними системами та відкривають перспективи для їх застосування в сільському господарстві та екології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Fullerenes in biology and medicine / E. Castro et al. Journal of materials chemistry B. 2017. Vol. 5, no. 32. P. 6523–6535. URL: <https://doi.org/10.1039/c7tb00855d> (дата звернення: 19.09.2024).
2. Якість продукції та забезпечення її конкурентоспроможності. Ефективна економіка. 2013. № 7. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=2184> (дата звернення: 25.09.2024).
3. Wood A. What are fullerenes? | history, structure, and examples. Ossila. URL: <https://www.ossila.com/pages/what-are-fullerenes> (дата звернення: 27.09.2024).
4. 富勒烯：它是什麼？. Postposmo. URL: <https://zh-tw.postposmo.com/富勒烯/> (дата звернення: 28.09.2024).
5. 神奇的碳材料--富勒烯. 国家材料腐蚀与防护科学数据中心. URL: <https://www.corndata.org.cn/news/science/2017-08-24/166754.html> (дата звернення: 19.05.2025).
6. 碳60. 百度百科. URL: <https://baike.baidu.com/item/碳60/8342479> (дата звернення: 28.09.2024).
7. Types of Fullerenes and their specific uses (C60, C70, Fullerenols). Nanografi Advanced Materials. URL: <https://shop.nanografi.com/blog/types-of-fullerenes-and-their-specific-uses-c60-c70-fullerenols/> (дата звернення: 29.09.2024).
8. Industries | biotech | solaris chem. Solaris Chem Fine Chemicals for the Optoelectronic Biotech World. URL: <https://solarischem.com/industries-biotech.html> (дата звернення: 29.09.2024).
9. Satya, Kulsum Hashmi, Sakshi Gupta, Priya Mishra, Tahmeena Khan, Seema Joshi. The Vital Role of Nanoparticles in Enhancing Plant Growth and Development †. Engineering Proceedings. 2024. Vol. 67, № 1(48). P. 1-10. URL: <https://www.mdpi.com/2673-4591/67/1/48> (дата звернення: 01.10.2024).

10. Zhang, L., Patel, R., Kumar, S. Effects of Fullerene C₆₀ on Nitrogen Uptake in Crops. *Environmental Science: Advances*. 2025. Vol. 4, № 3. P. 123-130. URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2025/en/d4en00310a> (дата звернення: 01.10.2024).
11. Fullerene C₆₀ for enhancing phytoremediation of urea plant wastewater by timber plants / S. Yavari та ін. *Environmental science and pollution research*. 2018. Т. 25, № 12. С. 11351–11363. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1345-3> (дата звернення: 02.10.2024).
12. Buziashvili A., Prylutska S., Yemets A. Effect of fullerene C₆₀ on tomato plants. *Innovative biosystems and bioengineering*. 2024. Т. 8, № 4. С. 13–22. URL: <https://doi.org/10.20535/ibb.2024.8.4.317138> (дата звернення: 03.10.2024).
13. Investigation of phytotoxic effects of fullerene C₆₀ with the use of Allium-test / A. Y. Buziashvili та ін. *Faktori eksperimental'noi evolucii organizmiv*. 2024. Т. 34. С. 137–142. URL: <https://doi.org/10.7124/feco.v34.1630> (дата звернення: 06.10.2024).
14. Бессонова В.П., Яковлева-Носарь С.О. Фізіологія рослин: навч. посіб. – Дніпропетровськ: Свідлер А.Л., 2014. – 499 с.
15. Фотосинтетичні пігменти. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/9090592/page:2/> (дата звернення: 10.10.2024).
16. InterPro. EMBL-EBI homepage | EMBL-EBI. URL: <https://www.ebi.ac.uk/interpro/entry/InterPro/IPR000823/> (дата звернення: 11.10.2024).
17. Thale cress (*arabidopsis thaliana*) - cambridge university botanic garden. Cambridge University Botanic Garden. URL: <https://www.botanic.cam.ac.uk/learning/trails/dnatrail/arabidopsis/> (дата звернення: 12.10.2024).
18. *Arabidopsis thaliana* (L.) heynh. WFO. URL: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000541830> (дата звернення: 15.10.2024).

19. Niklas K. J., Kutschera U. From Goethe's plant archetype via Haeckel's biogenetic law to plant evo-devo 2016. *Theory in biosciences*. 2016. Vol. 136, no. 1-2. P. 49–57. URL: <https://doi.org/10.1007/s12064-016-0237-7> (дата звернення: 15.10.2024).

20. Arabidopsis as a model organism. Boster Bio | ELISA Kits, Antibodies, Antibody Company. URL: <https://www.bosterbio.com/blog/post/arabidopsis-as-a-model-organism#:~:text=Arabidopsis%20thaliana%20is%20a%20favored,excellent%20candidate%20for%20genetic%20studies> (дата звернення: 20.10.2024).

21. Goodman H. M., Ecker J. R., Dean C. The genome of arabidopsis thaliana. *Proceedings of the national academy of sciences*. 1995. Vol. 92, no. 24. P. 10831–10835. URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.92.24.10831> (дата звернення: 20.10.2024).

22. Кукурудза звичайна. Інформаційно-аналітична система "Аграрії разом". URL: <https://agrarii-razom.com.ua/plants/kukurudza-zvichayna> (дата звернення: 20.10.2024).

23. Атлас морфологічних ознак сортів (гібридів) кукурудзи *Zea mays* L. і сорго *Sorghum* L. (наочне доповнення до методик проведення польового інспектування насінницьких посівів кукурудзи і сорго) / Український інститут експертизи сортів рослин. Вінниця : ТОВ "ТВО-РІ", 2019. 84 с.

24. Nature studies: maize. Herbarium World. URL: <https://herbariumworld.wordpress.com/2023/08/15/nature-studies-maize/> (дата звернення: 21.10.2024).

25. The Editors of Encyclopaedia Britannica. Corn - food, fuel, animal feed | britannica. Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/plant/corn-plant/Uses-and-products> (дата звернення: 21.10.2024).

26. Robinson M. L., Schillmiller A. L., Wetzel W. C. A domestic plant differs from its wild relative along multiple axes of within-plant trait variability and diversity. *Ecology and evolution*. 2022. T. 12, № 1. URL: <https://doi.org/10.1002/ece3.8545> (дата звернення: 23.10.2024).

27. Бурда Р. І. Культурні рослини. Енциклопедія сучасної України, том 16. 2016. URL: <https://esu.com.ua/article-51488> (дата звернення: 23.10.2024).

28. Аборигенні дикорослі рослини: знайомство, використання, вирощування. Овочі та фрукти. URL: <https://www.pro-of.com.ua/aborigenni-dikorosli-roslini-znajomstvo-vikoristannya-viroshhuvannya/> (дата звернення: 23.10.2024).

29. Басанець О. Вирощування кукурудзи: повна технологія. Головний сайт для агрономів – SuperAgronom.com. URL: <https://superagronom.com/articles/367-viroschuvannya-kukurudzi-povna-tehnologiya> (дата звернення: 24.10.2024).

30. Бур'яни – словник агронома – superagronom.com. Superagronom.com. URL: <https://superagronom.com/slovník-agronoma/bur-yani-id20049> (дата звернення: 24.10.2024).

31. Засоби захисту рослин Культура: петрушка; Шкідливий об'єкт: гусимець Таля (різушка) (гусимка звичайна) (*arabidopsis thaliana*) - АгроАнталь | Купити Засоби захисту рослин Культура: петрушка; Шкідливий об'єкт: гусимець Таля (різушка) (гусимка звичайна) (*arabidopsis thaliana*) ціна, оригінальна продукція, продаж. Торговий дім АгроАнталь: ЗЗР, насіння, добрива, сільгосптехніка. URL: https://agroantal.com.ua/zasobi-zakhistu-roslin/Kultura-is-petrushka-and-vredonosnyu_obyekt-is-arabidopsis-thaliana?srsltid=AfmBOorGIPhEIkMOatQlGSMJKINowYfgNRDe754IxlhllxkA-k9mbc8Ks (дата звернення: 24.10.2024).

32. Кукурудза "багратіон" насіння 10 г. тм wos. RedBerry. URL: <https://redberry.kiev.ua/2008>. (дата звернення: 24.10.2024).

33. Frost Lab | Integrative Chemical Ecology. URL: https://thefrostlab.com/SOP/SOP_ArabidopsisSeedSterilization.pdf (дата звернення: 25.10.2024).

34. Головний сайт для агрономів. Листкове підживлення кукурудзи – названо засоби для формування якісного врожаю. Superagronom.com. URL: <https://superagronom.com/news/17265-fahivtsi-nazvali-vajlivi-fazi-dlya-pidjivlennya-kukurudzi-mikroelementami> (дата звернення: 25.10.2024).

35. Лупак О. Еколого-біохімічні засади застосування біостимуляторів при вирощуванні лікарських рослин на заході України : дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16. Львів, 2020. 186 с.

36. Фізіологія рослин : навчальний посібник / С.В. Прилуцька, А.І. Бабицький, Н.Г. Нестерова, Т.А. Ткаченко, О.А. Бойко, А.В. Дащенко – Київ: НУБІП України, 2024. – 215 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

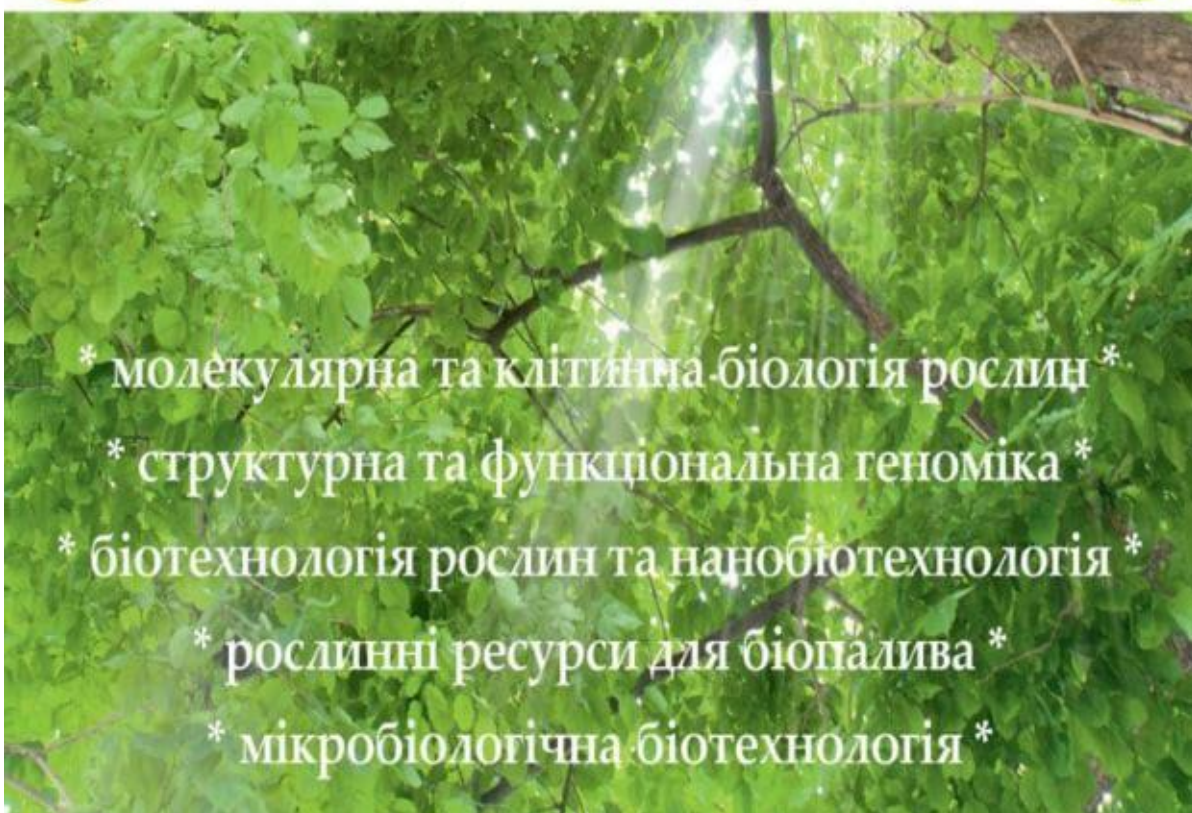


IV конференція молодих учених
«БІОЛОГІЯ РОСЛИН ТА БІОТЕХНОЛОГІЯ»

до VII-го Міжнародного Дня Рослин в Україні



16-18 травня 2024 року, м. Київ



* молекулярна та клітинна біологія рослин *

* структурна та функціональна геноміка *

* біотехнологія рослин та нанобіотехнологія *

* рослинні ресурси для біопалива *

* мікробіологічна біотехнологія *

Бузіашвілі А.Ю., Кушовський Є.О., Шинша О. М., Ємець А.І. АНАЛІЗ ВПЛИВУ РІЗНИХ КОМБІНАЦІЙ ФІТОГОРМОНІВ НА МОРФОГЕНЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ЕКСПЛАНТІВ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ	27
Гуржий А.С., Ткаченко Т.А. ВИКОРИСТАННЯ <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i> ЯК МОДЕЛЬНОЇ РОСЛИНИ ДЛЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
Гусейнова К.Е., Петрух А.О., Давидюк Д.А., Волошина І.М. ВПЛИВ CuNPs НА РІСТ ТА РОЗВИТОК ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР	29
Гуцько К.І., Петріна Р.О. КУЛЬТИВУВАННЯ АМАРАНТУ В УМОВАХ <i>IN VITRO</i>	30
Федорченко В.С., Резніченко Л.С., Лютко О.Б., Вітрак К.В., Грузіна Т.Г., Дибкова С.М. АНТИМІКРОБНІ ВЛАСТИВОСТІ НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА, СИНТЕЗОВАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕКСТРАКТУ <i>MATRICARIA CHAMOMILLA</i> L.	31
Фурманець С.О., Галузінський М.О., Прилуцька С.В. ФІЗІОЛОГІЧНИЙ СТАН МІКРОЗЕЛЕНІ ГОРОХУ ПІСЛЯ ДІЇ C60 Фулереу	32
Hazratov A.T., Jurayeva H.K., Mustafina F.U., Abdinazarov S.H. BIOTECHNOLOGY AS MODERN APPROACH IN BIODIVERSITY CONSERVATION AND ENRICHMENT OF THE COLLECTION OF TASHKENT BOTANICAL GARDEN	33
Jamalova D.N., Mustafina F.U. PROPAGATION OF <i>FERULA SUMBUL</i> BY BIOTECHNOLOGICAL METHOD	34
Jurayeva H.K., Hazratov A.T., Mustafina F.U., Abdinazarov S.H. MICROPROPAGATION OF VALUABLE SPECIES OF TASHKENT BOTANICAL GARDEN COLLECTION	35
Коробкова К.С. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ БІОТЕХНОЛОГІЇ У ДОСЛІДЖЕННЯХ ЗБУДНИКІВ ФІТОПЛАЗМОЗІВ	36
Кушенко К.С., Кляченко О.Л., Кушовська А.В. ДОСЛІДЖЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ГВОЗДИКИ САДОВОЇ (<i>DIANTHUS CARYOPHYLLUS</i> L.)	37
Некрутенко А.І., Гринчук К.В. <i>AGROBACTERIUM</i> -ОПОСЕРЕДКОВАНА ТРАНСФОРМАЦІЯ МОДЕЛЬНОЇ РОСЛИНИ <i>ARABIDOPSIS THALIANA</i> МЕТОДОМ «FLORAL DIP»	39
Обезюк І. М., Михалків Л. М., Коць С. Я. ФОРМУВАННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СИМБІОТИЧНИХ СИСТЕМ СОЇ ЗА ВИКОРИСТАННЯ НАНОКАРБОКСИЛАТІВ ГЕРМАНІЮ І ЦИНКУ НА ФОНІ ЗАСОЛЕННЯ	40
Пикало С.В., Юрченко Т.В., Харченко М.В. ОЦІНКА <i>IN VITRO</i> СОРТІВ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ НА ПОСУХОСТІЙКІСТЬ	41
Арслан (Плоховська) С.Г., Гарсія-Вілларакко А., Фуенте-Гонсалес Е., Лукас Х.А., Гутьєррес-Маньєро Ф.Х., Рамос-Солано В., Рамос-Солано Б., Ємець А.І. ВИКОРИСТАННЯ РГРВ ДЛЯ БІОСИНТЕЗУ НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА, ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНТИБАКТЕРАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ	41
Потупа В. Ю., Косинська Т.В., Шкотова Л.В., Волошина І.М. НАНОПРАЙМУВАННЯ ZnONPs ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР	42
Теслюк Н. І., Газіна І.М. ПЕРВИННІ ЕТАПИ КЛОНАЛЬНОГО МІКРОРОЗМНОЖЕННЯ <i>VACCINIUM ULIGINOSUM</i> L. В КУЛЬТУРІ <i>IN VITRO</i>	44
Чорнобров О.Ю., Чорнобров О.Ю. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОТОКОЛУ СТЕРИЛІЗАЦІЇ ТКАНИН РОСЛИН <i>TILIA PLATYPHYLLOS</i> SCOP. <i>IN VITRO</i>	45

РОСЛИННІ РЕСУРСИ ДЛЯ БІОПАЛИВА

Бірук Я.Ю. БІОПАЛИВО ЯК ВАЖЛИВА АЛЬТЕРНАТИВА ВИКОПНИМ ДЖЕРЕЛАМ ЕНЕРГІЇ	46
--	----

ВИКОРИСТАННЯ *ARABIDOPSIS THALIANA* ЯК МОДЕЛЬНОЇ РОСЛИНИ ДЛЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Гуржий А.С., Ткаченко Т.А.

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна,
e-mail: figusviridis@gmail.com

Arabidopsis thaliana – це однорічна рослина, що належить до родини Капустяні (*Brassicaceae*). Її роль у біотехнології є досить важливою, оскільки вона є економічно вигідною сировиною і зручна для використання як модельний організм для молекулярної генетики рослин. *Arabidopsis thaliana* має короткий життєвий цикл і невеликий геном, який легко піддавати перетворенням за допомогою мутагенезу. Також цей об'єкт полегшує ідентифікацію генів на основі лише фенотипу за допомогою молекулярно-генетичних досліджень, порівняно з іншими рослинами. У лабораторіях досить часто рослину модифікують, для ефективнішої роботи. Одним з напрямів використання є виділення генів з *Arabidopsis thaliana*, які можна використовувати для пошуку їх гомологів у культурних рослинах. Дослідження різних біологічних ефектів на модельній рослині (бур'яні), а потім перенесення їх результатів на сільськогосподарські рослини значно спрощує роботу науковців (Gepstein and Horwitz, 1995).

Іншим напрямом використання *Arabidopsis thaliana* як модельної рослини є дослідження її циркадних ритмів. Здебільшого користуються відомостями про процеси транскрипції, оскільки про посттрансляційні модифікації протеому поки відомо не багато. Проте існують дані на основі відповідних досліджень, що на циркадні ритми впливає фосфорилування білку, що є важливим для розвитку фосфопротеоміки як науки. Методи визначення фосфопептидів є трудомісткими. *Arabidopsis thaliana* підходить для проведення цих досліджень, бо вона має добре відтворений циркадний ритм (Krahmer et al., 2015)

Також *Arabidopsis thaliana* має важливе значення для визначення чистоти і рівня мутагенності ґрунту. Для ідентифікації невідомих токсичних речовин, оцінки їх токсичності застосовують мікрочіпи ДНК, що забезпечують оцінку загальновідомих моделей експресії генів під дією ксенобіотиків. У *Arabidopsis thaliana* ідентифікували гени, що індукуються у відповідь на один конкретний метал. У дослідженнях описано створення трансгенного організму, у якого виявляється активність репортерного гену при вирощуванні на середовищі, що містить нікель і при цьому відсутня реакція на інші важкі метали. Такі трансгенні моделі ефективні для дослідження забруднених важкими металами ґрунтів і економічно вигідні для використання (Krizek et al., 2003)

Отже, *Arabidopsis thaliana* має перспективи використання як модельний організм в молекулярній генетиці рослин, а також як трансгенна рослина в біотехнологічних та екологічних дослідженнях.

Література:

1. Gepstein S, Horwitz BA. The impact of Arabidopsis research on plant biotechnology. *Biotechnology Advances*. 1995;13(3):403–14.
2. Krahmer J, Hindle MM, Martin SF, Le Bihan T, Millar AJ. Sample preparation for phosphoproteomic analysis of circadian time series in *Arabidopsis thaliana*. In: *Methods in Enzymology* [Internet]. Elsevier; 2015 [cited 2024 Apr 30]. p. 405–431. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0076687914000238>
3. Krizek BA, Prost V, Joshi RM, Stoming T, Glenn TC. Developing transgenic Arabidopsis plants to be metal-specific bioindicators. *Environ. Toxicol. Chem.* 2003;22(1):175–181.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Державний біотехнологічний університет
Рейн-Ваальський університет прикладних наук, Німеччина
Університет аграрних наук, Швеція
Природничий дослідницький центр, Литва
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна
Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького
КЗ «Харківський зоологічний парк»

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

25-26 квітня 2024 р.

Харків
ДБТУ
2024

Кричковська Л.В., Близнюк О.М., Масалітіна Н.Ю., Дубоносів В.Л. ЗАСТОСУВАННЯ НОВОЇ СИРОВИНИ У ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПРОДУКТАХ ХАРЧУВАННЯ ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ МІКРОНУТРІЄНТАМИ	80
Январьов Є.Б., Гавриляк В.В. МОДЕЛЬ МОНО ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ КІНЕТИКИ РОСТУ МІКРООРГАНІЗМІВ, ЯКІ ПРОДУКУЮТЬ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ	81
Гавриляк В.Р., Гавриляк В.В. ОТРИМАННЯ КЕРАТИНУ ТА ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИКА.....	83
Znakhur A., Varankina O. BIOTECHNOLOGY OF SOUR CREAM WITH THE ADDITION OF IODISED PROTEIN.....	84
Ковальова О.С., Вакуленко А.В. ПЕРСПЕКТИВНІ ВИДИ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КВІТКОВИХ ВИН	85
Adamovich A., Varankina O. WAYS OF IMPROVING THE BIOTECHNOLOGY OF FETA-TYPE CHEESE	87
Soloviova A., Kaliuzhnaia O. PROBIOTICS TO RECOVER SOIL MICROBIOTA FROM THE EFFECTS OF THE WAR.....	88
Ромашко Т.П. ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОЧАСТИНОК, СИНТЕЗОВАНИХ У РОСЛИНАХ	89
Корнієнко І.М. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТРЕСОВИХ ФАКТОРІВ НА ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ КЛІТИН МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ.....	91
Малишко К.С., Бєлих І.А. АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ІОНІВ Ca²⁺ ТА Mg²⁺ В БІОФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТАХ	93
Корієнко М.С., Бєлих І.А. ОПТИМІЗАЦІЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ВІТАМІНУ D2 З ВИКОРИСТАННЯМ ДРЖДЖІВ <i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i>	95
Гуржий А.Є., Ткаченко Т.А. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ <i>CAPSELLA BURSA-PASTORIS (L.) MEDIK</i> У БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ... 	97
Hurkova I., Varankina O. BIOTECHNOLOGY OF KEFIR PRODUCTION.....	98
Кіса Л.С., Саблій Л.А. ВПЛИВ АНТИБІОТИКІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ ...	99
Тищенко В.А., Калина В.С. ВПЛИВ ХАРЧОВИХ ДОБАВОК ТА ФРУКТОВИХ НАПОВНЮВАЧІВ НА СМАКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЙОГУРТІВ	100
Reznik D., Krainova Y., Kalinichenko O., Iungin O. SCREENING INDOLE-3-ACETIC ACID (IAA) PRODUCERS AMONG ENDOPHYTES OF VASCULAR PLANTS	102
Бондаренко В.Л., Юнгін О.С. ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ МІКРОБНОЇ КОМПОЗИЦІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЧЕРВОНОГО ФЛАНДРІЙСЬКОГО (ФЛАМАНДІЙСЬКОГО) ЕЛЮ ЗА ПРИСКОРЕНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ.....	103

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ *CAPELLA BURSA-PASTORIS* (L.) MEDIK У БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

А.Є. Гуржий¹, Т.А. Ткаченко²

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

¹студентка денної форми навчання ОС бакалавр, факультет захисту рослин,

біотехнології та екології, feusviridis@gmail.com

²к.б.н., доцент кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики, ttkach82@gmail.com

Актуальною проблемою сучасної науки є відкриття нових можливостей застосування рослин у біотехнологічних та екологічних дослідженнях. Одним з потенційно перспективних об'єктів є рослина *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik або гусимка звичайна, яка широко застосовується у біотехнології як модельний об'єкт. Вітаміни (аскорбінова кислота, філохінон, рибофлавін) та біогенні аміни є основними діючими речовинами цієї рослини. Грицики звичайні містять велику кількість вуглеводів і їх похідних, до яких належать сахароза, маніт, сорбоза, сорбіт, лактоза, адоніт, також органічні кислоти (піровиноградну, шавлеву, винну, фумарову, лимонну тощо), кумарини, флавоноїди, стероїди, ефірні олії, макро- та мікроелементи. Характерною особливістю рослини є висока репродуктивна здатність (одна рослина може дати від 70 до 250 тисяч насінин) і непримхливість до умов навколишнього середовища. Зважаючи на невибагливість та корисні властивості цієї рослини, метою проведених досліджень було проаналізувати сучасні наукові дані щодо застосування *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. у біотехнології.

Основними властивостями препаратів на основі сировини з грициків звичайних є здатність до зупинки кровотечі (маткової, легеневої, ниркової, шлунково-кишкової), покращення роботи шлунково-кишкового тракту, також може застосовуватися як дієтична добавка для покращення загального стану при застуді, хворобах сечового міхура, печінки, нирок, ревматизмі [1].

Експериментальні дослідження показали, що водний екстракт *Capsella bursa-pastoris* здатен пригнічувати ріст ракових клітин шийки матки лінії WISH у моношарі. Доведено, що екстракт цієї рослини у концентрації 0,013-0,125 г/мл найефективніше пригнічує ракові клітини, а виживання останніх становило 7 %. Ці дані важливі для біотехнології, оскільки потенційно є можливість створити препарати на основі дешевої сировини цієї лікарських рослини, які б допомагали при лікуванні ракових пухлин і були б доступними для більшості населення, яке має таку потребу, оскільки з плином часу спостерігається тенденція до збільшення кількості зафіксованих випадків онкологічних хвороб [2]. Наявність флавоноїдів, зокрема лютеолін-7-О-глюкозиду та ізоорієнтину, у водному екстракті *Capsella bursa-pastoris* сприяє його захисній дії для пом'якшення кардіотоксичності, спричиненої доксорубіцином [3].

Рослина *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik є перспективною як модельний організм для вивчення поліплоїдії, оскільки грицики звичайні ростуть швидко і є однорічними. Дослідження геному показало, що рослина має два субгеноми у більшості колінеарні, без великих делецій, вставок або перегруповань, домінування не розпізнається. Між хромосомами є гемеологічний обмін, що є причиною утворення гібридних хромосом. Ці дані дозволяють припустити попередника сучасного виду грициків звичайних. Дослідження є важливими для розвитку геноміки і створення на основі них методів модифікації *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. з метою надання їй необхідних властивостей для потреб різних галузей промисловості [3].

У харчовій промисловості також є перспективи для використання *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik. Зважаючи на стрімке збільшення кількості населення на планеті і той факт, що ресурси планети здатні до вичерпання, можливим є культивування грициків звичайних за допомогою селекції, виведення сортів, у яких покращені смакові властивості і



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СЕРТИФІКАТ

засвідчує, що

Гуржий Анастасія Єгорівна

брав/ла участь у роботі Міжнародної наукової конференції
«АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ, ЕКОЛОГІЇ ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ»

25–26 квітня 2024 року, м. Харків, Україна

Голова оргкомітету,
проректор з наукової роботи, професор

Співголова оргкомітету, декан
факультету біотехнологій, професор



Валерій МИХАЙЛОВ

Олена ЩЕРБАК

ВПЛИВ ФУЛЕРЕНУ C₆₀ НА ФІЗІОЛОГІЧНІ ТА БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ КУКУРУДЗИ ЗВИЧАЙНОЇ (*ZEА MAYS L.*)

А.Є. Гуржий¹, Т.А. Ткаченко²

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

¹студентка денної форми навчання ОС бакалавр, факультет захисту рослин, біотехнології та екології, ficusviridis@gmail.com

²к.б.н., доцент кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики, tttkach82@gmail.com

В умовах кліматичних змін та посилення абіотичних стресів, пошук нових підходів для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур є актуальним і важливим. Дослідження впливу наночастинок, а саме фулерену C₆₀, на фізіологічні та біохімічні показники рослин відкриває нові можливості для оптимізації росту та стійкості таких стратегічно важливих культур, як кукурудза, яка забезпечує продовольчу безпеку та є сировиною для багатьох галузей промисловості, проте її вирощування потребує багато поживних речовин, що з часом призводить до виснаження родючого шару ґрунту [1]. Використання фулерену C₆₀ може сприяти оптимізації живлення та підвищенню врожайності кукурудзи, проте, попри сприятливий вплив наночастинок, існує ймовірність виникнення фітостресу за високих концентрацій наночастинок.

Метою роботи було дослідження впливу фулерену C₆₀ на морфологічні та біохімічні показники кукурудзи звичайної (*Zea mays L.*) для визначення оптимального діапазону концентрацій, що стимулюють ріст без прояву фітотоксичності.

Предметом дослідження були зразки кукурудзи звичайної (*Zea mays L.*) сорту «Багратіон». Тривалість досліду складала 21 день, обробка рослин методом поливу проводилась на 14 день, на стадії формування третього листка. Для обробки використовувалися розчини фулерену C₆₀ наступних концентрацій: 0,9 мкг/мл, 0,6 мкг/мл, 0,3 мкг/мл та 0,1 мкг/мл. Контрольні рослини поливали водою.

Для вивчення впливу фулерену C₆₀ проводили морфометричний аналіз зразків. Вимірювали довжину пагона і кореня, загальну довжину рослини, масу пагона і кореня, загальну масу рослини, кількість листків, товщину кореня і пагона. Аналіз морфометричних показників показав, що сприятливими для росту рослин кукурудзи звичайної були розчини з концентраціями 0,6 мкг/мл та 0,1 мкг/мл, які покращували досліджувані параметри порівняно з рослинами контрольної групи.

Також було визначено вміст пігментів фотосинтезу, а саме хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів спектрофотометричним методом за довжин хвиль 663 нм, 646 нм та 470 нм. Найбільший вміст хлорофілів *a* спостерігався у біомасі кукурудзи, підживлення якої відбувалося розчином фулерену C₆₀ у концентрації 0,1 мкг/мл (14,8 мг/л). Найбільший вміст хлорофілів *b* був у зразках, що обробляли розчинами з концентраціями 0,1 мкг/мл та 0,3 мкг/мл (3,3 мг/л, 3,9 мг/л відповідно). Найбільший вміст каротиноїдів відмічали у зразках, які обробляли розчинами з концентраціями 0,1 мкг/мл та 0,3 мкг/мл (5,7 мг/л, 5,6 мг/л відповідно). Найменший вміст хлорофілів *a*, *b* та каротиноїдів був виявлений у зразках, що обробляли розчином фулерену C₆₀ концентрацією 0,9 мкг/мл.

Визначення каталазної активності біомаси рослин проводили спектрофотометричним методом за довжини хвилі 410 нм (Королюк, 1988). Найвища активність каталази виявлена у зразків, що були оброблені розчином фулерену C₆₀ з концентрацією 0,9 мкг/мл (484848 кат), а найнижча – за концентрацій 0,1 мкг/мл та 0,3 мкг/мл (285048 кат та 247752 кат відповідно).

Отримані результати можуть свідчити про позитивний вплив наночастинок на ріст кукурудзи звичайної (*Zea mays L.*) та її фізіолого-біохімічні показники за використання низьких концентрацій (0,1 мкг/мл та 0,3 мкг/мл), тоді як при високих концентраціях відбувається зменшення вмісту пігментів у біомасі рослин та підвищення каталазної

активності, що може вказувати на виникнення стресових умов та можливий токсичний вплив фулерену C₆₀.

Отже, враховуючи усі показники при обробці кукурудзи звичайної (*Zea mays L.*) фулереном C₆₀ найсприятливіший вплив відбувається при концентрації розчину 0,1 мкг/мл, а найменш сприятливий – при концентрації розчину 0,9 мкг/мл.

СПИСОК ЛІТАРАТУРИ

1. Басанець О. Вирощування кукурудзи: повна технологія. 2020. 12 трав. URL: https://superagronom.com/articles/367-viroschuvannya-kukurudzi-povna-tehnologiya#disqus_thread