

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології

Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
В.о. завідувача кафедри екології
_____ доц. Вікторія КАЦЕВИЧ
«____» _____ 2023 р.

Пояснювальна записка

до дипломної роботи
освітній ступінь «Бакалавр»

на тему: «Стійкість Робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia* L.) до
сучасних умов паркових екосистем м. Дніпро»

Виконав: здобувач вищої освіти 5 курсу,
групи Ез-1-18 спеціальність 101 «Екологія»
_____ Катерина БАРАННИК

Керівник _____ д.б.н., проф. Кирило ГОЛОБОРОДЬКО

Рецензент: _____ д.б.н., проф. Ольга КУНАХ

Консультанти:
з охорони праці та безпеки
в надзвичайних ситуаціях _____ ст.викл. Тетяна АРТЮШЕНКО

Дніпро 2023

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра екології

За спеціальністю 101 «Екологія»

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри екології

_____ доц. Вікторія КАЦЕВИЧ

«_____» _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

на дипломну роботу здобувачеві вищої освіти
Баранник Катерині Іванівні

1. Тема роботи «Стійкість Робінії псевдоакації (*Robinia pseudoacacia* L.) до сучасних умов паркових екосистем м. Дніпро» затверджена наказом по ДДАЕУ від «11» травня 2023р. № 842.
 2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи):
« 10 червня 2023 р. »
 3. Вихідні дані до проекту (роботи): Дані, отримані при проходженні виробничо-технологічної практики _____.
 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) 1. Огляд літератури. 2. Біоекологічна характеристика Робінії псевдоакації. 3. Методи і метеріали. 4. Результати досліджень та їх обговорення. 5. Охорона праці. Список літератури.
 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Таблиць – 5 Рисунки 3
-

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
5	ст.викл. Тетяна АРТЮШЕНКО		

7. Дата видачі завдання: „_____” _____ 2023 р.

Керівник проекту(роботи) _____ Кирило ГОЛОБОРОДЬКО

Завдання прийняв до виконання _____ Катерина БАРАННИК

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП		виконано
2	БІОЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБІНІЇ ПСЕВДОАКАЦІЇ		виконано
3	БІОЛОГІЧНІ ІНВАЗІЇ КОМАХ-ФІТОФАГІВ		виконано
4	МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ		виконано
5	ОЦІНКА ВПЛИВУ <i>PARESTORA ROBINIELLA CLEMENS</i> , 1863 НА БІОХІМІЧНІ ПАРАМЕТРИ <i>ROBINIA PSEUDOACACIA</i> L. В УМОВАХ М. ДНІПРО		виконано
6	ОХОРОНА ПРАЦІ		виконано
7	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ		виконано

Здобувач вищої освіти _____ Катерина БАРАННИК

Керівник роботи _____ Кирило ГОЛОБОРОДЬКО

РЕФЕРАТ

Дипломна робота присвячена з'ясуванню адаптивного потенціалу міських паркових насаджень робінії псевдоакації до інвазії адвентивних комах-мінерів.

Робота містить 51 сторінка тексту, 5 таблиць, 3 рисунки, 52 літературних джерела. Структура роботи складається з 5 розділів, в яких розкрита проблематика та результати досліджень.

Об'єктом досліджень є міські паркові насадження робінії псевдоакації.

Предметом досліджень є особливості адаптивного потенціалу міських паркових насаджень робінії псевдоакації до інвазії адвентивних комах-мінерів.

Мета роботи – з'ясувати умови адаптивного потенціалу міських паркових насаджень робінії псевдоакації до інвазії адвентивних комах-мінерів.

Для досягнення мети вирішувалися наступні задачі:

1. Провести аналіз сучасних літературних джерел за тематикою досліджень.
2. Опрацювати новітні біохімічні методи досліджень адаптації дерев робінії до живлення листкових мінерів.
3. Дослідити які вікові групи дерев робінії псевдоакації найбільш чутливі до живлення гусені робінієвих мінерів.
4. Узагальнити отримані результати і сформулювати висновки.

Методи дослідження: біохімічні, математично-статистичні.

Ключові слова: вплив інвазійних видів, *Gracillariidae* Stainton, 1854, стійкість міських зелених насаджень, техногенне навантаження, вміст розчинних білків.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. БІОЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБІНІЇ ПСЕВДОАКАЦІЇ	7
1.1. Біологічна характеристика	7
1.2. Особливості взаємодії <i>Robinia pseudoacacia</i> із фітофагами	10
РОЗДІЛ 2. БІОЛОГІЧНІ ІНВАЗІЇ КОМАХ-ФІТОФАГІВ	14
2.1. Сучасний стан та оцінка інвазій молей-мінерів	14
2.2. Особливості поширення <i>Parectopa robiniella</i> в Україні	16
РОЗДІЛ 3. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	21
3.1. Польові дослідження	21
3.2. Лабораторні дослідження	22
РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ВПЛИВУ <i>PARECTOPA ROBINIELLA</i> CLEMENS, 1863 НА БІОХІМІЧНІ ПАРАМЕТРИ <i>ROBINIA PSEUDOACACIA</i> L. В УМОВАХ М. ДНІПРО	25
4.1. Особливості реакції антиоксидантної системи захисту <i>Robinia pseudoacacia</i> на живлення гусені <i>Parectopa robiniella</i>	25
4.2. Аналіз адаптивного потенціалу <i>Robinia pseudoacacia</i> до інвазії <i>Parectopa robiniella</i>	32
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ В НАУКОВО-ДОСЛІДНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ МОЛЕКУЛЯРНОЇ БІОЛОГІЇ ТА ФІЗІОЛОГІЇ РОСЛИН	38
5.1. Правила техніки безпеки при роботі у лабораторії	38
5.2. Правила техніки безпеки при роботі з кислотами і лугами	40
5.3. Заходи безпеки при пожежах та витоків газів	40
5.4. Надання першої медичної допомоги	41
ВИСНОВКИ	43
ДЖЕРЕЛА ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	45

ВСТУП

В Україні видовий склад дендрофлори міських паркових насаджень доволі обмежений екстремальними едафо-кліматичними умовами. У цьому відношенні істотну роль відіграє інтродукція деревних видів рослин. Цей процес сприяє покращенню якісного складу та продуктивності паркових міських екосистем шляхом створення штучних деревних насаджень, більш стійких до шкідливих абіотичних та біотичних факторів, ніж місцеві.

Робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia* L.) є одним із найпоширеніших і екологічно адаптованих адвентивних видів дерев у зоні Північного Степу України. Насадження робінії виконують багато корисних функцій з точки зору надання екосистемних послуг: меліоративну, ґрунтозахисну, середоутворюючу, декоративну, а також її як корисну медоносну та лікарську рослину.

Останнім часом швидке поширення інвазійних комах-мінерів викликає підвищений інтерес, особливо коли масштаби поширення у новому ареалі викликають загрозу для нормального існування їх кормових рослин. На території України, ще на початку XXI ст. з'явився комплекс північноамериканських молей-мінерів, спеціалізованих фітофагів робінії псевдоакації. Оскільки на території України відсутні їх хижаки і паразити, ці види почали активно поширюватись, становлячи загрозу нормальній життєздатності робінії.

Отже, метою роботи було з'ясувати умови адаптивного потенціалу міських паркових насаджень робінії псевдоакації до інвазії адвентивних комах-мінерів.

РОЗДІЛ 1. БІОЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБІНІЇ ПСЕВДОАКАЦІЇ

1.1. Біологічна характеристика

Робінія псевдоакація, або робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* Linnaeus, 1753) – лісоутворююче посухостійке дерево, що швидко росте. Належить до роду Робінія (*Robinia* Linnaeus, 1753) [2]. У ході селекційних робіт було виведено безліч сортів, що відрізняються будовою крони, формою, забарвленням та положенням листя, забарвленням квіток та тривалістю цвітіння.

Рослина походить з Північної Америки [4]. Натуралізована в багатьох регіонах планети із тотожнім кліматом. Використовується у якості декоративної рослини, і як деревна порода для зміцнення ґрунтів і створення вітрозахисних смуг.

Батьківщина – Північна Америка, до ареалу входять Аппалачські гори, Пенсільванія, Джорджія, Айова, Міссурі та Оклахома [4]. Росте на вологих, багатих вапном ґрунтах у лісах з клена, дуба, сосни, де є звичайним компонентом. Найчастіше зустрічається у низькогірних лісах (до 1350 м над рівнем моря) [3].

Як відомо [5] «поширилась всією територією сучасної Європи, в зоні помірного клімату Азії, в Північній та Південній Африці, в Австралії, Новій Зеландії та південних регіонах Латинської Америки» У Китаї вона за поширенням до 2020-х років. була порівнянна з далекосхідним деревом софора японська з тієї ж родини, і китайська назва робінії псевдоакаці - «колюча японська софора» [5].

Ріст швидкий, особливо у періоді до 10 років, щорічний приріст у висоту становить до 80 см, завширшки до 30 см. Цвіте вже у шестирічному віці [4].

Дуже світлолюбна і соле-і посухостійка [7]. Здатна існувати на багатьох варіантах ґрунтів, віддає перевагу легким і родючим, погано перенесе ущільнення. Здатна переносити значне засолення.

До Європи завезли у першій половині XVII ст., коли у європейському садівництві почали активно використовувати нові види дерев із Північної Америки [1]. Екземпляр робінії, висаджений у 1601 році у королівському саду в Парижі садівником французького короля Генріха IV, вважався у 2011 році найстарішим деревом Парижа [2]. Визнана ботанічним символом м. Дніпро.

Ботанічна характеристика «Це велике дерево висотою 20-25 м (може досягати 30-35 м [12]) і діаметром стовбура до 1 м. Пагони спочатку голі згодом ледве опушені, незграбні, світло-зелені до блискуче-червоно-коричневого кольору. Крона ажурна, розлога, широкоциліндрична, на вершині закруглена, що просвічує, з кількома відокремленими ярусами облистяних гілок. Коренева система глибока, розважається, діаметром 12-15 м, на коренях знаходяться бульби з азотофіксуючих бактерій. Кора на стовбурі товста, розтріскується, сіро-бурого кольору, з глибокими поздовжніми тріщинами» [12].

Бруньки переважно дрібні. Листя світло-зелене з сріблястим відтінком, чергове, непарноперисте [12], довжиною 10-25 (до 45) см. У основи листя знаходяться парні шипи довжиною до 2 см, які є видозміненими прилистками і досить легко відламуються.

Суцвіття - багатоквіткові (5-15 квіток), китиця довжиною 10-25 см. Квітки знаходяться на квітконіжках довжина яких коливається від 6 до 12 мм. Квіти численні, запашні [1]. Чашечка широко дзвінкова, довжиною 7-10 мм, шириною 5-9 мм, густо опушена рудуватими, короткими волосками, зубці чашечки в 2-3 рази коротше трубки, трикутні. Віночок білий або трохи кремовий, діаметром до 3,5 см.

Плоди мають довгасто-лінійний вигляд, ззовні сплюснуті коричневі боби, довжиною 5-12 см, шириною 1-1,5 см, зі злегка загнутим догори носиком або тупі, голі, з 3-15 насінинами. Насіння бруньковидне або вузькоочкоподібне, довжиною близько 5 мм, шириною 3 мм, оливково-зелені, бурі або темно-коричневі, до чорних, нерідко плямисті, гладкі, матові або блискучі. У 1 кг близько 50 тисяч насінин; 1 тисяча насіння важить 10-25 г [2].

Як відомо [12] «цвітіння відбувається в залежності від сорту та географічного регіону, найчастіше у травні – червні чи липні. Насіння дозріває до кінця вересня, нерідко висить на деревах протягом всієї зими. Сходи на коротких черешках, з надземними ниркоподібними, м'ясистими сім'ядолями довжиною 10-12 мм, шириною 5-6 мм. Перший лист простий, широкояйцеподібний; наступне листя трійчасте, а далі з числом листочків, що збільшується».

Хімічний склад плодів робінії псевдоакації вивчений недостатньо і потребує додаткового дослідження. Листя та молоді пагони містять вітаміни А та С [7].

Деревина робінії псевдоакації складається із зеленувато-бурого ядра та білої заболоні. Вона характеризується високими механічними властивостями, міцністю, великою стабільністю, стійкістю проти біологічних руйнівників та досить декоративною, хоч і грубою текстурою. Ядро по міцності не поступається дереву дуба, але для столярних виробів мало придатне, оскільки важко обробляється. У старих екземплярів ядро схильне до гнилі [5].

Деревина довго зберігається у воді. Вона використовується в кораблебудуванні і, починаючи з ХІХ століття, для цього вивозилася з Америки до Англії [5]. Крім того, йде на палі, стовпи, шпали, використовується в різних столярних, токарних, виробних роботах, при

будівництві комор, парканів, мостів, для виготовлення паркету, на переробку в целюлозу і на паливо.

Робінію псевдоакацію використовують для зміцнення пісків, схилів ярів та укосів залізничного полотна, для влаштування вітрозахисних смуг. Набула широкого застосування в залісненні південноруських степів [9]. У культурі рослина з 1601 (Північна Америка), в Україні – із початку XVIII століття. Завдяки високій декоративності дерево широко культивується - в садах, парках [9], для обсадження вулиць і доріг, а також в одиночних посадках (солітерах). Добре переносить стрижку, а тому придатна для живоплотів [21].

Робінія належить до адвентивних видів, які здатні змінювати характер життєдіяльності місцевої екосистеми, порушуючи цикл азоту в ґрунті [20]. Робінія псевдоакація включена до сотні найнебезпечніших чужорідних видів у флорі Європи [31]. Вона у 2008 році відзначена у 41 країні Європи з досліджених 48-ми, тобто більш ніж у 80 % [41], причому у 32 країнах успішно виробляє паростки [2].

У 2023 році, згідно наказу Міністра захисту довкілля та природних ресурсів України № 695/39751 від 05.05.2023 року включена до "Переліку чужорідних видів дерев, заборонених у відтворенні лісів"[31].

1.2. Особливості взаємодії *Robinia pseudoacacia* із фітофагами

Robinia pseudoacacia L. є однією з найпоширеніших та екологічно пластичних деревних порід-інтродуцентів, яка стала важливим елементом ландшафту в таких країнах як Румунія, Угорщина, Італія, Словенія, Хорватія, Україна та ін. і широко культивується в садах, парках, скверах, для обсадження вулиць і доріг, а також в одиночних посадках [2].

Робінія псевдоакація є багатоцільовою деревною породою, яку також широко використовують у тваринництві, бджільництві, для захисту ґрунту від ерозії та відновлення деградованих територій, лісових та степових зон,

виробництва меблів та паркету, палива, з листя отримують блакитну фарбу, деревні волокна і корми [13, 17].

Вважається, що *R. pseudoacacia*, походження якої з Північної Америки, швидко натуралізувалась по-перше, завдяки невеликій кількості природних ворогів у нових умовах існування, а по-друге – через її високу адаптивність [46]. Враховуючи економічне значення робінієвих насаджень в Україні широко вивчається їх біопродуктивність, екологічний та енергетичний потенціал [41]. Але в останні десятиліття інвазії комах-фітофагів стали серйозною проблемою для насаджень *R. pseudoacacia* в Європі.

Проникнення інвайдерів північно-американського походження, в першу чергу з родини молей-строкаток (*Lepidoptera: Gracillariidae* Stainton, 1854) наразі є головним фіто-санітарним ризиком існування *Robinia pseudoacacia* в європейському ареалі. Серед комплексу фітофагів-інвайдерів найбільшими масштабами інвазії в Україні характеризується *Parectopa robiniella* (Clemens, 1863) [24].

З моменту появи *P. robiniella* є об'єктом багаточисельних екологічних і біологічних досліджень [19, 25, 49]. У Східній Європі він є недостатньо вивченим видом. Досліджено деякі біоекологічні особливості *P. robiniella* в умовах Степової і Лісостепової зони України [39].

Цей вид знайдений на листочках *R. pseudoacacia* в штучних лісових насадженнях різного функціонального призначення на всій території України. Гусінь *P. robiniella* живиться мезофілом листків та утворює білуваті міни складної форми розміром близько 1,4 см².

У межах свого природного ареалу *P. robiniella* є олігофагом, який пошкоджує листя декількох деревних видів роду *Fabaceae*: *Robinia pseudoacacia* L., *Robinia hispida* L., *Robinia viscosa* Vent., *Amorpha fruticosa* L., *Desmodium* sp., *Galactia volubilis* (L.) Britt. та *Meibomia* sp. [12]. Відсутність природних ворогів й хвороб у межах нового ареалу, та майже

необмежений кормовий ресурс сприяє їх швидкому і масштабному поширенню.

Зміни факторів навколишнього середовища, зокрема, напад рослиноїдних комах, впливають на первинний метаболізм, такий як швидкість фотосинтезу, поглинання азоту, вміст білків, антиоксидантна активність, тривалість життя дерева [8, 37].

Листя є основним органом, який використовується для продукування органічної речовини і є основним джерелом вуглеводів для рослини [27]. Пошкодження листя знижує розмір фотосинтетичної поверхні і таким чином порушує весь продукційний процес рослини.

Фактори навколишнього середовища, такі як забруднення атмосферного повітря в містах, населених кормовими рослинами молей-строкаток, можуть впливати на характеристики листя і, таким чином, перешкоджати їх здатності житись клітинами мезофілу.

Важливість характеристик листя для стійкості рослин до нападу мінерів досліджена шляхом порівняння міцності листя та складу поживних речовин, поверхневого воску, вторинних метаболітів, які індукують утворення хімічних і тканинних бар'єрів та підсилюють процеси відновлення клітин у різних видів рослин [32, 33].

Довготривала діяльність комах-фітофагів може негативно вплинути на продукційний потенціал робінії [11], тоді як Holec et al. [21] у своєму дослідженні виявили, що інтенсивність пошкодження, завдана діяльністю *Parectopa robiniella* (Clemens, 1863) та *Macrosaccus robiniella* (Clemens, 1859), не є критичними для дорослих особин робінії. Не знайдено значущих відмінностей у пошкодженнях листя, спричинених *M. robiniella*, *P. robiniella* і *Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847) на різновікових особинах *R. pseudoacacia*, що зростають у сільському та міському середовищі.

Натомість вивчення особливостей захисних реакцій *R. pseudoacacia* L. від фітофагів має велике значення, так як очікується, що в недалекому

майбутньому роль робінії зросте через її високу екологічну пластичність і біологічні характеристики, які роблять її придатною для засадження на посушливих землях [17].

Вивчення впливу порушень, викликаних живленням фітофагів, які відбуваються у *R. pseudoacacia* L. як різних вікових груп так і окремих дерев може сприяти розробці теоретичних основ для відбору і управління цим видом для його відновлення.

РОЗДІЛ 2. БІОЛОГІЧНІ ІНВАЗІЇ КОМАХ-ФІТОФАГІВ

2.1. Сучасний стан та оцінка інвазій молей-мінерів

Комахи є одними з найчисленніших інвазивних таксонів у всьому світі, і кількість нових вторгнень зростає експоненціально, що представляє глобальну загрозу для економіки та навколишнього середовища [24]. Тільки в Європі близько 20 нових чужорідних комах виявляється щороку, тобто приблизно вдвічі більше як чотири десятиліття тому [25].

У Північній Америці, понад 450 чужорідних комах заселили ліси та міську зелену інфраструктуру і 14% цих комах завдають значної шкоди деревам [25].

Більшість з них інвазивні комахи – це рослинноїдні тварини, які переміщувались як забруднювачі на рослинах-господарях, і хоча фітосанітарні правила стали суворішими торгівля живими рослинами, зокрема декоративного призначення, залишається основним шляхом інвазії для комах [21].

Серед інвазійних рослинноїдних комах мінери – найважливіша група. Багато мінерів відомі як важливі господарські шкідники сільськогосподарських культур, а інші загрожують лісам і міським рослинам [17]. Личинки мінерів живуть всередині листка, де живляться паренхімою або епідермісом, саме через це вони й отримали таку назву.

Мінери належать до чотирьох рядів класу Комахи – це Лускокрилі, Перетинчастокрилі, Твердокрилі, і Двокрилі. Зараз, цей комплекс нараховує понад 10 000 видів у всьому світі [24]. Міни часто видоспецифічні, а отже можуть стати інструментом діагностики видів при ідентифікації.

У той час як багато видів витрачають весь час личинкової стадії на утворення мін в тканині листя, інші живуть в мінах виключно в молодих

стадіях, а потім продовжуй свій розвиток назовні, у прихованих футлярах, листових конструкціях або вільно на поверхні листя [24].

Завдяки такому способу життя, мінери, як правило, специфічні певним рослинам-господарям. Специфічність проявляється, як правило, на рівні роду рослин, але є багато винятків [17].

Останніми роками мінери привернули велику увагу через збільшення кількості вторгнень [38]. Багато інвазійних мінерів колонізували важливі лісові, декоративні і садові види дерев і кущів, та спричиняють довготривалі спалахи, що несуть серйозні економічні та екологічні наслідки [39].

Деякі інвазійні мінери дуже швидко поширилися по всій території континенту [25, 39]. Також, мінери викликають занепокоєння широкої громадськості оскільки вони легко помітні, особливо коли вони впливають на високоцінні декоративні види дерев.

Переважає більшість зараз відомих на території Європи інвазійних видів мінерів походить із території Північної Америки. Такий географічний розподіл відображає той факт, що саме на території Європи та Північної Америки зараз вченими зафіксовано найбільшу кількість інвазійних мінерів. Лишається незрозумілим, чи брак інформації про сучасні інвазії листових мінерів на інших континентах, зокрема в Африці, Азії та Південній Америці, або дійсно ці види менш там поширені.

У таксономічному розумінні більшість листомінуючих комах належить до ряду Лускокрилих. Зараз на території Європи зареєстровано понад 40 видів з різних родин [25]. Серед цього комплексу більшість видів належить до молей-строкаток (*Gracillariidae* Stainton, 1854). Провідне місце серед цих молей-мінерів займає комплекс робінієвих мінерів, який складається із двох видів *Parectopa robiniella* Clemens, 1863 та *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859).

2.2. Особливості поширення *Parectopa robiniella* в Україні

Parectopa robiniella (Clemens, 1863) походить із Північної Америки і у 80-х роках поширилася до Італії, Словенії, Хорватії, Австрії, Словаччини, Румунії, Угорщини та України [39]. *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859) також має північноамериканське походження. У 1983 р. цей вид зафіксували майже на всій території Центральної Європи [25].

В даний час обидва види поширені в 19 країнах Європи. В Україні ці види з'явилися порівняно недавно і вивчені недостатньо. На півдні Угорщини робініє вий мінер з'явився в 1983 році і через 6-8 років поширився по країні.. Обидва види мінерів дають 2-3 покоління на рік, які можуть перекривати одне одного. Харчується ця комаха лише представниками роду робінії [24].

Самки відкладають яйця на нижню сторону на бічне ребро першого порядку на відстані 0,3-1,0 см від центрального ребра. Міни неправильної форми, з відгалуженнями, включають первинне ребро. У міні завжди одна зелена личинка.

Після вилуплення гусениці вгризаються в лист з нижнього боку. Личинки проходять по бічному ребру до центрального, а потім утворюють трикутну порожнину для екскрементів між ребрами листа. Після цього вони прогризають невеликий отвір в кутку між ребрами на верхній стороні листа і утворюють розгалужену міну з обох боків основного ребра. Міна на дні має отвір біля основного ребра. Перед заляльковуванням гусениця залишає екскременти біля верхньої сторони міні, а вона виходить через отвір з нижньої сторони. Через це личинки останнього віку залишають міни і заляльковуються в опаді листя [50].

Гусениці різного віку можуть утворювати нові міни після виходу з первинної міні. При цьому не утворюється порожнина для екскрементів. Первинні міни завжди ростуть від основи листа до його верхівки, а

вторинні міни часто спрямовані в протилежну сторону. У процесі розвитку гусениці проходять 5 віків.

Передлялечка формується в коконі в місцях заляльковування [25]. На початку вегетації міни виявляються в нижніх частинах крони, а в наступних поколіннях – у середині крони на середніх частинах гілок.

Інший вид, *Phyllonorycter robiniella*, також може розвиватися в 2-3 поколіннях, які перекриваються між червнем і жовтнем. Залежно від умов навколишнього середовища метелики починають літати з кінця квітня до середини травня, після появи перших листочків на деревах акації. Відкладання яєць самками першого покоління відбувається в період цвітіння акації (друга половина травня) і триває до середини червня.

Самки відкладають яйця на нижній поверхні листової пластинки. Яйце розвивається від 6 до 10 днів, залежно від температури навколишнього середовища [39]. Гусениця розвивається в 5 віків: в I-III личинка живиться тільки губчастою паренхімою листка, а в IV і V-також стовпчастою. Після вилуплення гусениці вгризаються в лист з нижнього боку. Спочатку гусениця утворює вузький хід із центральною лінією екскрементів під епідермісом листа з нижнього боку; при розвитку гусениць II і III віку нагадує білу пляму.

З IV віку личинка стягує листок. Під час розвитку особин V-віку міна видна з верхньої сторони листка, а екскременти збираються в центрі міни. Міни не перетинають центральне ребро. Розвиток гусениці нерівномірний і триває від 20 до 50 днів залежно від температури навколишнього середовища. Міни *P. robiniella* з'являються трохи раніше, ніж міни *Ph. robiniella*, але в обох випадках листя інтенсивно заселених гілок може передчасно опадати наприкінці червня.

На одному листі може бути кілька мін, які часто об'єднуються. Личинки останнього віку заляльковуються в ходах у білих овальних коконах. Метелики вилітають влітку 7-10 днів, восени 10-20 днів, залежно від температури. Повний розвиток особин триває 5-11 тижнів [25].

Обидва види харчуються лише представниками роду *Robinia* і мають 2-3 покоління на рік, які можуть перекривати одна одну [39]. Водночас *P. robiniela* відрізняються фенологією, деякими біологічними особливостями та формою мін. Міни *P. robiniela* мають неправильну форму, з розгалуженнями, завжди включають головну жилку. У міні завжди одна зелена гусениця. Личинки дорослого віку залишають міні і заляльковуються в опаді листя [17].

Міни на листках робінії мають вигляд білих плям на нижній стороні листя і не перетинають основну жилку. На одному листі може бути кілька мін, які часто зливаються. Гусениці останнього віку заляльковуються в ходах у білуватих коконах [17, 39].

У Одеській області домінує *P. robiniela*, тоді як у Румунії в окремі роки домінування якогось одного виду не фіксується [24]. На тих самих плантаціях міни *P. robiniela* першого покоління знайдено на кілька тижнів пізніше, ніж міни *Ph. robiniela* [25].

Літературні дані про фенологію мінерів в основному присвячені *P. robiniela* [24, 39]. У Дніпропетровській області в 2017 році були виявлені *P. robiniela*, домінував *Ph. robiniela*. Враховуючи значення робінії в декоративно-захисних насадженнях зеленої інфраструктури міста, недостатню вивченість цього шкідника в Україні та необхідність розробки заходів захисту, спонукали нас провести дослідження.

Вивчаючи особливості сезонного розвитку *P. robiniela* на робінії в зелених насадженнях м. Дніпро, ми враховували, що терміни розвитку комах зазвичай узгоджуються із сезонним розвитком кормової рослини, який приурочений до на хід температури в місцевості та пори року.

Як ми підраховували, за період наших досліджень 2022 рік характеризувався найбільшою кількістю позитивних, активних і ефективних температур на порогах 5, 10 і 15°C. За сумою температур літнього періоду (період з температурами до 15°C) друге місце посів 2021 р., третє – 2019 р. і останнє – 2018 р. Спостерігався стійкий перехід

температури від 5°C. і 10°C було в 2018 році (15 березня і 10 квітня). При цьому найбільш рано літо почалося у 2020 та 2021 роках (дати стійкого переходу температури повітря через 15°C – 5 та 8 травня відповідно), тоді як у 2018 році це явище було зареєстровано лише 24 травня.

Гусениці, як і більшість мінуючих комах, пройшли 5 віків розвитку. У цей же період зі збільшенням віку гусениць змінювалися не тільки розміри, але і зовнішній вигляд мін. Після линьки в II віці міни почали сплющуватися і до кінця розвитку гусениці III віку нагадували білі плями. Як відомо [24] «під час розвитку особин V віку міна була помітна і на верхній стороні листка, вона займала майже половину, але не перетинала основну жилку».

У разі відкладання кількох яєць на один листок міни зливалися, починаючи з появи гусениць II віку. Гусениці заляльковувалися в товстому шовковистому коконі, який було добре видно в шахті. Перші лялечки мінера першого покоління були виявлені нами не раніше 2022 року (18 червня), дещо пізніше 2021 року (23 червня) і не пізніше 2019 та 2018 років (25 та 30 червня відповідно).

Ми встановили, що тривалість розвитку була найменшою (38 днів) у 2022 р., а в інші роки становив 41-42 дні, і в усіх випадках розвиток першого покоління був найтривалішим у розрахунку на появу метеликів породи. друге та зимуюче покоління.

Дещо вищі значення середньої температури повітря зафіксовано під час розвитку другої генерації (19-21,1°C і 23,0-23,1°C для першої та другої генерацій відповідно). У зв'язку з тим, що розвиток всіх генерацій мінера тривав при температурах вище 15°C, суми активних температур, необхідні для розвитку, виявилися досить близькими – в середньому 868,3 і 845,0°. С відповідно. Сума ефективних температур на порозі 10°C для розвитку однієї генерації становила в середньому 462,2°C.

Інший мінер робінії – *Ph. robiniela* виявлена в регіоні наших досліджень у значно меншій кількості, ніж *P. robiniela*, тому ми виявили лише деякі особливості її сезонного розвитку. Нами зареєстровано три періоди льоту цього метелика, що свідчить про наявність трьох поколінь на рік. За даними, отриманими в м. Дніпро, цей вид має три покоління, за даними, отриманими в Угорщині [39], два покоління.

Згідно з наведеними вище даними про температуру в регіоні наших досліджень у 2021-2022 рр. умови для розвитку цього шкідника були ближчими до тих, що були зафіксовані в м. Дніпро. Водночас не виключено, що в роки з нижчими температурами під час розвитку *Ph. robiniela* кількість поколінь може бути меншою. Міни *Ph. robiniela* були виявлені на кілька тижнів пізніше, ніж міни акації.

РОЗДІЛ 3. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Польові дослідження

Дослідження проведені у вегетаційний сезон 2022 р. у парках м. Дніпро (Україна). Україна розташована у східній Європі, на південно-західній частині Східноєвропейської рівнини. Для дослідження було обрано шість локацій у місті Дніпро, яке розташоване в центральній частині Дніпропетровської області, на обох берегах Дніпра, в межах Північної степової підзони, в південно-східній частині України.

Клімат – помірно-континентальний. Території міста має складну рельєфну будову території. На Лівобережжі більша частина зайнята заплавно-рівнинним типом рельєфу із абсолютними відмітками поверхні 51,0-72,6 м.

На Правобережжі переважно рельєф має форму рівнинно-водороздільного сильно розчленованого (0,8-0,9 км/км²), з перепадом висот 51,0-180,0 м. Середньорічна температура повітря становить близько +8°C, середньорічна кількість опадів – 477 мм. Термін вегетаційного періоду – 210 днів.

Рівень забруднення атмосферного повітря у місті вище середнього. Основу промислового комплексу міста складають підприємства чорної металургії, машинобудування, хімічної промисловості та енергетики.

Відбір проб було проведено в першій декаді вересня 2022 р., що відповідало періоду максимального ушкодження листя інвайдером, на території Ботанічного саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара – екологічно сприятлива зона (ПП 1) і на шести ділянках різної інтенсивності забруднення атмосферного повітря (ПП 2 –ПП 6) (рис. 1; табл. 1)



Рисунок 3.1. Карта із розташуванням пробних площ (ПП 1-ПП6)

Експеримент проводили на 5 екземплярах *Robinia pseudoacacia* L. з кожної ділянки (всього 30 екз.) обраних паркових територій міста. Для дослідження обрано шість груп модельних дерев *Robinia pseudoacacia* L. різного віку: 5-10-ти, 15-25-ти і 40-річного віку (відповідно I, II і III вікові групи) з наявним ураженням листя мінером *P. robiniella*. Для кожної ділянки як контроль брали листя без пошкоджень мінером і ознак старіння.

3.2. Лабораторні дослідження

Для біохімічних аналізів з попередньо обраних дерев, з нижньої третини крони південної експозиції відбирали складне листя середньої формації без ознак старіння по 5 шт. від 5 дерев робінії псевдоакації одночасно з кожної пробної площі. Листки промивали водою і одразу використовували для екстракції ензимів. Для ідентифікації ферментного препарату листки робінії (0.3 г) гомогенізували в 6 мл 0.05 М трис-HCL

буфері, рН 7.4 з 0.5% полівінілпіролідом (PVP). Екстракцію здійснювали при +4⁰С протягом 1 год та центрифугували 20 хв при 14000 об/хв.

Таблиця 3.1. Опис пробних площ

Позначення	Локація	GPS координати, висота над рівнем моря
ПП 1	Ботанічний сад Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (екологічно сприятлива зона)	48°43'08" N, 35°03'95" E (висота місцевості 127 м над рівнем моря)
ПП 2	Сквер Металургів (західна Правобережна частина міста, поблизу Дніпровського металургійного заводу)	48°28'26" N 34°59'31" E (висота місцевості 94 м над рівнем моря)
ПП 3	парк Л. Глоби (безпосередньо біля головної дороги у центрі міста з інтенсивним рухом транспорту)	48°47'06" N, 35°03'20" E (висота місцевості 56 м над рівнем моря)
ПП 4	парк Молодіжний (західна Правобережна частина міста, поблизу Дніпровського лакофарбового заводу)	48°29'08" N, 34°56'42" E (висота місцевості 82 м над рівнем моря)
ПП 5	парк Мануйлівський (Лівобережна частина міста, поряд з головною магістраллю з інтенсивним рухом транспорту, на відстані 1,75 км від Трубопрокатного заводу)	48°29'13" N, 35°03'40" E (висота місцевості 56 м над рівнем моря)
ПП 6	парк Т. Шевченка (Центральна частина міста, зона інтенсивної седиментації шкідливих домішок заводів південно-східної частини Лівобережжя: теплова електростанція, Трубопрокатний завод)	48°46'15" N, 35°07'03" E (висота місцевості 82 м над рівнем моря)

Активність антиоксидантних ферментів гваякол-пероксидази і каталази здійснювали спектрофотометричними методами. Активність гваякол-залежної пероксидази (GPx, EC 1.11.1.7) оцінювали згідно Ranieri

et al. (2001) і виражали в $\mu\text{mol TG} / \text{min} \cdot \text{g FW}$. Активність каталази (CAT) оцінювали згідно Goth (1991), результати виражали в $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 / \text{min} \cdot \text{g FW}$. Концентрацію розчинних білків (LP) визначали за методом Bradford (1976).

Результати досліджень активності ферментів та вмісту розчинних білків представляли як середнє значення $\bar{x} \pm \text{SD}$ (стандартне відхилення). Для визначення достовірної різниці групових середніх застосовували критерій Тьюкі (Honestly Significant Difference). Відмінності визнані статистично значущими за $p < 0,05$. Отримані дані аналізували за допомогою програми Statistica (версія 8, StatSoft, США). Для перевірки значущості залежності біохімічних характеристик рослин від предикторів середовища (*P. robiniella*, вік дерева) використано багатовимірну загальну лінійну модель GLM (пакет програмного забезпечення Statistica).

Для визначення залежності активності ферментів від акумуляції протеїну використано однофакторний дисперсійний аналіз ANOVA. На кожній панелі наведено значення коефіцієнта кореляції (r). Контролем слугувало листя без мін для кожної моніторингової локації.

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ВПЛИВУ *PARECTORA ROBINIELLA CLEMENS*,
1863 НА БІОХІМІЧНІ ПАРАМЕТРИ *ROBINIA PSEUDOACACIA L.*
В УМОВАХ М. ДНІПРО

4.1. Особливості реакції антиоксидантної системи захисту *Robinia pseudoacacia* на живлення гусені *Parectora robiniella*

Застосування Загальної лінійної моделі (GLM) показало статистично значущі ($p < 0.001$) ефекти фітофага, віку дерев та їх взаємодії на активність гваякол-пероксидази, каталази і концентрацію розчинних білків (табл.4.1.).

Таблиця 4.1. Оцінки GLM впливу *P. robiniella* ($F = 18,5$, $p < 0,001$), віку ($F = 22,8$, $p < 0,001$) та їх взаємодії ($F = 5,8$, $p < 0,001$)

Параметри	R^2_{adj}	Модель			Залишок			F -ratio	p -level
		Сума квадратів	df	Середня сума квадратів	Сума квадратів	df	Середня сума квадратів		
GPx	0.44	3421.1	5	653.4	3217.5	31	108.15	6.20	<0.001
CAT	0.61	101176.2	5	20277.6	52853.0	31	1751.57	11.57	<0.001
Protein	0.42	14.5	5	3.2	15.8	31	0.54	5.87	<0.001

Дослідження змін вмісту LP показало, що всіх вікових групах різних урбоценозів виявлено різноспрямовані його зміни в листі Робінії за пошкоджувальної дії молі-строкатки (табл. 4.2.).

У переважній більшості дослідних зразків посилення цього параметру зареєстровано у дерев I вікової групи і, особливо, із зони ПП 1 на 92% ($p = 4,15 \cdot 10^{-4}$), ПП 2 на 71% ($p = 6,36 \cdot 10^{-4}$) і ПП 5 в 2,5 рази ($p = 3,40 \cdot 10^{-10}$). Достовірно значиме зниження даного показника зареєстровано в зоні інтенсивних викидів автотранспорту (ПП 3): на 47,2 ($p = 1,01^{-6}$), 3,5 ($p = 0,025$) і 61,8 % ($p = 2,73^{-10}$) відповідно до I, II і III вікових груп дерев.

Статистично незначиме інгібування параметру виявлено в насадженні ПП 6 на 17,9% ($p = 0,137$) I вікової групи, на 6,2% II віку ($p = 0,668$) і ПП 1 (екологічно сприятлива зона) на 11,6% ($p = 0,492$) у III віковій групі. У II віковій групі дерев підвищення цього показника зареєстровано в двох випадках: в зоні викидів трубопрокатного заводу ПП 5 на 9,5 ($p = 0,04$) і хімічного виробництва (ПП 4) на 23,8% ($p = 0,018$). III вікова група рослин чорної сарани показала підвищення вмісту білків за пошкоджувальної дії *P. robiniella* також у двох випадках: у зоні ПП 2 (металургійне виробництво) – на 24,3 ($p = 4,60 \cdot 10^{-5}$) і L5 на 12,9% ($p = 0,004$).

Індивідуальна мінливість за вмістом легкорозчинних білків в ураженому міллію листі в групах рослин із різних насаджень мала низькі значення коефіцієнту варіації (0,14 – 18,0%). Уражені рослини у більшості випадків показали суттєво вищу активність GPx по всіх вікових групах рослин з дослідних ділянок порівняно з неураженими рослинами (табл. 4.3.).

Статистично значиме посилення активності пероксидази на всіх вивчених ділянках відбувалось у листі дерев *R. pseudoacacia* I вікової групи. В зоні викидів хімічної промисловості (ПП 4) у III групі дерев відмічалась лише тенденція до підвищення активності GPx на 4,7% ($p = 0,083$). Найбільш статистично значиме посилення активності пероксидази майже на всіх вивчених ділянках відбувалось у листі дерев III вікової групи, діапазон якого складав від 21,4 до 254,9%.

У дерев II віку у двох локаціях (ПП 1 і ПП 2) зафіксовано статистично значиме підвищення активності ферменту на 59,7 і 97,9% ($p = 8,75 \cdot 10^{-5}$; $p = 2,33 \cdot 10^{-6}$), у двох – ПП 5 і ПП 6 – лише тенденція до підвищення активності ($p = 0,283$; 0,153 відповідно). У I віковій групі на трьох моніторингових ділянках (ПП 1, ПП 5 і ПП 6) зареєстровано достовірне підвищення активності GPx на 94,1, 145,0 і 118,5% відповідно ($p < 0,001$).

Таблиця 4.2. Уміст розчинних білків в листі дерев *R. pseudoacacia* різного віку за дії *P. robiniella* (n = 5; mean ± SD)

Пробна площа	Вміст протеїнів, mg/g					
	I вікова група		II вікова група		III вікова група	
	контроль	дослід	контроль	дослід	контроль	дослід
ПП 1	0.99 ± 0.11	1.85 ± 0.07	1.02 ± 0.04	0.98 ± 0.02	1.05 ± 0.25	1.17 ± 0.04
ПП 2	1.35 ± 0.02	2.27 ± 0.03	1.62 ± 0.03	1.41 ± 0.01	4.66 ± 0.08	5.77 ± 0.06
ПП 3	2.87 ± 0.00	1.51 ± 0.04	2.63 ± 0.03	2.56 ± 0.02	4.12 ± 0.02	1.56 ± 0.02
ПП 4	1.17 ± 0.07	1.31 ± 0.08	1.12 ± 0.12	1.36 ± 0.03	1.56 ± 0.01	0.84 ± 0.07
ПП 5	0.76 ± 0.02	1.91 ± 0.01	1.26 ± 0.04	1.38 ± 0.06	3.34 ± 0.04	3.77 ± 0.02
ПП 6	4.84 ± 0.67	3.97 ± 0.44	4.04 ± 0.62	3.81 ± 0.67	2.71 ± 0.48	3.16 ± 0.45

Таблиця 4.3. Активність гваякол-пероксидази листя дерев *R. pseudoacacia* різного віку за дії *P. robiniella* (mean ± SD)

Пробна площа	Активність GPx, $\mu\text{mol TG} / \text{min} \cdot \text{g FW}$					
	I вікова група		II вікова група		III вікова група	
	контроль	дослід	контроль	дослід	контроль	дослід
ПП 1	17,38 ± 0,46	33,83 ± 0,74	26,70 ± 1,24	42,37 ± 1,22	10,88 ± 0,22	38,77 ± 0,54
ПП 2	37,75 ± 0,28	20,88 ± 0,44	30,69 ± 0,88	60,65 ± 0,96	21,45 ± 0,56	26,61 ± 0,22
ПП 3	42,67 ± 0,93	54,20 ± 1,16	52,31 ± 2,71	63,50 ± 1,87	40,30 ± 2,07	38,89 ± 1,36
ПП 4	17,14 ± 0,19	11,39 ± 0,66	28,85 ± 0,38	22,88 ± 0,71	26,66 ± 0,82	27,71 ± 0,45
ПП 5	15,16 ± 1,03	33,04 ± 1,11	42,98 ± 0,86	43,83 ± 0,84	20,92 ± 1,02	49,46 ± 0,81
ПП 6	22,45 ± 0,78	55,14 ± 0,87	22,38 ± 0,96	23,58 ± 0,85	15,49 ± 0,44 ^a	40,69 ± 0,27

Статистично значиме зниження активності гваякол-пероксидази встановлено у двох насадженнях у зоні впливу викидів металургійного виробництва (ПП 2; I вікова група) і хімічної промисловості (ПП 4; I і II вікові групи; $p < 0,001$). Мінливість за активністю GPx в ураженому листі в групах рослин із різних забруднених територій мала низькі значення коефіцієнту варіації (0,6 – 6,7%).

Зразки листя з мінами молі показали підвищення активності ензиму (від 17,8 до 110,0%; $p < 0,001$) у I віковій групі у чотирьох локаціях.

У II віковій групі також переважало перевищення активності ферменту в різних урбоценозах (ПП 2, ПП 3, ПП 4 і ПП 6) через напад комах і, особливо, в зоні впливу металургійного виробництва (ПП 2), а саме: на 88,7% ($p = 1,99 \cdot 10^{-3}$). Найбільш значного інгібування активності каталази зазнало уражене комахами листя із зон впливу викидів автотранспорту (ПП 3) і хімічного виробництва (ПП 4) у середньому на 49% ($p < 0,001$). Індивідуальна мінливість за активністю каталази в ураженому листі в групах рослин із різних паркових насаджень мала низькі і середні значення коефіцієнту варіації (0,3 – 19,1%).

Узагальнений відгук біохімічних параметрів (рис. 4.1.) на пошкоджувальну дію фітофага як функції від віку дерева показав, що активність GPx статистично значуще збільшувалась тільки у листі дерев III вікової групи, а саме на 64,8% ($F = 24,5$; $p = 2,01 \cdot 10^{-5}$). В інших вікових групах спостерігалась тенденція до посилення активності гваякол-залежної пероксидази (на 36,0%, $p = 0,059$ і на 26,2%, $p = 0,062$ відповідно).

Разом з тим рівень варіабельності активності GPx в ураженому фітофагом листі посилюється у дерев I і II віку на 9,4 і 20,6% відповідно порівняно з контролем, а в III групі фіксується зниження цього показника на 49,3%.

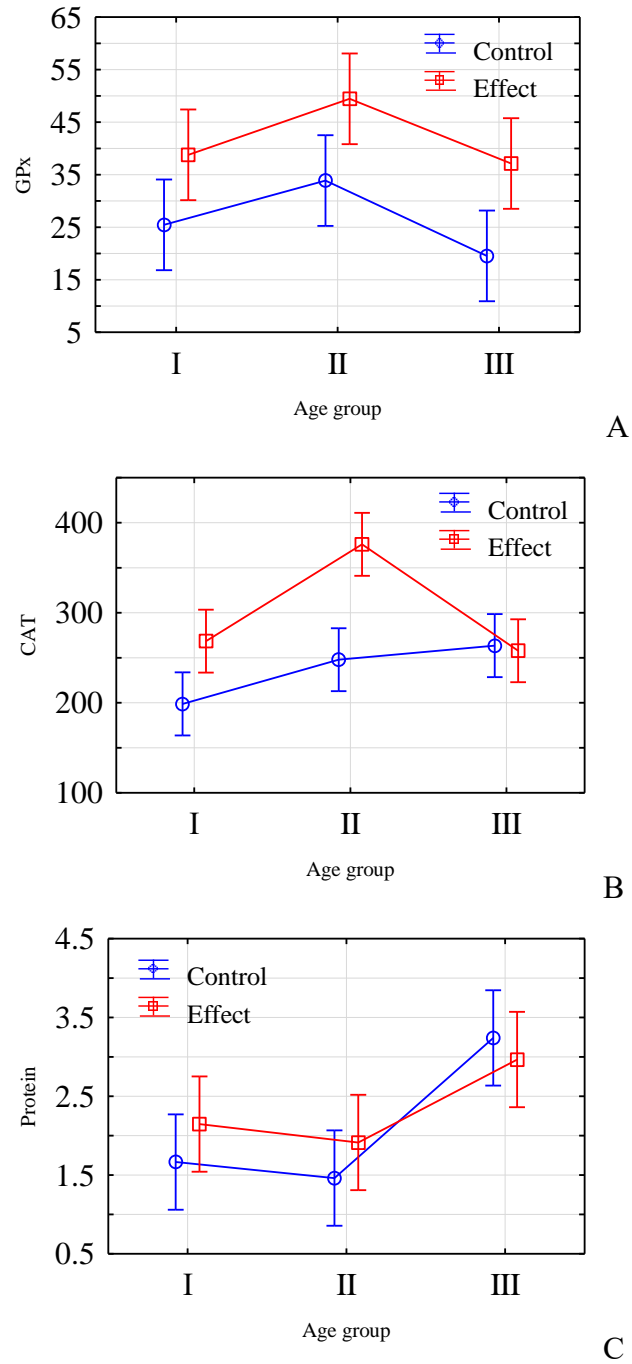


Рисунок 4.1. Реакція біохімічних параметрів дерев різного віку
вплив *P. robinella*

На рисунку 4.1 показано статистично значиме підвищення активності САТ у дерев I віку на 21,1% ($F = 5,70$; $p = 0,023$), а у II і у III вікових групах – лише тенденція (на 23,7%, $p = 0,240$) і на 4,5 % ($p = 0,852$) відповідно. Відмічається підвищення варіабельності активності ензима в уражених мінером листках у II і III вікових групах дерев в 1,9 і 2,0 рази відповідно порівняно з контролем.

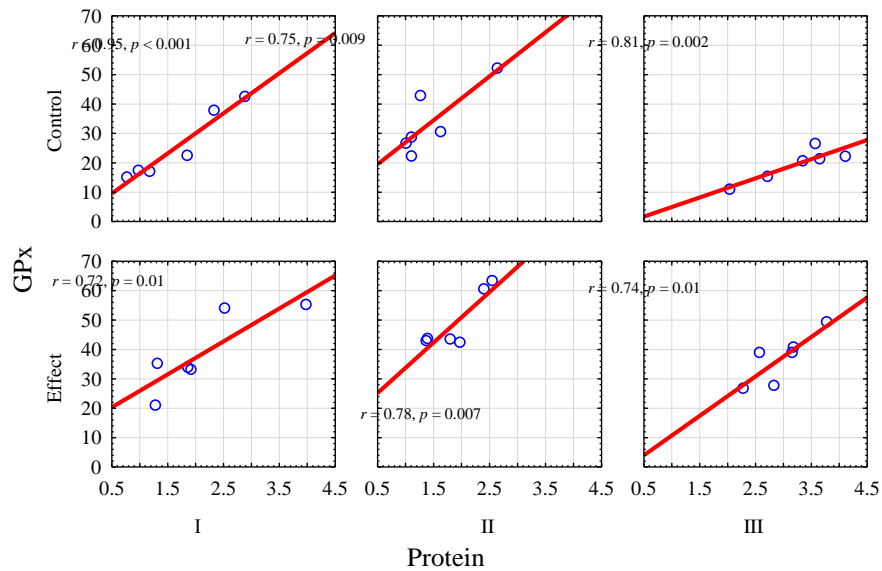
У I віковій групі варіабельність активності каталази зменшувалась на 29,8%. У всіх досліджених вікових групах дерев зміни вмісту розчинних білків (рис. 4.1.) за дії *P. robiniella* виявились статистично незначущими ($p > 0,05$). Накопичення протеїну характеризується серед досліджених показників найбільш високим рівнем мінливості: 44,7-69,9% в контрольному листі і 48,5–79,5% - в дослідному..

Отримані нами результати вказують на наявність зв'язків між дослідженими параметрами в умовах впливу предикторів. Активність ферментів GPx і САТ підвищувалась із підвищенням протеїнової концентрації як у контрольного листа, так і за впливу молі-строкатки (рис. 4.2.). Максимальні значення ($r = 0,95$) коефіцієнту кореляції між гваякол-пероксидазою, каталазою і білком характерні для контрольного листа I вікової групи дерев, а для зв'язку САТ - LP – у дерев II віку.

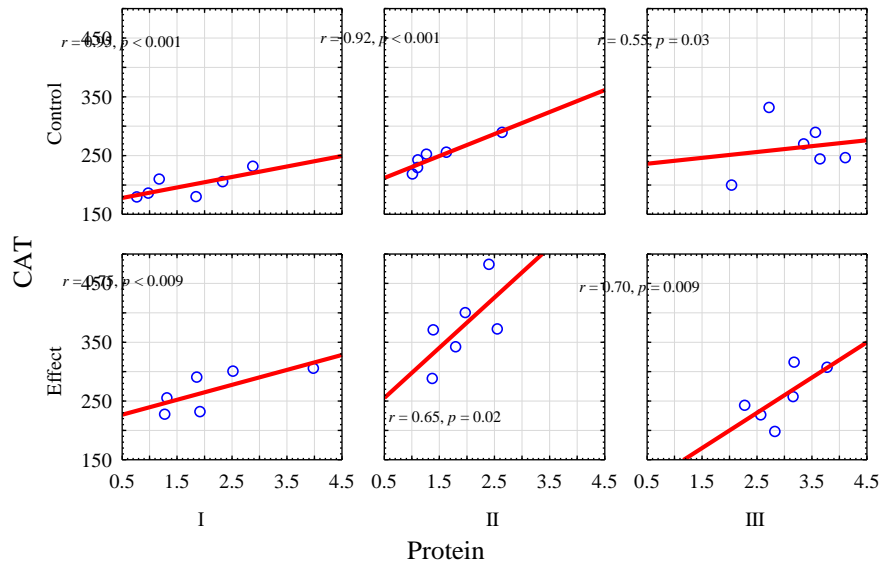
За дії фітофага відмічається істотне зниження інтенсивності взаємозв'язку активності GPx з концентрацією протеїну у I і III вікових груп. Незначне посилення зв'язку GPx – LP зафіксовано у II віковій групі дерев (рис. 4.2.A). Встановлено достовірне підвищення інтенсивності зв'язку САТ-Протеїн в листі дерев III віку (рис. 4.2.B).

Як показав аналіз результатів позитивна кореляція не залежала від впливу робінієвого мінера і віку дерева (табл.6).

Основний ефект кожного фактора, без урахування концентрації протеїну, був незначимим ($p > 0,05$)



A



B

Рисунок 4.2. Діаграма розсіювання GPx (A) та CAT (B) залежно від вмісту протеїну

Таблиця 4.4. Тест GLM впливу різних предикторів на нахил залежності GPx і CAT від вмісту білка

Ефект	GPx		CAT	
	<i>F</i> -ratio	<i>p</i> -level	<i>F</i> -ratio	<i>p</i> -level
Вікові групи	1.13	0.34	0.23	0.80
Мінер	0.43	0.52	0.34	0.56
Протеїн	63.00	0.00	14.59	<0.001
Вікові групи×Мінер	0.28	0.75	1.17	0.33
Вікові групи×Протеїн	0.95	0.40	1.33	0.28
Мінер×Протеїн	0.48	0.50	2.93	0.10
Вікові групи×Мінер×Протеїн	0.89	0.42	0.61	0.55

4.2. Аналіз адаптивного потенціалу *Robinia pseudoacacia* до інвазії *Parectopa robiniella*

Робінія є широко розповсюдженим видом в парках, скверах, садах та алеях м. Дніпро і відноситься до стійкого щодо несприятливих умов промислових міст Степової зони виду. У теперішній час зазнає пошкодження від *P. robiniella*, у зв'язку з чим постає питання про стійкість насаджень *R. pseudoacacia*. В Україні ця інвазійна міль-строкатка з'явилася відносно недавно і є недостатньо вивченою з точки зору фізіолого-біохімічних механізмів захисту *R. pseudoacacia* від неї.

Натомість комплексна дія біотичних і абіотичних факторів може призводити до того, що рослини можуть втрачати стійкість до важких умов міського середовища. Такі негативні наслідки можуть мати ще більший вплив на функціональний стан молодих дерев, які висаджують для озеленення промислових міст. За даними Korshykov et al. (2018) [24] найбільша життєздатність для вуличних насаджень рослин характерна у віковій категорії 21–30 та 31–40 років.

Невизначеність взаємодії «рослина-фітофаг» у природних умовах їх існування вимагає дослідження механізмів захисту рослин *R. pseudoacacia* різного віку від атак комах-інвайдерів в умовах міського середовища. Як показано рядом авторів, розмір і вік впливають на різні зміни в структурі та функції дерева, впливаючи на процеси росту, проростання, розмноження або накопичення вуглецю.

Білки та вуглеводи є особливо важливими поживними речовинами для травоядних комах через стимулювання їх росту і розмноження. Натомість вміст їх у рослин дуже мінливий. Хоча ці макромолекули мають однакову калорійність, для комах вони функціонально дуже різні. Результати свідчать про те, що комахи віддають перевагу білкам, коли загальний вміст макроелементів у доступній формі низький.

Білки забезпечують організм тварин амінокислотами, необхідних для побудови нових тканин, тоді як вуглеводи зазвичай використовуються як ключове джерело енергії, необхідне для підживлення біосинтезу білків. У рослин вміст білків варіює як між видами, всередині виду, так і в окремих рослинах залежно від типу тканини (листя, насіння, стебла) та його віку (молоде, старе листя) [19].

Як показали наші дослідження, вміст розчинних білків суттєво варіював серед вікових груп дерев *R. pseudoacacia* L., діапазон значень яких становив у 5-10-річних дерев 0,77-4,85; 15-25-річних – 1,01-4,05; 40-річних – 1,04-4,65 мг/г. Середні значення вмісту білків у загальній вибірці були значно вищими у старшій віковій групі (III) як у контрольних (на 26,5 і 45,5% відповідно до I і II груп), так і у дослідних зразків (у середньому на 45,8%) порівняно з молодими деревами. Про більш високий вміст розчинних білків у старих дерев відзначається і в інших роботах [38].

Аналіз виявив, що кількість білків зменшилася після нападу комах у листі дерев усіх вікових груп в зоні, де основними забруднювачами були викиди автотранспорту (ПП 3), а підвищення – в зоні викидів трубопрокатного заводу (ПП 5).

У II групі ця закономірність виявилась також у сприятливо екологічній зоні (ПП 1) і в зоні впливу металургійного виробництва (ПП 2), а у III групі дерев зменшення вмісту розчинних білків спостерігалось ще і в зоні ПП 4 (викиди хімічного виробництва). Натомість основна більшість ураженого шкідником листя у I і III вікових групах *R. pseudoacacia* показала підвищення концентрації білків у вивчених насадженнях. У II віковій групі тільки у двох локаціях (ПП 4 і ПП 5) із п'яти виявлено посилення синтезу білків.

Як показали результати дисперсійного аналізу відмічається позитивна кореляція між активністю ферментів і протеїном, що не залежало від віку дерев і впливу екологічних чинників середовища. Натомість Таким чином, білкова система рослини по-різному реагує на зараження комахами листя.

За результатами ряду досліджень [7] в умовах біотичного стресу зазвичай відбувається зниження інтенсивності метаболічних процесів (у тому числі зниження швидкості синтезу білків), що носить захисний характер, зберігаючи таким чином життєвий потенціал клітин, необхідний для наступної репарації. Крім того, повідомлялось [52], що живлення *Schizaphis graminum* листя *Panicum virgatum* L. пригнічує накопичення білків, які беруть участь у процесах фотосинтезу. У нашому дослідженні показано, що у більшості насаджень і, особливо, у I віковій групі спостерігається накопичення вмісту розчинних білків.

Як зазначається [52] така реакція рослин на ураження комахами може бути важливою для участі білків-ферментів в процесах біосинтезу захисних вторинних метаболітів. Крім того, встановлено індукцію факторів прямого захисту, таких як інгібітори протеаз, захисні пептиди у відповідь на живлення листям гризучих комах та інших токсичних білків, які знижують процес перетравлення листя фітофагами [6, 16], а також вторинних метаболітів (алкалоїди, фенольні сполуки).

Однією з головних реакцій рослин на напад травоядних комах є індукція окиснювально-відновних ферментів, таких як пероксидази і каталази. Рядом авторів показано, що чим більший рівень їх активності, тим вища стійкість рослин до нападу комах [18, 42, 51].

Отримані результати показують, що в ураженому шкідником листі основною закономірністю було підвищення або відсутність змін активності гваякол-пероксидази у більшості досліджених насаджень майже всіх вікових груп, крім моніторингової ділянки, яка знаходиться в зоні впливу викидів хімічного виробництва (ПП 4), де зафіксовано зниження активності GPx I і II вікових груп ($p < 0,001$). У загальній вибірці відзначається тенденція до посилення активності GPx у I і II вікових групах, а в III – відмінностей в активності ферменту між контролем і дослідом не встановлено.

Активация пероксидази в клітинах рослин робінії за дії шкідників може бути як результатом включення її в антиоксидантний захист, так і неспецифічної реакції на стрес, пов'язаний з укріпленням клітинних стінок через утворення лігнінів і окиснювальних фенолів. Отримані результати про високу активність GPx у місцях пошкоджень шкідником листя рослин підтверджує ряд досліджень.

Активність каталази також пов'язана з реакцією рослин на атаку трав'яних комах. Heng-Moss et al. (2004) [38] встановили зниження активності каталази у чутливого сорту буйволової трави у відповідь на живлення комах *Blissus occiduus*, у той час як стійкий сорт зберігав активність цього ензиму. Rangasamy et al. (2009) [35] повідомляли про відсутність зміни активності каталази в культиварах пшениці у відповідь на живлення південного клопа-черепашки. Встановлено зниження активності каталази при живленні *Cameraria ohridella* листям *Aesculus hippocastanum*.

Вивчення активності каталази в листі дерев *R. pseudoacacia*, що зростають в різних за екологічними умовами зонах промислового міста, показало, що активність ферменту суттєво різнилась, що залежало від віку дерев і типу техногенного забруднення середовища. Встановлено три види реакції САТ на ураження клітин листя black locust на всіх досліджених локаціях: підвищення, зниження і відсутність реакції. У загальній вибірці, як і у випадку GPx, після зараження гризучою комахою в листі також зафіксована тенденція до підвищення активності каталази на 20,7; 23,7 і 4,5 % відповідно до I, II і III вікових груп.

На основі отриманих результатів встановлено одночасно різноспрямовані зміни активності ферментів окиснювального метаболізму в індивідуальних експериментах. У дерев *R. pseudoacacia* з екологічно сприятливої зони (ПП 1) зафіксовано підвищення активності обох ферментів в 1,9 і 2,1 рази (I вікова група), в 3,5 рази і на 29,1% (III вікова група) відповідно до GPx і CAT. У зоні ПП 2 (викиди металургійного виробництва) аналогічна закономірність виявлена в листі дерев II вікової групи, де підвищення активності GPx і CAT було на рівні 98,0 і 88,7% відповідно. Зниження активності і GPx (на 33,7%), і CAT (на 5,4%) відмічено тільки в одній локації ПП 1.

Третя закономірність стосується зниження активності GPx (на 44,6 і 20,2%) і підвищення CAT (на 22,3 і 19,0%), що зафіксовано у дерев із зони викидів металургійного (ПП 2, I вікова група) і хімічного (ПП 4, II вікова група) виробництв відповідно. Навпаки, підвищення активності GPx (на 59,7%) і зниження CAT (на 8,6%) виявлено в II віковій групі в зоні ПП 1. Ще дві різноспрямовані зміни зареєстровані в III віковій групі дерев з двох локацій: ПП 2 (підвищення рівня GPx на 25,6% і відсутність зміни активності CAT) і ПП 4 (відсутність зміни GPx і пригнічення активності CAT на 49,2%).

Аналіз значимих кореляцій між біохімічними параметрами показав, що у пошкодженому мінером листі у більшості дерев зменшується ступінь інтенсивності взаємозв'язків GPx-Protein і CAT-Protein, що може бути наслідком порушення в роботі білоксинтезуючої системи як за впливу *P. robiniella*, так і надлишкового надходження в клітини інгредієнтів автомобільних і промислових викидів.

Вивчені закономірності змін активності ферментів антиоксидантного захисту можуть свідчити про варіації стійкості дерев *R. pseudoacacia* до умов комплексної дії біотичних і техногенних чинників урбосередовища. Виходячи з літературних даних, можна вважати, що стійкі до комплексної

дії шкідників і поллютантів дерева робінії характеризуються підвищенням або незмінністю активності гваякол-пероксидази і каталази, тоді як у нестійких рослин робінії відбувається зниження активності ферментів. Представлені результати щодо змін активності каталази і пероксидази свідчать про їх важливу роль у детоксикації активних форм кисню та підтриманні гомеостазу рослинного організму за несприятливих умов.

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ В НАУКОВО-ДОСЛІДНІЙ ЛАБОРАТОРІЇ МОЛЕКУЛЯРНОЇ БІОЛОГІЇ ТА ФІЗІОЛОГІЇ РОСЛИН

5.1. Правила техніки безпеки при роботі у лабораторії

Багато речовин, що використовуються в органічній хімії, є тією чи іншою мірою займистими, або токсичними, або тими та іншими одночасно. Тому при роботі в лабораторії необхідно суворо дотримуватись основних правил техніки безпеки незалежно від того, який виконують експеримент.

1. Категорично не допускається працювати поодиноці в лабораторії, тому що у випадку небезпечної ситуації не буде кому надати потерпілому допомогу. Працювати слід лише у встановлений час, і тільки під наглядом викладача або інших працівників.

2. Необхідно тихо себе поводити, постійно дотримуватись чистоти та порядку, адже «поспішність і неохайність у роботі часто призводять до нещасних випадків». Не можна відволікати від роботи та відволікати своїх товаришів. Категорично недопускається утримання на лабораторному столі не лабораторних предметів.

3. Категорично недопускається розміщення та зберігання їжі, пити горілку та палити.

4. Всі працівники повинні знати де перебувають засоби індивідуального захисту, аптечка, прилади для гасіння пожежі. Крім окулярів, у лабораторії мають бути захисні маски, респіратори та протигази. У всіх лабораторіях у легко доступних місцях знаходяться засоби для пожежогасіння (ящики з піском та совком, вогнегасники, протипожежні ковдри), а також аптечки, які мають всі медикаменти, необхідні для надання невідкладної медичної допомоги.

5. Розпочинати роботи у лабораторії можна лише тільки після того, як було прослухано інструктаж з техніки безпеки. Обовязко потрібно проконсультуватись із викладачем з приводу безпеки проведення лабораторного експерименту.

6. У лабораторії повністю забороняється куштувати різні хімічні речовини. Ідентифікувати запах хімічної речовини слід обережно, спрямовуючи до себе утворені пари чи газу легким рухом руки, за час цих маніпуляцій не можна робити повний ковток повітря.

7. Під час роботи не можна допускати потрапляння хімічних речовин а шкіру, адже велика груп хімреактивів здатна викликати подразнення або навіть опіки шкіри різної важкості.

8. Усі банки, у яких перебувають речовини, мають бути забезпечені етикетками із правильними назвами речовин.

9. Забороняється самостійно підігрівати, міксувати або збовтувати хімічні реактиви поблизу обличчя. При підігріванні категорично забороняється тримати пробірку або колбу з отвором поряд.

10. Необхідно користуватися захисними окулярами у таких випадках:

- а) при роботі з їдкими речовинами (з концентрованими розчинами кислот та лугів, при дробленні твердого лугу тощо);
- б) при перегонці рідин при зниженому тиску та роботі з вакуум-приладами;
- в) під час роботи з лужними металами;
- г) щодо температури плавлення речовини в приладі з концентрованою сірчаною кислотою;
- д) під час роботи з ампулами та виготовлення скляних капілярів.

11. Категорично забороняється виливати у невстановлене місце залишки різних хімічних речовин.

Для зливу таких хімічних речовин у витяжній шафі постійно знаходяться пристосовані для цього судини з щільно притертими кришками та відповідними етикетками.

12. Не дозволяється кидати у не пристосовані для цього місця рештки посуду чи біологічних або інших матеріалів.

13. По завершенню роботи в лабораторії потрібно вимкнути газ, воду, витяжні шафи та електроенергію.

5.2. Правила техніки безпеки при роботі з кислотами і лугами.

1. Зберігання різних кислот та лугів повинно відбуватись виключно в умовах витяжної шафи у спеціалізованому посуді.

2. При роботі із будь-якими кислотами та лугами обов'язково потрібно перебувати у захисних окулярах.

3. Концентровану соляну та азотну кислоти потрібно переливати лише в умовах витяжної шафи. У лабораторних дослідах, де потрібно здійснювати розведення кислот, цей процес повинен проходити лише в жаростійкому посуді. У процесі переливання будь-яку кислоту потрібно додавати до водного розчину маленькими дозами, при перемішуванні (не можна приливати воду до кислоти).

4. У процесі розчинення гідроксидів натрію та калію рештки лугу можна брати лише пінцетом або іншими спеціалізованими засобами, ні в якому разі не руками.

5.3. Заходи безпеки при пожежах та витоках газів

1. У разі виникнення пожежі потрібно швидко прибрати всі горючі речовини подалі від місця загоряння, відключити газову магістраль, усі електроприлади та припинити активний доступ повітря до лабораторії.

2. При появі полум'я його необхідно гасити піском або протипожежною ковдрою, які обов'язково наявні в лабораторії. Ні в якому разі не можна гасити полум'я водою, адже це може призвести до розширення вогнища пожежі. При збільшенні площі горіння обов'язково слід застосувати вогнегасник.

3. При займанні одягу на працівнику, потрібно негайно щільно накрити тканину об'ягу, що загорілася, протипожежною ковдрою. При займанні одягу на людині, ні в якому разі не можна бігти, оскільки такі дії сприятимуть збільшенню площі займання.

5.4. Надання першої медичної допомоги

1. «При термічних опіках першого ступеня (почервоніння та припухлість) обпалене місце треба обробити спиртовим розчином таніну, 96%-ним етиловим спиртом або розчином перманганату калію». «При опіках другого та третього ступеня (бульбашки та виразки) допустимі лише знезаражувальні примочки з розчину перманганату калію, після чого необхідно звернутися до лікаря».

2. При опіках кислотами необхідно промити уражене місце великою кількістю проточної води, а потім 3% розчином гідрокарбонату натрію, після чого – знову водою.

3. При опіках лугами потрібно промити вогнище ураження проточною водою, а потім розбавленим розчином борної чи оцтової кислоти.

4. При попаданні лугу або кислоти в очі необхідно промити їх проточною водою (3 - 5хв), а потім розчином борної кислоти (у разі потрапляння лугу) або гідрокарбонату натрію (у разі потрапляння кислоти), після чого звернутися до лікаря.

5. При опіках бромом, уражене місце необхідно змити 96% спиртом або розбавленим розчином лугу довільної концентрації, після цього на уражене місце наносять мазь від опіків, після чого обов'язково звертаються до лікаря.

6. При потраплянні на шкіру їдких органічних речовин різного походження, що не розчиняються у воді, їх терміново потрібно змити великою кількістю відповідного розчинника. Після надання першої допомоги постраждалий має бути направлений до медпункту.

ВИСНОВКИ

1. Отримані результати демонструють різноспрямованість активності ферментативної антиоксидантної системи захисту дерев *R. pseudoacacia* різного віку на пошкоджуючу дію гусені *P. robiniella*, що свідчить про високу пластичність даного виду до комплексу несприятливих умов урбанізованого середовища в умовах Степового Придніпров'я. Показано, що більшість дерев *R. pseudoacacia* на атаку гусені мінера реагує індукуванням активності каталази і гваякол-пероксидази та загального розчинного білка в листі.
2. Результати біохімічного аналізу показали достовірно значимі відмінності між контрольними і дослідними зразками листя в різних екосистемах міста. Не встановлено зв'язку змін активності каталази і пероксидази, вмісту протеїну за дії молі-строкатки від віку дерева. Відмічено значна мінливість білків за дії *P. robiniella*, найвищі значення якого зареєстровано в листі дерев III віку. У більшості насаджень і, особливо, у дерев III вікової групи зареєстровано підвищення (від 1,2 до 2,7 разу) активності GPx або відсутність її змін як в екологічно сприятливій зоні, так і в зонах впливу викидів автомобільного транспорту і промислових підприємств.
3. У II віковій групі максимального підвищення активності (на 88,7%) зазнали дерева в зоні впливу металургійного виробництва. Зниження активності САТ зафіксовано в двох локаціях I вікової групи (на 5,4 і 15,2%) в зоні впливу хімічного і трубопрокатного виробництв, в насадженні II віку – в екологічно сприятливій зоні (на 8,6%) і найбільшого інгібування (на 49,2%) – в зоні впливу хімічного виробництва (III вікова група). Встановлено зниження інтенсивності

взаємозв'язків між вивченими біохімічними показниками за впливу фітофага.

4. З'ясовано, що стійкість рослин *R. pseudoacacia* залежить від координованої дії ферментів-антиоксидантів. Зареєстровано основні типи одночасних змін активності ферментів окиснювального метаболізму: підвищення активності і GPx, і CAT; зниження активності обох ферментів; підвищення активності GPx і зменшення – CAT; зниження GPx і підвищення CAT, що відображає різноманітність адаптивних реакцій робінії і дозволяє їй швидко перебудувати свою систему захисту від атаки *P. robiniella* в умовах різноякісного забруднення територій індустріального міста.

ДЖЕРЕЛА ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дзиба А.А. (2011). Робінія псевдоакація (*Robinia pseudoacacia* L.) у міських лісах Києва. Науковий вісник НЛТУ України. 21(16). 306-311.
2. Лакида П.І., Ситник С.А. (2014). Особливості таксаційної структури деревостанів *Robinia pseudoacacia* L. Придніпровського Північного Степу України. Лісівництво і агролісомеліорація, 25-31.
3. Ситник С.А. (2018). Щільність основних компонентів фітомаси стовбурів дерев робінії несправжньоакації в умовах Північного Степу України. Науковий вісник НЛТУ України 28 (5), 49-52.
4. Ситник С.А. (2019). Фітомаса компонентів крони робінієвих деревостанів у Північному Степу України. *Agrology* 2 (3), 139-145.
5. Шевченко Є.І. (1997). Народна деревообробка в Україні: слов. нар. Термінологія. Київ: Артанія, 312 с.
6. Acevedo F.E., Rivera-Vega L.J., Chung S.H., Ray S., Felton G.W. (2015). Cues from chewing insects – the intersection of DAMPs, HAMPs, MAMPs and effectors. *Curr Opin Plant Biol.* 26:80-6.
7. Bijak S. and Lachowicz H. (2021). Impact of Tree Age and Size on Selected Properties of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Wood/Forests 2021, 12(5), 634.
8. Bond B.J., Czarnomski N.M., Cooper C., Day M.E., Michael S.G. (2007). Development decline in height growth in Douglas-fir. *Tree Physiology* 27: 441-453.
9. Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Anal. Biochem.*, 72, 248-254.
10. Canbolat Ö. Determination of Potential Nutritive Value of Exotic Tree Leaves in Turkey. (2012). *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.*, 18 (3): 419-423.

11. Csóka G., Stone G. N., and Melika G. (2017). Non-native gall-inducing insects on forest trees: a global review. *Biol. Invasions* 19, 3161–3181.
12. Davis D.R. and De Prins J. (2011). Systematics and biology of the new genus *Macrosaccus* with descriptions of two new species (Lepidoptera, Gracillariidae). *ZooKeys* 98: 29–82
13. Dini-Papanastasi O. and Aravanopoulos F.A. (2008). Artificial hybridization between *Robinia pseudoacacia* L. and *R. pseudoacacia* var. *monophylla* Carr. *Forestry*, 81(1), 91-101.
14. Duan L., Liu H., Li X. Xiao J., Wang S. (2014). Multiple phytohormones and phytoalexins are involved in disease resistance to *Magnaporthe oryzae* invaded from roots in rice. *Physiol. Plant.*, 152, 486–500.
15. Duan Y.-Y., Song L.-J., Niu S.-Q., Huang T., Yang G.-H., Hao W.-F. (2017). Variation in leaf functional traits of different-aged *Robinia pseudoacacia* communities and relationships with soil nutrients. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 28(1), 28–36.
16. Emebiri L.C., Tan M.K., El-Bouhssini M., Wildman O., Jighly A., Tadesse W., Ogbonnaya F.C. (2016). QTL mapping identifies a major locus for resistance in wheat to Sunn pest (*Eurygaster integriceps*) feeding at the vegetative growth stage. *Theor Appl Genet*.
17. Fodor E., Hâruța O. (2009). Niche partition of two invasive insect species, *Parectopa robiniella* (Lepidoptera; Gracillariidae) and *Phyllonorycter robiniella* (Clem.) (Lepidoptera: Gracillariidae). *Research Journal of Agricultural Science*, 41:261-269.
18. Gill R.S., Gupta A.K., Taggar G.K., Taggar M.S. Role of oxidative enzymes in plant defenses against insect herbivory. *Acta Phytopathol Entomol Hung* 2010; 45:277- 90;
19. Guo X., Ren X., Eller F. et al. (2018) Higher phenotypic plasticity does not confer higher salt resistance to *Robinia pseudoacacia* than *Amorpha fruticosa*. *Acta Physiol Plant*, 4, 40–79.

20. Goth L. (1991). A simple method for determination of serum catalase activity and revision of reference range. *Clinica Chimica Acta*, 196, 143–152.
21. Holec J., Krmelova K., Soukup J. (2009). Intensity of occurrence of locust gall midge (*Obolodiplosis robiniae*), leaf miner moth (*Phyllonorycter robiniella*), and locust digitate miner (*Parectopa robiniella*) on invasive black locust tree (*Robinia pseudoacacia*). XVIII. Česká a slovenská o ochrane rostlin, Brno: MZLU, 189 p.
22. Holoborodko K.K., Marenkov O.M., Gorban V.A. & Voronkova Y.S. (2016). The problem of assessing the viability of invasive species in the conditions of the steppe zone of Ukraine. *Vìsn. Dnìpropetr. Unìv. Ser. Bìol. Ekol.* 24(2), 466–472.
23. Holoborodko K.K., Rusynov V.I. & Seliutina O.V. (2018). Addition to analysis of morphological parameters of mines on two invasive leaf-mining Lepidoptera species ((*Parectopa robiniella* (Clemens, 1863) and *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859)) on black locust. *Problems of bioindications and ecology.* 23 (2), 134-141.
24. Holoborodko, K.K., Rusynov, V.I., Loza, I.M., Pakhomov, O.Ye. (2021). Adaptive features of the *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859) (*Gracillariidae* Stainton, 1854) population in urban ecosystems. *Ukrainian Journal of Ecology.* 11(2). 27-34.
25. Kirichenko N., Augustin S. and Kenis M. (2019). Invasive leafminers on woody plants: a global review of pathways, impact, and management. *Journal of Pest Science*, 92:93–106.
26. Le Gall and Behmer S.T. (2014). Effects of Protein and Carbohydrate on an Insect Herbivore: The Vista from a Fitness Landscape. *Integrative and Comparative Biology* 54(5)
27. Liu Z., Mo K., Fei S., Zu Y., Yang L. (2017). Efficient approach for the extraction of proanthocyanidins from *Cinnamomum longepaniculatum* leaves using ultrasonic irradiation and an evaluation of their inhibition

- activity on digestive enzymes and antioxidant activity in vitro J. Sep. Sci., 40 (15), 3100-3113
28. Mattson W.J. (1980). Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annu Rev Ecol Syst* 11:119–61.
29. McHale L., Tan X., Koehl P., Michelmore R.W. (2006). Plant NBS-LRR proteins: adaptable guards. *Genome Biol.*, 7(4): 212.
30. Meriño-Cabrera Y., Zanuncio J.C., da Silva R.S., Solis-Vargas M., Cordeiro G., Rainha F.R., Campos W.G., Picanço M.C., de Almeida Oliveira M.G. (2018). Biochemical response between insects and plants: an investigation of enzyme activity in the digestive system of *Leucoptera coffeella* (Lepidoptera: Lyonetiidae) and leaves of *Coffea arabica* (Rubiaceae) after herbivory. *Annals Applied Biology*. V. 172(2), 236-243.
31. <https://mepr.gov.ua/mindovkillya-zatverdyllo-perelik-chuzhoridnyh-vydiv-derev-zaboronenyh-u-vidtvorenni-lisiv/>
32. Paterska M., Bandurska H., Wysłouch J., Molińska-Glura M., Moliński K. (2017). Chemical composition of horse-chestnut (*Aesculus*) leaves and their susceptibility to chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić. *Acta Physiol. Plant*, 39: 105, 1-16.
33. Pentelyuk O.S., Likhanov A.F., Hryhoryuk I.P. (2016). Dynamika vmistu polifenoliv u lystkakh roslyn hirkokashtana zvychaynoho (*Aesculus hippocastanum* L.) za umov mekhanichnykh poszkodzen'. *Bioresursy i pryrodokorystuvannya* [Dynamics of polyphenol content in the leaves of *Aesculus hippocastanum* L. under mechanical damage. *Bioresources and naturemanagement*]. 1-2: 5-12.
34. Polle A. and Rennenberg H. (2019). Physiological Responses to Abiotic and Biotic Stress in Forest Trees. *Forests* 10(9):711
35. Rangasamy M., Rathinasabapathi B., Mcauslane H. J., Cherry R.H., Nagata R.T. (2009). Role of leaf sheath lignification and anatomy in

- resistance against southern chinch bug (Hemiptera: Blissidae) in St. Augustinegrass. *Journal of Economic Entomology*, v.102, n.1, p.432-439
- 36.Ranieri A., Castagna A., Baldam B., Soldatini G.F. (2001). Iron deficiency differently affects peroxidase isoforms in sunflower. *J. Exp. Bot.*, 52(354), 25–35.
- 37.Sánchez-Sánchez H. & Morquecho-Contreras A. (2013). Chemical Plant Defense against Herbivores. *Herbivores*, Vonnie D. C. Shields, IntechOpen. Chapter 1, 3-29
- 38.Seliutina O.V., Shupranova L.V., Holoborodko K.K., Shulman M.V., Bobylev Y.P. (2020). Effect of *Cameraria ohridella* on accumulation of proteins, peroxidase activity and composition in *Aesculus hippocastanum* leaves. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 11(2), 299–304.
- 39.Shvydenko I.M., Stankevych S.V., Goroshko V.V., Bulat A.G., Cherkis T.M., Zabrodina I.V., Lezhenina I.P., Baidyk H.V. (2021). Adventitious leaf miner *Parectopa robiniella* Clemens, 1863 and *Phyllonorycter robiniella* Clemens, 1859 on a black locust tree in the Kharkiv region. *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (7), 22-32.
- 40.Singh H., Dixit S., Verma, P. C., Singh P. K. (2013). Differential peroxidase activities in three different crops upon insect feeding. *Plant Signal and Behaviour*, 8 (10), 1-7.
- 41.Sytnyk S., Lovynska V., Lakyda I. Foliage biomass qualitative indices of selected forest forming tree species in Ukrainian Steppe. *Folia Oecologica*. 2017. Vol. 44 (1). P. 38–45.
- 42.Taggar G.K., Gill R.S., Gupta A.K. and Sandhu J.S. (2012). Fluctuations in peroxidase and catalase activities of resistant and susceptible black gram (*Vigna mungo* (L.) Hepper) genotypes elicited by *Bemisia tabaci* (Gennadius) feeding. *Plant Signaling & Behavior* 7:10, 1321-1329
- 43.Takashima Y., Suzuki M., Ishiguri F., Iizuka K., Yoshizawa N., Yokota S. (2013). Cationic peroxidase related to basal resistance of *Betula*

- platyphylla var. japonica plantlet No. 8 against canker-rot fungus *Inonotus obliquus* strain IO-U1. *Plant Biotechnology*, 30 (2) 199-205.
44. Toledo C.A.L., Ponce F.S., Oliveira M.D., Aires E.S., Júnior S.S., Lima G.P.P. and Oliveira R.C.O. (2021). Change in the Physiological and Biochemical Aspects of Tomato Caused by Infestation by Cryptic Species of *Bemisia tabaci* MED and MEAM1. *Insects*, 12, 1105.
45. Turfan N., Alay M., Sariyildiz T. (2018). Effect of tree age on chemical compounds of ancient Anatolian black pine (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) needles in Northwest Turkey. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, Volume 11, Issue 3, Pages 406-410. Doi: 10.3832/ifor2665-011
46. Vítková M., Müllerová J., Sádlo J., Pergl J. (2017). Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe *Forest Ecology and Management*, 384:287–302.
47. Wang Z., Wang M., Liu L. and Meng F. Physiological and Proteomic Responses of Diploid and Tetraploid Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Subjected to Salt Stress. *Int. J. Mol. Sci.* 2013, 14, 20299-20325.
48. War, A. R., Taggar, G. K., Hussain, B., Taggar, M. S., Nair, R. M. & Sharma, H. C. (2018). Plant defence against herbivory and insect adaptations. *AoB PLANTS*, 10, ply037.
49. Wilkaniec A., Borowiak-Sobkowiak B., Irzykowska L., Breś W., Świerk D., Pardela L., Durak R., Środulska-Wielgus J. and Wielgus K. (2021). Biotic and abiotic factors causing the collapse of *Robinia pseudoacacia* L. veteran trees in urban environments. *PLoS One*, 16(1): e0245398.
50. Wojda T., Klisz M., Jastrzebowski S., Mionskowski M., Szypl-Borowska I., Szczygiel K. (2015). The geographical distribution of the black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) in Poland and its role on non-forest land. *Papers on Global Change*. 22: 101–113. *IGBP*, 22(1), 101–113.

51. Zhao H., Sun X., Xue M., Zhang X., Li Q. (2016). Antioxidant enzyme responses induced by whiteflies in tobacco plants in defense against aphids: Catalase may play a dominant role. PLoS ONE, 11, e0165454
52. Zogli P., Alvarez S., Naldrett M.J., Palmer N.A., Koch K.G., Pingault L., Bradshaw J.D., Twigg P., Heng-Moss T.M., Louis J. & Sarath G. (2020). Greenbug (*Schizaphis graminum*) herbivory significantly impacts protein and phosphorylation abundance in switchgrass (*Panicum virgatum*). Scientific Reports, 10:14842