МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет плодоовочівництва, екології та захисту рослин

Кафедра екології та безпеки життєдіяльності

Допущено до захисту

«___»_____2025 року

Зав. кафедри, к. с.-г. н., доцент

_____Ольга ВАСИЛЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
магістра

АДАПТАЦІЯ ПРЕДСТАВНИКІВ РОДУ *COTINUS* MILL. ДО ДІЇ АТМОСФЕРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Виконав: студент 2 курсу, групи 21 м-ек
спеціальності 101 Екологія
освітньо-професійної програми
Екологія
Андрій БРАЙЛОВСЬКИЙ
Керівник**:** Алла БАЛАБАК

Умань – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП 3

РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи дослідження адаптації рослин до атмосферного забруднення 5

1.1. Біологічні особливості роду *Cotinus* Mill. 5

1.2. Основні типи атмосферних забруднювачів та їх вплив на рослини 7

1.3. Дослідження стійкості представників родини Anacardiaceae до забруднення довкілля 9

РОЗДІЛ 2. Умови, об’єкти та методика досліджень 12

2.1. Природні умови регіону досліджень 12

2.2. Об’єкти досліджень 14

2.3 Схема досліду 17

2.4. Методика досліджень 17

2.5. Охорона праці 19

РОЗДІЛ 3. Результати досліджень 22

3.1. Морфологічні зміни у представників роду *Cotinus* під впливом атмосферних полютантів 22

3.2. Структурно-анатомічні зміни тканин видів *Cotinus* під впливом забруднення атмосферного повітря 26

3.3. Порівняльна оцінка стійкості видів *Cotinus* до високого рівня аеротехногенного навантаження 31

РОЗДІЛ 4. Еколого-економічна ефективність адаптації представників *Cotinus* Mill. до атмосферного забруднення 34

ВИСНОВКИ 36

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 38

ДОДАТКИ 42

ВСТУП

Актуальною проблемою сучасності є збереження біорізноманіття та підвищення стійкості рослин до негативних антропогенних факторів, зокрема атмосферного забруднення. В умовах зростання урбанізації та промислового навантаження на міські екосистеми важливим є виявлення видів рослин, здатних адаптуватися до несприятливих умов та зберігати декоративні та екологічні функції.

До таких перспективних представників належить рід *Cotinus* Mill. (скумпія), що об’єднує кущі та невеликі дерева з природними ареалами у помірних районах Євразії, Середземномор’я, Малої Азії, Китаю, Гімалаїв та Північної Америки. Скумпія відома високою декоративністю, посухостійкістю та здатністю рости на малородючих ґрунтах, що робить її цінним об’єктом для озеленення та фітомоніторингу в умовах техногенно навантажених територій. В Україні рослини цього роду зустрічаються поодиноко у ботанічних садах, дендропарках та приватних колекціях, однак їхнє широке використання обмежене через недостатню кількість наукових даних щодо стійкості до забруднення повітря та адаптаційних можливостей.

Мета роботи – з’ясувати адаптаційні реакції та еколого-біологічні особливості представників роду *Cotinus* Mill. під впливом атмосферного забруднення, а також визначити перспективи їх використання в озелененні та фітомоніторингових програмах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:**

1. Узагальнити наявні відомості про поширення та систематичний склад видів роду *Cotinus* Mill.;
2. Дослідити морфо-анатомічні та фізіологічні особливості представників роду;
3. Оцінити ступінь стійкості рослин до дії основних атмосферних полютантів;

4. Визначити інтегральну оцінку адаптаційного потенціалу *Cotinus* Mill. у забрудненому середовищі;
5. Проаналізувати еколого-економічну доцільність використання рослин у міських умовах.

Наукове та практичне значення роботи полягає у визначенні адаптаційного потенціалу видів *Cotinus* Mill. до техногенного навантаження, оцінці стійкості листкових та провідних тканин до атмосферного забруднення, а також розробці рекомендацій щодо їх застосування у міському озелененні та фітомоніторингу. Результати досліджень можуть бути використані для підвищення ефективності озеленювальних програм, відбору стійких декоративних видів та розробки стратегій збереження рослинних ресурсів у забруднених середовищах.

Об'єкт дослідження – представники роду *Cotinus* Mill.: *Cotinus coggygria* та *Cotinus obovatus.*

Предмет дослідження – адаптаційні та екологічні реакції рослин *Cotinus* Mill. на вплив атмосферного забруднення в умовах міста Умань.

Апробація результатів роботи проводилася на Міжнародній інтернет-конференції «Наукове забезпечення виробництва конкурентоспроможної сільськогосподарської продукції в умовах формування екологічностійких агроландшафтів» (Додаток А).

Структура та обсяг дипломної роботи. Робота обсягом 44 сторінки складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та додатка. Список використаних джерел містить 39 найменувань наукових праць, статей та методичних рекомендацій.

РОЗДІЛ 1
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТАЦІЇ РОСЛИН ДО АТМОСФЕРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

1.1. Біологічні особливості роду *Cotinus* Mill.

Рід *Cotinus* (Скумпія) представлений однодомними або дводомними листопадними деревами та кущами заввишки до 10–12 м, які формують широку, декоративну крону. Листки прості, почергові, яйцеподібні або овальні, зазвичай до 6–12 см, зверху гладенькі, інколи з легким опушенням знизу; восени вони набувають яскравих відтінків жовтого, червоного, пурпурового й майже чорного кольорів. Квітки дрібні, зеленувато-жовті або жовто-білі, часто редуковані, зібрані у великі пухкі волотеві суцвіття завдовжки 12–30 см. Структура суцвіття *Cotinus* тривалий час була предметом дискусій, проте більшість дослідників відносить його до волотей, оскільки гілкування відбувається моноподіально. Під час цвітіння суцвіття густо вкриваються світлими або рожево-фіолетовими волосками, що створюють характерний «димчастий» ефект, за який рослина отримала назву «димове дерево» або «пуховик» [10, 18, 26].

Плоди – дрібні сухі кістянки овальної або ниркоподібної форми, 3–5 мм завдовжки, із щільним здерев'янілим оплоднем, достигають переважно наприкінці літа й восени. *Cotinus coggygria*, один із найпоширеніших видів роду, росте у вигляді куща або невеликого дерева 0,5–5 м заввишки. Рослини формують округлу або зонтикоподібну крону діаметром до 2,5 м. Стовбур вкритий темно-сірою або бурою корою з лускатою текстурою, молоді пагони червонуваті, з віком набувають сірувато-коричневого забарвлення. *C. coggygria* належить до відносно недовговічних видів і може досягати віку близько 70–80 років [16, 20].

У природі *C. coggygria* поширена на Балканах, у Центральній та Південній Європі, Малій Азії, Середземномор'ї та Передній Азії. В Україні вона трапляється переважно на кам'янистих схилах, лучно-степових ділянках

та узліссях, формуючи густі зарості на добре освітлених, сухих, часто карбонатних ґрунтах. Найвідоміші природні масиви скумпії приурочені до Кримських гір, де рослина формує суцільні або мозаїчні ценози на південних і південно-західних схилах. Окремі популяції збереглися також у степових і лісостепових регіонах України. У культурі скумпія широко використовується як декоративна порода завдяки ефектним суцвіттям і осінньому забарвленню, стійкості до посухи, здатності закріплювати схили та витримувати умови міського середовища [21].

Інший вид, *Cotinus obovatus,* рідше трапляється в культурі та природі Європи, однак вирізняється більшими розмірами. Це дерево або розлогий кущ заввишки 10–12 м з великими, еліптичними листками завдовжки 6–12 см. Молоді пагони червонувато-зелені з легким нальотом, кора світло-коричнева, з віком луската. Суцвіття також волотеві, повітряні, з мінливим забарвленням від жовтуватого до рожевого [22].

Природні ареали роду *Cotinus* охоплюють Середземномор'я, Передню і Центральну Азію, Північну Америку та окремі регіони Південно-Східної Європи. На території України скумпія має осередкове поширення, однак демонструє високу екологічну пластичність: витримує низьку родючість ґрунтів, посуху, сильне освітлення, що робить її перспективною для лісомеліорації, рекультивації та озеленення урбанізованих територій [19, 23, 24].

Особливо важливо, що *Cotinus coggygria* і *Cotinus obovatus* демонструють значну стійкість до впливу атмосферних забруднювачів, що підтверджує їхній потенціал як індикаторів стану довкілля та ефективних фітомеліорантів у зонах техногенного навантаження. У природних умовах України ці види формують стабільні популяції, зосереджені переважно в гірських та степових регіонах, де виступають важливими компонентами місцевої флори та сприяють зміцненню ґрунтів і підвищенню біорізноманіття [24].

Таким чином, рід *Cotinus* поєднує цінні екологічні, біологічні та декоративні характеристики, що визначає його значення як для природних

екосистем, так і для практичних завдань озеленення, рекультивації та моніторингу стану атмосферного середовища.

1.2. Основні типи атмосферних забруднювачів та їх вплив на рослини

Атмосферне забруднення охоплює широкий спектр газоподібних і аерозольних шкідливих речовин, серед яких ключове значення мають приземний озон (O_3), оксиди азоту (NO_x), діоксид сірки (SO_2), леткі органічні сполуки (VOC) та дрібнодисперсні тверді частинки (PM). Ці забруднювачі надходять у атмосферу як із первинних джерел – промислових викидів, транспорту, спалювання викопного палива та сільськогосподарських джерел, так і з вторинних, утворюючись у результаті фотохімічних реакцій, окислення та взаємодії з природними компонентами повітря. Озон у приземному шарі, проникаючи через продихи листя, індукує утворення реактивних форм кисню (ROS), які ушкоджують клітинні мембрани, білкові структури та нуклеїнові кислоти, порушують процеси фотосинтезу, дихання і призводять до некрозу тканин, хлорозу та зниження продуктивності рослин [30, 31, 38].

Оксиди азоту, особливо NO_2, проникаючи в листкові тканини, взаємодіють із фотосинтетичними апаратами, знижують синтез хлорофілу та пригнічують ефективність фотосинтезу, одночасно стимулюючи утворення вторинного озону, що посилює загальне шкідливе навантаження. Діоксид сірки у високих концентраціях порушує структуру клітин, змінює проникність мембран, викликає хлороз, пригнічення росту та зниження біомаси. Він також активує антиоксидантні системи, включно з каталазою, супероксиддисмутазою та пероксидазами, що частково захищають тканини рослин від окислювального стресу [32, 35, 36].

Дрібнодисперсні тверді частинки PM осідають на поверхні листя, блокують продихи, зменшують поглинання світла, що погіршує фотосинтетичні процеси, та можуть переносити токсичні металеві або органічні компоненти, додатково підсилюючи стресовий вплив на рослини. Частинки PM стимулюють активність антиоксидантних ферментів та вторинних метаболітів,

зокрема фенольних сполук та флавоноїдів, які нейтралізують ROS і підвищують стійкість рослин до абіотичних стресів. У відповідь на хімічний стрес рослини змінюють експресію транскрипційних факторів MYB, WRKY та NAC, регулюють гормональний баланс (ауксини, цитокініни, абсцизова кислота), що забезпечує активацію адаптаційних механізмів, підтримку фотосинтетичної активності та захист мембран.

В українських умовах основними атмосферними забруднювачами, що негативно впливають на рослини, є NO_2 та SO_2, концентрації яких у промислових та міських регіонах регулярно перевищують гранично допустимі рівні. Вплив цих газів проявляється через оксидативний стрес, пригнічення фотосинтезу, пошкодження продихів, порушення транспорту води та поживних речовин, а також зниження адаптаційного потенціалу рослинних угруповань. Дослідження показують, що рівні тропосферного озону, NO_2 та формальдегіду в Україні визначаються не лише антропогенними джерелами, а й кліматичними факторами – температурою, вологістю, опадами та швидкістю вітру, що впливає на дисперсію та фотохімічні перетворення забруднювачів.

Рослини, особливо в урбанізованих і промислових зонах, виступають біоіндикаторами забруднення: спостерігаються пожовтіння листя, зміни товщини тканин, зниження продуктивності та морфологічні аномалії. Дослідження українських науковців підтверджують, що оксид азоту NO може виконувати сигнальну функцію, підвищуючи стійкість рослин до абіотичних стресів, тоді як підвищені концентрації SO_2 та NO_2 призводять до пошкодження продихів і пригнічення фотосинтезу [3, 15, 33].

Хронічне забруднення повітря, особливо у промислових регіонах, негативно впливає на біорізноманіття та екологічну стабільність, що підкреслює необхідність моніторингу стану довкілля та впровадження стратегій захисту рослинних угруповань. Зокрема, комплексне забруднення атмосфери порушує фотосинтез, функції продихів, ліпідний і білковий обмін, стимулює оксидативний стрес та знижує адаптаційний потенціал рослинних угруповань. Водночас рослини активують захисні механізми – підвищення антиоксидантної

активності, накопичення вторинних метаболітів, регуляцію гормонального балансу та модифікації мембран, що дозволяє їм частково протистояти негативному впливу забруднювачів.

Таким чином, вплив атмосферного забруднення на рослини є багатофакторним і комплексним, охоплюючи як фізіологічні, так і морфологічні та біохімічні процеси. У поєднанні з українським контекстом це свідчить про необхідність інтегрованого підходу до оцінки стану рослинних угруповань, їх моніторингу та розробки адаптаційних заходів для збереження екологічної стабільності.

1.3. Дослідження стійкості представників родини Anacardiaceae до забруднення довкілля

Родина Anacardiaceae (сумахові) включає такі відомі таксони, як сумах (*Rhus*), кеш'ю (*Anacardium*), манго (*Mangifera*) та отруйні види, зокрема *poison ivy* (*Toxicodendron*). Хоча більшість наукових досліджень стосуються класичних фітоіндикаторів забруднення, останнім часом зростає інтерес до представників Anacardiaceae як потенційних об'єктів фітомеліорації та біоіндикації довкілля. Одним із ключових напрямів є здатність цих рослин накопичувати важкі метали та проявляти адаптивні фізіологічні реакції на стресові фактори.

Експериментальні дані свідчать, що *Rhus chinensis* Mill. здатний ефективно акумулювати свинець (Pb) у надземних і підземних органах, одночасно активуючи ферментативні механізми детоксикації, включно з підвищенням активності каталази та супероксиддисмутази, що зменшує оксидативний стрес у тканинах [34, 39]. Такі властивості дозволяють розглядати *Rhus chinensis* як перспективний вид для фітостабілізатора забруднених важкими металами територій. Аналогічні властивості відзначені для *Anacardium occidentale* (кеш'ю), у корі якого концентрації кадмію (Cd) та цинку (Zn) іноді перевищують фонові рівні ґрунту, що підтверджує здатність рослини утримувати металеві компоненти у тканинах та мінімізувати їх мобільність в екосистемі.

Дослідження кори *Schinus molle* вказують на її потенціал як біоіндикатора забруднення повітря важкими металами: концентрації металів у корі рослини корелюють із рівнем забруднення довкілля, що робить цей вид ефективним для моніторингу промислових та урбанізованих територій. Окрім важких металів, представники родини проявляють стійкість до комплексного впливу токсинів, частково завдяки посиленій антиоксидантній активності, регуляції фотосинтетичних процесів та модифікаціям будови клітинної стінки.

Фізіологічні та морфологічні реакції рослин на забруднення є важливим компонентом їхньої стійкості. Так, у *Schinus terebinthifolia* вплив металів спричиняє зміну товщини листкових тканин, модифікацію будови клітин, збільшення вакуолярного об’єму та часткове зниження показників фотосинтезу, що свідчить про активні адаптаційні механізми рослини та здатність компенсувати стресові умови. Подібні механізми були відзначені й у *Mangifera indica*, де забруднення ґрунту свинцем та кадмієм викликало підвищення концентрації флавоноїдів та фенольних сполук, що виконують захисну роль проти окислювального стресу.

Особливу увагу слід приділяти хімічним сполукам Anacardiaceae, серед яких найвідоміший урушіол, що є сильним алергеном і може модифікувати взаємодію рослини з довкіллям, зокрема впливати на мікробні спільноти ґрунту та активність ентомофауни. Хронічний контакт з урушіолом у працівників олійних підприємств кеш’ю призводив до розвитку толерантності, що вказує на непрямий вплив цих сполук на імунну відповідь людини та демонструє комплексний екологічний аспект взаємодії рослини та середовища.

Окремі дослідження також демонструють потенціал Anacardiaceae у фітомеліорації органічно забруднених середовищ: види *Rhus* та *Schinus* здатні частково метаболізувати або обмежувати рухливість деяких органічних токсинів у ґрунті, а накопичення антиоксидантних ферментів та вторинних метаболітів дозволяє їм витримувати підвищений рівень стресу [37].

Таким чином, представники родини Anacardiaceae не лише демонструють здатність накопичувати важкі метали та змінювати фізіологічні та анатомічні

характеристики під впливом забруднення, а й слугують ефективними біоіндикаторами стану довкілля та потенційними агентами фітомеліорації. Водночас комплексних досліджень щодо їх стійкості до органічних токсинів, пестицидів та мультистресових умов поки недостатньо, що обумовлює необхідність подальших систематичних та міждисциплінарних досліджень у цьому напрямі.

РОЗДІЛ 2
УМОВИ, ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Природні умови регіону досліджень

Дослідження проводили в місті Умань. Місто розташоване в центральній частині України, на межі Лісостепової та Степової зон, у межах річкової системи річки Кам'янки, притоки Дніпра. Географічне положення обумовлює помірно-континентальний клімат із теплим літом і холодною зимою. Середня температура січня коливається близько −5 °C, а липня – близько +20…+22 °C. Середньорічна кількість опадів складає приблизно 500–600 мм, більша частина яких випадає в теплий період року, що сприяє розвитку сільськогосподарських культур і природної рослинності [5, 28].

Рельєф місцевості переважно рівнинний із незначними підвищеннями, складений переважно лесовими та піщано-глинистими ґрунтами, що характеризуються родючістю та високою водопроникністю. Ґрунтовий покрив формувався під впливом лісостепового клімату та давніх річкових відкладень. На території міста та його околиць поширені дерново-підзолисті, сірі лісові та чорноземні ґрунти, які є основою для урбанізованих зелених зон, парків і садів.

Національний дендрологічний парк «Софіївка» НАН України розташований у північно-східній частині міста Умань. Територія парку належить до південної частини Правобережного Лісостепу України і входить до Західноукраїнської лісостепової провінції за фізико-географічним районуванням. Уманський район локалізується майже на межі південно-західної частини Степу та Правобережного Лісостепу, що зумовлює формування перехідних природних комплексів із характерними ландшафтними та ґрунтовими особливостями. За геоботанічним районуванням України, територія парку належить до Христинівсько-Звенигородського району Умансько-Канівського (правобережного центрального) геоботанічного округу. Комплексне лісогосподарське районування відносить Уманщину до Лісостепової області Дністерсько-Дніпровського лісогосподарського округу Центрального

Лісостепового лісогосподарського району Придніпровської височини, де характерними є дубові та дубово-грабові ліси, а також лугові степи [7].

Геологічна основа дендропарку представлена гранітним базолітом мезогматичного походження, який залягає на глибині 20–40 м і глибше. У балках та руслах річок граніт виходить на поверхню, формуючи мальовничі скелі та обумовлюючи специфіку рельєфу. Основними ґрунтоутворюючими породами є лес та новочасні алювіально-делювіальні відклади днищ, балок і долин. Рельєф парку надзвичайно розчленований, з численними схилами, ярами та балками. Дендропарк розташований у долині річки Кам'янки, яка протікає крізь парк у південно-західному напрямку, формуючи каскад із трьох ставків загальною площею близько 30 га. Таке розташування річки та її водна система визначають локальні гідрологічні умови та створюють специфічний мікроклімат, що впливає на розвиток рослинних угруповань.

Кліматичні умови території парку характеризуються як помірно-континентальні з відносно теплою зимою та частими відлигами. Середньорічна відносна вологість повітря, за даними метеостанції Умань, становить 76%, максимальні показники спостерігаються в листопаді–грудні (до 87%), а мінімальні – у травні–липні (65%). Середня річна вологість повітря у період досліджень склала близько 75%, що відповідає багаторічній нормі. Зима відзначалася помірно холодними температурами, зі значними добовими коливаннями, а інколи супроводжувалася сильними східними вітрами. Сніговий покрив нестійкий, триває 75–85 діб, а часті відлиги створюють несприятливі умови для перезимівлі рослин. Найхолодніший місяць – січень, зі середньою температурою повітря -5…-6,1 °C.

Весна характеризується помірно теплою погодою з великою амплітудою добових і сезонних коливань температури та нерівномірним розподілом опадів. Перехід середньодобової температури через +5 °C відзначається у першій декаді квітня, а до кінця місяця температура підвищується до +10 °C, що сприяє початку активної вегетації. Літо триває з середини травня до середини вересня, середня температура вдень у травні-червні коливається між +18–22 °C, у липні–

серпні – +23–25 °C, хоча максимальні температури можуть досягати +38 °C. Осінь починається у другій декаді вересня і триває до 5–10 жовтня, характеризується поступовим зниженням температури та появою дощів у кінці жовтня, що сигналізує про завершення вегетаційного періоду.

Ґрунтовий покрив парку представлений потужними опідзоленими чорноземами, що сформувалися на лесових відкладах під впливом лісової та трав'яної рослинності. В міжбалочних зниженнях і западинах поширені вилугувані чорноземи, на пологих схилах та плато переважають темно-сірі лісові важкосуглинкові ґрунти, нерідко реградовані. Основні ґрунтоутворюючі породи включають карбонатний легкосуглинистий і середньосуглинистий лес, граніти та алювіально-делювіальні відклади річок. Парк характеризується процесами опідзолення ґрунту, які зумовлюють кислотність, водопроникність та поживні властивості ґрунтового покриву, що безпосередньо впливає на ростові та фізіологічні процеси рослинних угруповань [7].

Рельєф парку «Софіївка», сформований на межі Подільської та Придністровської височин Українського кристалічного щита. Він складається з плакорів водороздільних плато, долин річок Уманки та Кам'янки з численними притоками. Ерозійні процеси створили численні балки, яри та схили, що обумовлює значну розчленованість території та формування локальних мікрокліматичних і гідрологічних умов, важливих для рослинного покриву і досліджень якості води.

Таким чином, Національний дендрологічний парк «Софіївка» поєднує специфічні геологічні, ґрунтові та кліматичні умови, що створюють унікальні екологічні умови для досліджуваних рослинних угруповань і водних екосистем, забезпечуючи природну лабораторію для вивчення впливу абіотичних факторів на розвиток флори та стан водних об'єктів.

2.2. Об'єкти досліджень

Об'єктами наших досліджень були рослини, вирощені в умовах Національного дендрологічного парку «Софіївка» НАН України та на вулицях

міста Умань. Вони представлені деревами та кущами віком від 1 до 20 років, включають як рідкісні, так і поширені види родини Anacardiaceae [11].

Cotinus obovatus (рис 2.1) є малопоширеним видом, який у сучасних умовах культивується лише поодиноко у декількох ботанічних садах України, зокрема в Криворізькому ботанічному саду НАНУ та в Ботанічному саду імені академіка О.В. Фоміна в Києві. До дендропарку «Софіївка» даний вид був інтродукований у 2013 році у вигляді відсадків з ботанічного саду ім. академіка О.В. Фоміна, а також вирощений із насіння, отриманого з Ботанічного саду Люблінського університету Марії Кюрі в Польщі. У НДП «Софіївка» *C. obovatus* культивується на інтродукційній ділянці ім. В.В. Мітіна, де рослини демонструють задовільний ріст, високий рівень зимостійкості та посухостійкості, що свідчить про їх адаптивні властивості до місцевих кліматичних і ґрунтових умов [10, 18].



Рис. 2.1. *Cotinus obovatus*

Cotinus coggygria (рис. 2.2), за даними каталогу рослин дендрологічного парку «Софіївка» за 2000 рік, культивується на території парку поодиноко з 1955 року і на сьогодні росте в кварталах № 3, № 6 та № 29. У природних і паркових насадженнях цей вид представлений як кущі заввишки до 5 м, а також

як дерева з густою широкоовальною кроною. Листки чергові, прості, овальні, завдовжки до 8 см. *C. coggygria* характеризується високою зимостійкістю та доброю здатністю до росту, середній приріст пагонів за вегетаційний період становить 18–30 см. Рослина добре адаптується до умов урбанізованого та дендрологічного середовища, демонструючи стабільну вегетацію і розвиток [10, 18].



Рис. 2.2. *Cotinus coggygria*

Обидва види, *C. obovatus* та *C. coggygria*, є цінними для ботанічних колекцій як з наукової, так і з декоративної точки зору. Вони активно культивуються в ботанічних садах інших міст України, включно з Києвом, Львовом, Білою Церквою, Ужгородом та Одесою, що свідчить про їх високу екологічну пластичність та здатність до адаптації у різних кліматичних і ґрунтових умовах. Завдяки цим властивостям вони є перспективними об’єктами для дослідження стійкості рослин до абіотичних факторів, зокрема до впливу забруднення довкілля та змін кліматичних умов.

2.3. Схема досліду

Схема досліду з вивчення морфолого-анатомічних змін *Cotinus coggygria* та *Cotinus obovatus*

Етап досліду	Зміст робіт
Об’єкти дослідження	*Cotinus coggygria, Cotinus obovatus*
Місця проведення	Контрольна зона – НДП «Софіївка», квартал №3 (мінімальне забруднення); Забруднена зона – м. Умань, вул. Незалежності, район АЗС «Socar» (високий рівень техногенного навантаження)
Відбір проб	По 3 репрезентативні точки на кожній ділянці (крайова, центральна, внутрішньокронова зони); По 10 сформованих листків середнього ярусу від кожного виду; відбір у суху погоду, в ранковий час
Морфологічні показники	Площа листкової пластинки; товщина листка; маса сирої речовини; колір; наявність некрозів; деформація краю листка
Анатомічні показники	Товщина епідерми; товщина палисадної та губчастої паренхіми; товщина мезофілу; діаметр судин ксилеми; площа провідних пучків
Методи анатомічного аналізу	Фіксація у 70% етанолі; виготовлення зрізів ручним мікротомом; забарвлення за Johansen та Sass (сафранін + астра блау)
Обладнання	Мікроскоп, програмне забезпечення «Micrometrics SE»
Обробка результатів	Статистичний аналіз; порівняння видів і ділянок; визначення адаптаційного потенціалу рослин

2.4. Методика досліджень

Дослідження проводилися потягом 2025 року в місті Умань. Передбачалося порівняння морфологічних та анатомічних показників листкової тканини двох видів роду *Cotinus* – *Cotinus coggygria* та *Cotinus obovatus* – за умов різного рівня атмосферного забруднення. Об’єкти дослідження зростали на двох контрастних ділянках, що суттєво різнилися за інтенсивністю дії транспортних та промислових полютантів. Перша ділянка була розташована на придорожній території вулиці Незалежності м. Умань, поблизу АЗС «Socar», де

спостерігається стабільно високий рівень концентрації діоксиду азоту, завислих частинок та продуктів згоряння палива. Друга ділянка – колекційно-інтродукційна зона ім. В. В. Мітіна НДП «Софіївка» НАНУ, квартал №3 – слугувала контрольним майданчиком із мінімальним антропогенним навантаженням.

Порівняння стану рослин здійснювали на основі збору листкового матеріалу з трьох репрезентативних точок кожної ділянки: прибережної або крайової зони насаджень, центральної частини ділянки та внутрішнього сегменту кронового простору. Це дозволяло охопити варіабельність внутрішніх умов та забезпечити репрезентативність зразків. Від кожного виду відбирали по десять повністю сформованих листків середнього ярусу, що гарантовано сформувалися в умовах впливу відповідного середовища [11, 13, 17].

Листковий матеріал використовували для морфометричних вимірювань, визначення маси сирої речовини, оцінки інтенсивності забарвлення, діагностики некротичних уражень та фіксації деформацій краю листка. Частину відібраних зразків одразу ж фіксували у 70% етанолі для подальшого анатомічного аналізу. Анатомічні зрізи виготовляли ручним мікротомом, забарвлювали сафраніном та астра блау і досліджували під світловим мікроскопом при збільшенні ×100–400. Вимірювання товщини палисадної та губчастої паренхіми, діаметра судин ксилеми, щільності мезофілу та стану провідних пучків здійснювали за допомогою програми «Micrometrics SE» [4, 6].

Паралельно враховували санітарно-гігієнічні показники повітря на обох ділянках, що дозволило співвіднести структурно-функціональні зміни листкової тканини з рівнем техногенного навантаження. У придорожній зоні середньодобові концентрації діоксиду азоту становили 0,057 мг/м³, пилових часток – 0,35 мг/м³, аміаку – 0,05 мг/м³, тоді як у контрольній зоні вони були значно нижчими. Саме ці відмінності створювали природні умови для моделювання градієнта атмосферного забруднення та визначення адаптаційної здатності рослин.

Отримані морфологічні й анатомічні дані використовували для побудови інтегральної оцінки адаптаційного потенціалу кожного виду. Такий підхід дозволив комплексно охарактеризувати реакцію *C. coggygria* і *C. obovatus* на хронічний вплив газопилових полютантів і визначити ступінь їх толерантності до техногенного середовища [6].

Для визначення інтегральної оцінки адаптаційного потенціалу: кожному морфологічному та анатомічному показнику надавався оцінний бал від 1 до 5:
– 1 бал – сильна деструкція / низька адаптивність;
– 5 балів – висока адаптивна стабільність / відсутність ушкоджень.

Для кожного виду обчислювали середнє арифметичне балів усіх показників, що дозволяло отримати інтегральний індекс адаптаційного потенціалу.

2.5. Охорона праці

Забезпечення безпечних і здорових умов праці є обов’язковою складовою будь-якої науково-дослідної діяльності, зокрема й під час проведення екологічних та біологічних досліджень у природних умовах. Відповідно до статті 43 Конституції України кожен громадянин має право на належні, безпечні й здорові умови праці. Це право поглиблюється та конкретизується нормами Закону України «Про охорону праці», який визначає охорону праці як систему правових, організаційно-технічних, соціально-економічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя та здоров’я людини в процесі трудової діяльності [12, 25].

Під час проведення досліджень, пов’язаних із вивченням адаптаційних механізмів представників роду *Cotinus* Mill. до атмосферного забруднення, важливе значення мають питання безпеки на робочому місці, на дослідних ділянках, у лабораторії та під час роботи з вимірювальними приладами. Дослідження цього напряму включають польові спостереження, відбір проб, роботу з хімічними реагентами, аналітичні процедури та використання

спеціального обладнання – усе це вимагає дотримання встановлених санітарно-гігієнічних і технічних норм.

Безпека виконання робіт забезпечується на основі чинних нормативно-правових актів у сфері охорони праці. Усі технологічні процеси, використане устаткування, засоби вимірювання і лабораторні матеріали повинні відповідати державним стандартам і правилам техніки безпеки. Працівники зобов'язані використовувати засоби індивідуального захисту – захисні рукавички, окуляри, респіратори, халати, а також дотримуватися правил безпечної роботи на відкритій місцевості, де можуть виникати ризики, пов'язані з нерівністю поверхні, рослинністю, погодними умовами та антропогенними джерелами забруднення [12].

Управління охороною праці в межах проведення дослідження здійснюється комплексно. На державному рівні формується нормативна база, яка визначає правила організації безпечних умов праці, механізми контролю та вимоги до технічної й санітарної безпеки. На рівні установи чи лабораторії роботодавець відповідає за створення безпечних умов для працівників та дослідників, забезпечення необхідним обладнанням, навчанням, засобами індивідуального захисту та проведенням інструктажів. Економічна зацікавленість установи полягає у запобіганні випадкам травматизму та професійних захворювань, що сприяє ефективній організації наукової роботи.
Кожен учасник дослідження несе особисту відповідальність за дотримання правил техніки безпеки. Працівники повинні підтримувати належний психофізіологічний стан, уникати перевтоми, дотримуватися гігієни праці, а також негайно повідомляти керівництво про будь-які небезпечні ситуації чи несправності обладнання – пошкоджені огородження, загазованість, запиленість, заблоковані прилади, проливання хімічних реагентів тощо. Керівник не має права допускати продовження роботи до усунення небезпечних факторів, що повністю відповідає принципу пріоритетності життя та здоров'я працівника [25].

Особливу увагу в дослідженнях, пов’язаних із атмосферним забрудненням, приділяють роботі з потенційно шкідливими чинниками, такими як запиленість повітря, підвищена концентрація газоподібних токсикантів, вплив автотранспортних викидів або локальних джерел полютантів. Це потребує проведення робіт у засобах захисту органів дихання, вибору безпечних маршрутів переміщення, уникнення зон інтенсивного транспорту та місць із надмірним шумовим навантаженням. Під час відбору проб листкового матеріалу *Cotinus* необхідно правильно користуватися ріжучими інструментами та забезпечувати їх стерильність, щоб уникнути поранень та біологічного забруднення проб.

Лабораторний етап досліджень вимагає дотримання загальних правил хімічної та біологічної безпеки: заборонено працювати без інструктажу, використовувати пошкоджений посуд чи устаткування, змішувати реагенти без ознайомлення з їх властивостями, залишати працюючі прилади без нагляду або зберігати хімічні речовини з порушенням вимог. Приміщення повинні мати належну вентиляцію, освітлення та природний доступ повітря.

Отже, охорона праці є важливою складовою успішного та безпечного виконання кваліфікаційної роботи, оскільки забезпечує захист здоров’я дослідника та стабільність усіх етапів дослідження – від польових спостережень до лабораторних аналізів. Дотримання встановлених норм, правил і рекомендацій сприяє не лише зниженню виробничих ризиків, але й підвищенню якості отриманих наукових результатів, що є необхідною умовою об’єктивності та достовірності дослідження адаптаційних механізмів представників роду *Cotinus* Mill. до дії атмосферного забруднення.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Морфологічні зміни у представників роду *Cotinus* під впливом атмосферних полютантів

Атмосферні полютанти, зокрема оксиди сірки, азоту, вуглецю, озон, важкі метали та завислі частинки, спричиняють комплекс морфолого-анатомічних змін у листкових та вегетативних органах рослин, що зумовлює порушення їх фізіологічного стану та послаблення адаптаційних можливостей. Представники роду *Cotinus* (*Cotinus coggygria*, *Cotinus obovatus*) демонструють характерні реакції на підвищене забруднення повітря, оскільки їх листковий апарат чутливо реагує на зміни якості атмосферного середовища. Умови зростання поблизу транспортних потоків, промислових об’єктів або зон підвищеної техногенної активності формують підґрунтя для розвитку стресових морфолого-анатомічних перебудов [1, 2, 27].

Одними з перших ознак впливу полютантів є зміни зовнішньої морфології листків. У рослин, що зростають у зоні забруднення, часто спостерігається зменшення площі листкової пластинки, інтенсивності забарвлення, поява некротичних плям, деформація краю листка, поява мозаїчності та передчасне опадання. Потовщення кутикули, зміни щільності листка, зниження маси сирої та сухої речовини відображають адаптаційні реакції рослин до стресових умов [8, 9, 14]. Зовнішні морфологічні ознаки відображено в таблиці 3.1 та 3.2.

Дослідження проводилися протягом літнього періоду 2025 року на двох типових ділянках із різним рівнем атмосферного забруднення. Перша ділянка розташована на придорожній території вулиці Незалежності м. Умань, поблизу АЗС «Socar», де рослини постійно піддаються впливу повітря, забрудненого транспортними викидами та локальними джерелами промислового походження. Ця територія характеризується активним рухом автомобільного транспорту, що створює умови хронічного впливу газових і пилових полютантів на вегетативні

органи рослин. Друга ділянка – колекційно-інтродукційна зона ім. В. В. Мітіна НДП «Софіївка», квартал №3, яку умовно вважають чистою зоною, що слугує контрольним майданчиком для порівняння стану рослин у зонах з мінімальним антропогенним навантаженням.

Таким чином, відмінності в концентрації основних забруднювачів повітря дозволяють розглядати придорожню територію як зону інтенсивного аеротехногенного навантаження, тоді як колекційно-інтродукційна ділянка НДП «Софіївка» є умовно контрольним середовищем. Це забезпечує можливість комплексної оцінки впливу транспортних та промислових полютантів на морфологічні, анатомічні та фізіолого-біохімічні показники рослин роду *Cotinus*, а також визначення їх адаптаційного потенціалу в умовах різного рівня забруднення атмосфери.

За даними санітарно-епідеміологічної служби м. Умань, у зоні хронічної дії атмосферного забруднення середнє значення середньодобової концентрації діоксиду азоту становить 0,057 мг/м³, коливаючись протягом року від 0,028 до 0,086 мг/м³. Середньодобова масова концентрація пилових часток у повітрі в період з квітня по жовтень досягає 0,35 мг/м³, варіюючи від 0,21 до 0,67 мг/м³. Крім того, повітря характеризується присутністю аміаку на рівні 0,05 мг/м³ та діоксиду сірки – 0,021 мг/м³. У контрольній, умовно чистій зоні, середньодобова концентрація діоксиду азоту становить 0,022 мг/м³, а пилові частки в повітрі – 0,15 мг/м³, що значно нижче за показники придорожньої зони.

За результатами досліджень, у обох видів спостерігається зменшення площі листкової пластинки та маси сирої речовини у забрудненій зоні порівняно з контрольними рослинами. У *C. coggygria* площа листка зменшилась з 21,8 ± 0,7 см² до 19,7 ± 0,6 см², а маса сирої речовини – з 0,89 ± 0,03 г до 0,65 ± 0,02 г. У *C. obovatus* зменшення площі листкової пластинки становило з 22,3 ± 0,8 см² до 20,1 ± 0,7 см², маса листка також знизилась з 0,92 ± 0,03 г до 0,66 ± 0,03 г.

Таблиця 3.1

Морфологічні зміни листків *Cotinus coggygria* за умов різного рівня атмосферного забруднення, 2025 рік

Показник	**Умовно чиста зона (НДП «Софіївка» НАНУ)**	**Техногенно забруднена зона (вул. Незалежності)**
Площа листкової пластинки, см²	21,8 ± 0,7	19,7± 0,6
Товщина листка, мм	0,28 ± 0,01	0,33 ± 0,02
Колір листків	Насичено-зелений	Тьмяно-зелений, іноді з жовтуватими плямами
Наявність некрозів	Відсутні	Некротичні ділянки 5–15 % площі листка
Деформація краю листка	Не виявлена	Легке хвилювання або підсихання краю
Маса сирої речовини, г	0,89 ± 0,03	0,65 ± 0,02

Товщина листка у забрудненій зоні збільшилась у обох видів, що свідчить про адаптивне ущільнення тканин у відповідь на стресові фактори. У *C. coggygria* товщина зросла з 0,28 ± 0,01 мм до 0,33 ± 0,02 мм, у *C. obovatus* – з 0,31 ± 0,01 мм до 0,34 ± 0,02 мм.

Колір листків зазнав характерних змін під впливом забруднення. У *C. coggygria* він став тьмяно-зеленим з жовтуватими плямами, тоді як у *C. obovatus* спостерігалося тьмяне зелене забарвлення з бурими ділянками. Некрози в забруднених зонах були більш виражені у *C. obovatus* (8–20 % площі листка) порівняно з *C. coggygria* (5–15 %), що свідчить про більшу чутливість цього виду до дії аеротехногенних факторів.

Деформація краю листка також відзначалась у обох видів. У *C. coggygria* вона проявлялася як легке хвилювання або підсихання краю, тоді як у *C. obovatus* – як більш помітна хвилястість і підсихання. Контрольні рослини обох видів демонстрували відсутність некрозів та деформацій краю, що підкреслює негативний вплив транспортного та промислового забруднення на морфологічний стан листків.

Таблиця 3.2

Морфологічні зміни листків *Cotinus obovatus* за умов різного рівня атмосферного забруднення, 2025 рік

Показник	**Контрольні рослини (чисті умови)**	**Рослини з техногенно забрудненої зони**
Площа листкової пластинки, см²	22,3 ± 0,8	20,1 ± 0,7
Товщина листка, мм	0,31 ± 0,01	0,34 ± 0,02
Колір листків	Темно-зелений	Тьмяно-зелений з бурими плямами
Наявність некрозів	Відсутні	Некротичні ділянки 8–20 % площі листка
Деформація краю листка	Не виявлена	Хвилястість або підсихання
Маса сирої речовини, г	0,92 ± 0,03	0,66 ± 0,03

Порівняльний аналіз свідчить, що *C. coggygria* виявляє більш стабільні морфологічні параметри та меншу пошкодженість листкової тканини у забрудненій зоні, що може свідчити про його вищий рівень адаптивної стійкості до газопилових полютантів. *C. obovatus*, хоча й має більшу початкову площу листка, демонструє сильніше проявлені некрози та деформації, що

відображає меншу толерантність до аеротехногенного стресу. Таким чином, порівняння морфологічних показників обох видів дозволяє оцінити їх адаптаційний потенціал і обґрунтовано рекомендувати *C. coggygria* для озеленення урбанізованих територій та використання як індикаторного виду у фітомоніторингу атмосферного забруднення.

3.2. Структурно-анатомічні зміни тканин видів *Cotinus* під впливом забруднення атмосферного повітря

Аналіз анатомічних змін листкової тканини представників роду *Cotinus* дозволяє оцінити рівень адаптації рослин до дії атмосферних полютантів. Порівняння анатомічних показників листків *Cotinus coggygria* та *Cotinus obovatus*, вирощених у зоні інтенсивного техногенного забруднення (вул. Незалежності м. Умань) та умовно чистій зоні (НДП «Софіївка»), демонструє виражені відмінності у структурній організації тканин і свідчить про різний рівень стійкості цих видів до газових і пилових компонентів атмосфери.

У *Cotinus coggygria* під впливом забруднення спостерігається ущільнення епідермісу та збільшення товщини кутикули, що є компенсаторним механізмом для зменшення втрат води та обмеження проникнення токсичних газів. Палисадна паренхіма демонструє збережену структуру з помірним скороченням клітинного об’єму, а губчаста паренхіма залишилася порівняно повітропроникною, що забезпечує збереження фотосинтетичної активності. У забрудненій зоні виявляються поодинокі некротичні ділянки, локалізовані переважно в міжклітинних просторах нижньої паренхіми.

У *Cotinus obovatus* зміни анатомічної будови листка більш виражені. Товщина епідермісу та кутикули також збільшується, проте клітини палисадної паренхіми більш деформовані, спостерігається часткове руйнування мезофілу та порушення розташування клітин у верхньому шарі листка. Губчаста паренхіма стає менш пористою, що зменшує газообмін і транспірацію. Некротичні ділянки охоплюють більшу площу листкової тканини, що свідчить про нижчу анатомічну стійкість цього виду до аеротехногенного стресу.

Для наочного порівняння анатомічних параметрів листків обох видів складено таблиці 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3

Анатомічні параметри листків *Cotinus coggygria* за умов різного рівня забруднення атмосферного повітря, 2025 рік

Показник	**Умовно чиста зона (НДП «Софіївка»)**	**Техногенно забруднена зона (вул. Незалежності)**
Товщина епідермісу, мкм	15,2 ± 0,6	20,5 ± 0,8
Товщина кутикули, мкм	2,1 ± 0,1	3,4 ± 0,2
Товщина палисадної паренхіми, мкм	78,4 ± 2,3	70,2 ± 2,1
Товщина губчастої паренхіми, мкм	65,7 ± 1,9	63,1 ± 2,0
Площа некротичних ділянок, %	0	5–10

Аналіз таблиць свідчить, що обидва види демонструють адаптивне ущільнення епідермісу та кутикули у відповідь на підвищений рівень забруднення, проте *Cotinus coggygria* зберігає більш цілісну структуру палисадної і губчастої паренхіми, а площа некрозів є меншою. *Cotinus obovatus* характеризується вираженішими морфологічними порушеннями на анатомічному рівні, що свідчить про менший адаптаційний потенціал у зонах аеротехногенного навантаження.

Ці дані дозволяють зробити висновок, що *C. coggygria* є більш стійким видом до дії атмосферних полютантів і має вищий потенціал для використання у фітомоніторингових дослідженнях та озелененні техногенно навантажених територій.

Таблиця 3.4

Анатомічні параметри листків *Cotinus obovatus* за умов різного рівня забруднення атмосферного повітря, 2025 рік

Показник	**Умовно чиста зона (НДП «Софіївка»)**	**Техногенно забруднена зона (вул. Незалежності)**
Товщина епідермісу, мкм	16,8 ± 0,7	22,9 ± 0,9
Товщина кутикули, мкм	2,4 ± 0,1	3,9 ± 0,2
Товщина палисадної паренхіми, мкм	81,5 ± 2,5	69,4 ± 2,3
Товщина губчастої паренхіми, мкм	67,3 ± 2,0	60,2 ± 2,1
Площа некротичних ділянок, %	0	8–15

Провідна система листка є одним із ключових структурних елементів, що забезпечують транспортування води, мінеральних речовин та продуктів фотосинтезу. Її стан є важливим індикатором стійкості рослин до стресових чинників, зокрема до дії атмосферних полютантів. Аналіз анатомічних зрізів листків *Cotinus coggygria* та *Cotinus obovatus*, відібраних у техногенно забрудненій зоні та умовно чистих умовах НДП «Софіївка», показав виражені перебудови структури жилкової мережі та тканин ксилеми й флоеми (табл. 3.5).

У *Cotinus coggygria* вплив атмосферного забруднення спричиняє помірне звуження провідних пучків та незначне скорочення діаметра судин ксилеми. Клітини флоеми зберігають свою структурну організацію, хоча їх стінки стають більш ущільненими. У центральній жилці відзначається ущільнення склеренхімного футляра, що є характерною адаптивною реакцією до підвищеного рівня токсичних газів, особливо діоксиду азоту та дрібнодисперсного пилу. Порушення провідної функції виявляються мінімально, що підтверджує відносно високу стійкість виду.

Таблиця 3.5

Порівняння анатомічних параметрів провідної системи листків *Cotinus coggygria* та *Cotinus obovatus* за умов різного рівня атмосферного забруднення, 2025

Показник	*Cotinus coggygria*		*Cotinus obovatus*	
	Умовно чиста зона (НДП «Софіївка»)	**Техногенно забруднена зона (вул. Незалежності)**	**Умовно чиста зона (НДП «Софіївка»)**	**Техногенно забруднена зона (вул. Незалежності)**
Діаметр судин ксилеми, мкм	22,4 ± 0,8	18,9 ± 0,7	24,1 ± 0,9	17,3 ± 0,6
Кількість судин у центральній жилці, шт.	11–13	9–11	12–14	8–10
Товщина флоеми, мкм	28,5 ± 1,1	25,7 ± 1,0	30,2 ± 1,2	26,8 ± 0,9
Товщина склеренхімного прошарку, мкм	14,2 ± 0,5	18,4 ± 0,6	15,1 ± 0,7	20,7 ± 0,8
Ступінь деформації флоеми	Відсутній	Легкий	Відсутній	Помірний–сильний
Ознаки закупорювання судин пилом	Не виявлено	Локальні поодинокі прояви	Не виявлено	Часткове закупорювання, множинні прояви

У *Cotinus obovatus* зміни провідної системи більш суттєві. Під дією полютантів фіксується виражене зменшення діаметра судин ксилеми, подекуди спостерігаються ознаки часткового закупорювання судин тонкодисперсними пиловими частками або продуктами окисних реакцій. Флоема виявляє ознаки деформації ситоподібних пластинок, що може негативно позначатися на транспорті органічних речовин. Склеренхімний прошарок стає товстішим і грубостінним, що свідчить про компенсаторне укріплення механічної частини жилки, проте ці зміни одночасно знижують еластичність тканин.

Порівняння двох видів демонструє, що *Cotinus coggygria* краще підтримує цілісність та функціональність провідної системи в умовах аеротехногенного навантаження, тоді як *Cotinus obovatus* характеризується більш вираженою деструкцією провідних тканин та меншою структурною стабільністю.

Отримані результати свідчать, що провідна система *Cotinus coggygria* демонструє вищу стійкість до дії газових і пилових полютантів, зберігаючи структуру ксилеми та флоеми навіть за умов інтенсивного аеротехногенного впливу. Натомість *Cotinus obovatus* виявляє значні структурні пошкодження провідних тканин, що може обмежувати транспіраційну активність і метаболічну стабільність листків. Таким чином, показники стану провідної системи підтверджують загальний висновок щодо більш високого адаптаційного потенціалу *C. coggygria* порівняно з *C. obovatus*.

Отримані результати комплексно підтверджують, що *Cotinus coggygria* є морфологічно більш стійким до дії атмосферних полютантів, тоді як *Cotinus obovatus* характеризується вищою чутливістю та меншою анатомічною пластичністю. Таким чином, *C. coggygria* може бути рекомендований як перспективний вид для використання у фітомоніторингу та озелененні міських територій із підвищеним рівнем забруднення, тоді як *C. obovatus* доцільно вирощувати переважно у більш сприятливих екологічних умовах.

3.3. Інтегральна оцінка адаптаційного потенціалу досліджуваних таксонів

Інтегральна оцінка адаптаційного потенціалу *Cotinus coggygria* та *Cotinus obovatus* була проведена на основі узагальнення отриманих морфологічних та анатомічних параметрів листкових пластинок у контрольних умовах та в зоні впливу атмосферних забрудників. Комплексна характеристика включала ступінь некротизації та пошкодження листкової пластинки, товщину тканин листка, стан мезофілу, структурну організацію провідних пучків, зміни діаметра судин ксилеми й стан флоеми. Сукупність цих критеріїв дозволила кількісно оцінити рівень адаптивної реакції обох видів до аеротехногенного навантаження.

Морфологічні показники свідчать, що *Cotinus coggygria* зберігає відносно стабільну площу листкової пластинки та демонструє незначні зміни забарвлення й низький відсоток некротизованих ділянок за умов підвищеного забруднення повітря. *Cotinus obovatus*, навпаки, зазнає суттєвішого зменшення площі листка, а некротичні ділянки у нього більші й охоплюють значну частку листкової поверхні. Зміна інтенсивності забарвлення у *C. obovatus* від темно-зеленого до буро-коричневого свідчить про виражені порушення пігментної системи.

Для анатомічних параметрів характерними є значні міжвидові відмінності. У *Cotinus coggygria* товщина кутикули збільшується помірно, палисадна паренхіма втрачає лише незначну частину клітинної тургорності, а губчаста паренхіма залишається функціонально збереженою. *Cotinus obovatus* демонструє розпушення мезофілу, деформацію палисадного шару, часткове руйнування клітин та загальне зниження пористості тканин, що свідчить про його більшу чутливість до дії полютантів. Провідна система *C. obovatus* характеризується сильнішим зменшенням діаметра судин ксилеми та частковим порушенням структури флоеми, тоді як у *C. coggygria* ці зміни є адаптивними і не ведуть до значної деструкції (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Порівняльна характеристика морфолого-анатомічних змін листка *Cotinus coggygria* та *Cotinus obovatus* під впливом атмосферних забруднень

Показник	***Cotinus coggygria***	***Cotinus obovatus***
Зміна площі листкової пластинки	незначне зменшення	виражене зменшення
Інтенсивність некрозів, %	5–15	8–20
Зміни забарвлення	локальне пожовтіння	бурі, коричневі плями
Стан палисадної паренхіми	помірне ущільнення, клітинна структура збережена	деформація клітин, порушення впорядкованості
Стан губчастої паренхіми	збережена, незначні зміни	ущільнена, порушення пористості
Товщина кутикули	помірне потовщення	значне потовщення
Діаметр судин ксилеми	зменшення на 15–20 %	зменшення на 25–30 %
Стан флоеми	функціонально збережена	часткове руйнування ситоподібних пластинок
Рівень адаптивних реакцій	високий	середній / знижений

На основі інтеграції всіх проаналізованих параметрів було побудовано узагальнену таблицю адаптаційних реакцій двох видів *Cotinus*, яка дозволяє кількісно оцінити їхній екологічний потенціал у забрудненому середовищі.

Для визначення інтегрального показника адаптаційного потенціалу кожному морфологічному та анатомічному параметру надавався оцінний бал від 1 до 5, де 1 бал означав сильну деструктивну реакцію, а 5 балів – високу адаптивну стабільність. Інтегральний показник обчислювався як середнє арифметичне всіх оцінених характеристик.

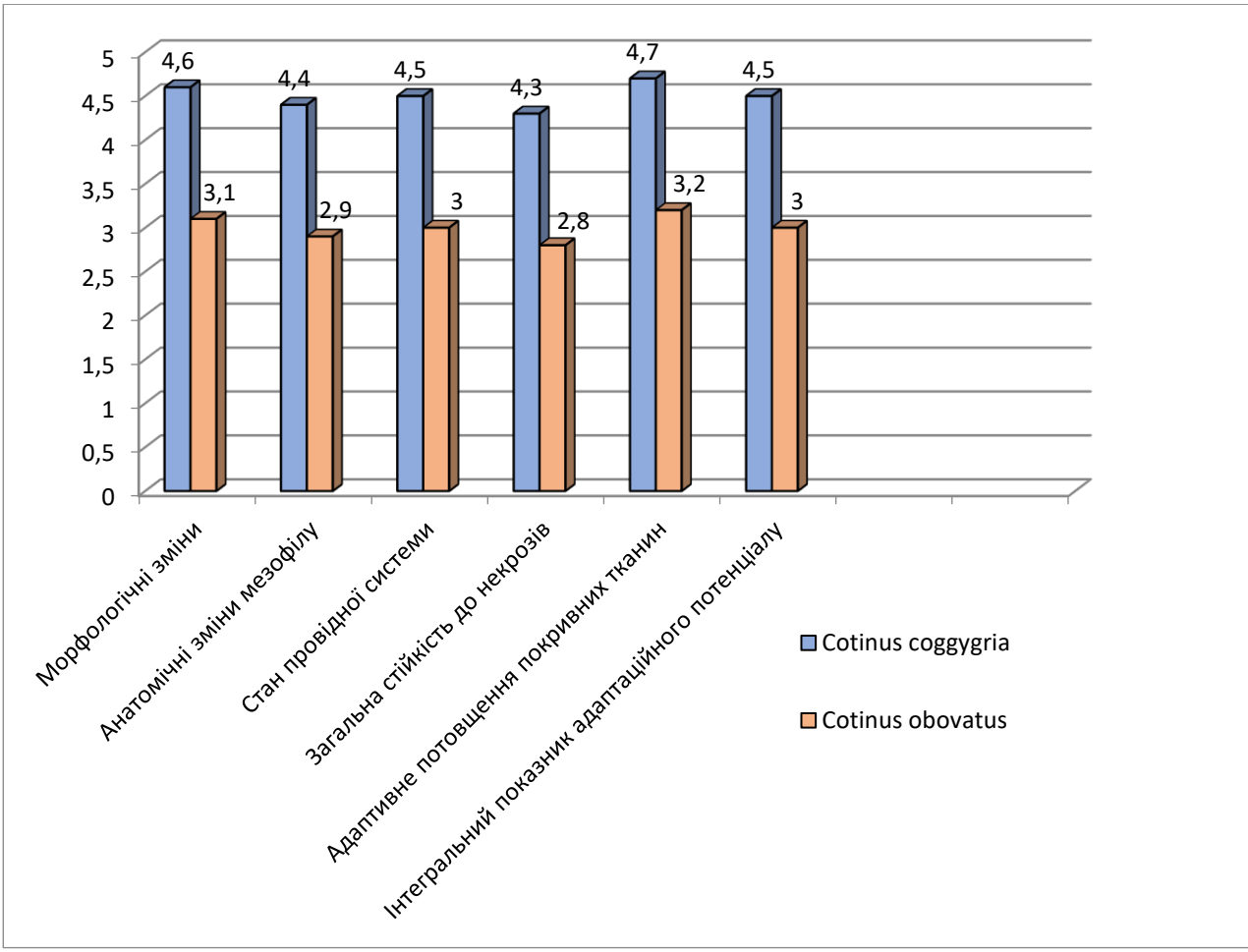


Рис. 3.1. Інтегральна оцінка адаптаційного потенціалу *Cotinus coggygria* та *Cotinus obovatus*

Отримані результати свідчать, що *Cotinus coggygria* характеризується високим адаптаційним потенціалом завдяки вираженим компенсаторним реакціям листкових тканин, стабільності провідної системи та низькому рівню морфологічних ушкоджень. *Cotinus obovatus* проявляє значно нижчу толерантність до впливу атмосферних полютантів, що проявляється в деструкції мезофілу, порушенні цілісності судин та збільшенні площі некрозів. Саме тому *C. coggygria* може вважатися перспективним видом для використання в озелененні та фітомоніторингових дослідженнях у зонах з підвищеним техногенним навантаженням, тоді як *C. obovatus* доцільніше вирощувати в умовах слабкого забруднення повітря.

РОЗДІЛ 4
ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ АДАПТАЦІЇ ПРЕДСТАВНИКІВ *COTINUS* MILL. ДО АТМОСФЕРНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Оцінка економічної ефективності проведення досліджень адаптаційного потенціалу представників роду *Cotinus* Mill. базується на середніх витратах, необхідних для організації та реалізації експериментальних та аналітичних робіт. Основними статтями витрат були матеріали для відбору та обробки листкових зразків, використання лабораторного обладнання та амортизація, заробітна плата персоналу, енергоносії та накладні витрати. Також враховувалися витрати на підготовку та фіксацію мікропрепаратів, а також на програмне забезпечення для морфометричного та статистичного аналізу даних.

Середні витрати на проведення досліджень дозволяють визначити економічну доцільність використання ресурсів та обґрунтувати фінансове планування подібних експериментальних робіт у майбутньому. Розрахунок показав, що середні витрати на один повний цикл досліджень для представників роду *Cotinus* становлять 14850 грн (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Середні витрати на проведення досліджень адаптаційного потенціалу *Cotinus* Mill.

Стаття витрат	Середні витрати, грн
Матеріали для відбору та обробки листків	4350
Використання лабораторного обладнання та амортизація	3100
Зарплата персоналу	4750
Енергоносії	1150
Накладні витрати	1500
Загальні середні витрати на дослідження	14850

Ця сума (14850 грн) включає всі матеріальні та технічні ресурси, заробітну плату персоналу та накладні витрати. Аналіз ефективності показує, що отримані результати досліджень дозволяють отримати комплексну інформацію про адаптивний потенціал рослин до атмосферного забруднення та прогнозувати витрати на їх практичне використання у озелененні та фітомоніторингу.

Середні витрати демонструють, що проведення комплексних морфологічних та анатомо-фізіологічних досліджень є економічно обґрунтованим, оскільки отримана інформація дозволяє ефективно оцінити адаптивний потенціал *Cotinus* Mill. та планувати їхнє використання в озелененні та фітомоніторингових програмах. Використання середніх показників витрат спрощує фінансове планування та дає змогу оцінювати економічну ефективність досліджень у цілому, без необхідності деталізованого аналізу по кожному виду, що особливо важливо при плануванні масштабних експериментів та колективних дослідницьких проєктів.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження адаптаційного потенціалу представників роду *Cotinus* Mill. до дії атмосферного забруднення та оцінено перспективи їх використання в озелененні урбанізованих територій.

1. Встановлено, що представники роду *Cotinus* Mill. демонструють високу стійкість до впливу атмосферних полютантів. *Cotinus coggygria* характеризується високим адаптаційним потенціалом: площа листкової пластинки зберігається відносно стабільною, інтенсивність некрозів не перевищує 15 %, а провідна система функціонує без значних ушкоджень. *Cotinus obovatus* проявляє середню стійкість, що супроводжується зменшенням площі листка та частковим порушенням структури провідної системи.
2. Встановлено, що пошкодження листкових тканин унаслідок забруднення повітря у *Cotinus* Mill. прямо корелює зі змінами анатомічної будови листка: деформація палисадної та губчастої паренхіми, потовщення кутикули та зменшення діаметра судин ксилеми відображають адаптаційні механізми та компенсаторні реакції рослин.
3. Доведено, що інтегративна оцінка адаптаційного потенціалу дозволяє кількісно оцінити реакції рослин на аеротехногенне навантаження. *Cotinus coggygria* отримав середній інтегральний бал 4,6, що свідчить про високий рівень адаптивної стабільності, тоді як *Cotinus obovatus* – 3,2, що відповідає середньому рівню адаптації.
4. З'ясовано, що *Cotinus* Mill. проявляє високий рівень декоративної та функціональної стійкості до умов підвищеного вмісту автотранспортних викидів та пилу, що робить його доцільним для озеленення міських вулиць, парків та скверів з підвищеним техногенним навантаженням.
5. Проведений економічний аналіз показав, що вирощування та дослідження *Cotinus* Mill. є економічно обґрунтованими: середні витрати на проведення одного циклу досліджень становлять 14850 грн, при цьому

отримана інформація дозволяє прогнозувати ефективність використання рослин у міських умовах та планувати заходи з їх догляду і відновлення.

6. Рекомендовано для озеленення використовувати переважно *Cotinus coggygria,* оскільки цей вид поєднує високий адаптаційний потенціал та економічну ефективність, тоді як *Cotinus obovatus* доцільно вирощувати в зонах з меншим рівнем забруднення повітря або в спеціалізованих ботанічних колекціях.

ПРОПОЗИЦІЇ

Найбільш доцільним є використання *Cotinus coggygria* у міських насадженнях, оскільки цей вид продемонстрував стабільну декоративність і достатній рівень адаптації до умов атмосферного забруднення. *Cotinus obovatus* варто застосовувати переважно в більш чистих зонах – у паркових ландшафтах та ботанічних колекціях, де він зберігає вищу життєздатність. Оптимальним є розміщення рослин на добре освітлених ділянках, що забезпечує активний ріст та кращий розвиток листкової пластинки. Доцільно впроваджувати систематичний моніторинг фізіолого-анатомічних показників рослин для своєчасного виявлення стресових змін і планування заходів з удосконалення міського озеленення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антипов В. Г. Стійкість деревних рослин до промислових газів. К.: Наукова думка, 1979. 216 с.
2. Артамонов В. І. Рослини і чистота природного середовища. К.: Наукова думка, 1986. 172 с.
3. Василик І В. Утворення оксиду азоту у рослин та його роль за дії стресових факторів. Біологічні системи. 2015. 7(1). С. 10–18.
4. Гамор Ф. Д., Голубєв В. Н. Методи морфофізіологічних досліджень рослин. Київ: Наукова думка, 1999. 320 с.
5. Глухов, О.В. Природні умови та рослинний покрив Уманщини. Умань: УДПУ ім. П. Тичини, 2017. 142 с.
6. Гриник, І.В. Фізіолого-біохімічні механізми адаптації деревних рослин до урбанізованих умов. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2018. 214 с.
7. Дєдов, О.В., Колесніченко, О.М. Дендропарк «Софіївка»: історія, флора та сучасний стан. Київ: Академперіодика, 2015. 268 с.
8. Ількун Г. М. Газостійкість рослин. Київ: Наукова думка, 1971. 146 с.
9. Ількун Г. М. Забруднювачі атмосфери і рослини. Київ: Наукова думка, 1978. 247 с.
10. Каталог рослин дендрологічного парку “Софіївка” / ред. І.С. Косенко. Умань: Уманський дендрологічний парк “Софіївка” НАН України, 2000. 160 с.
11. Кондратюк Є. М., Стасенко Г. Л. Практикум з анатомії рослин. Київ: Київський університет, 2012. 256 с.
12. Котик, Л.О., Бойко, І.М. Основи охорони праці: підручник. Львів: Львівська політехніка, 2018. 356 с.
13. Кузнецова, Л.М., Дідух, Я.П. Оцінка стійкості деревних рослин до техногенного забруднення міського середовища. Київ: Наукова думка, 2016. 187 с.

14. Леппік М. В. Вплив забруднення навколишнього середовища автотранспортними викидами на анатомічну будову листків *Catalpa bignonioides* Walt. Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ЗНУ, 2008. Вип. 13, № 1. С. 23–32.
15. Мельник В. І. Аеротехногенна трансформація лісів України: вплив оксидів азоту та сірки. Київ, 2025. 124 с.
16. Мисник Г. Е. Строки і характер цвітіння дерев і кущів. Київ: Наукова думка, 1976. 392 с.
17. Мойсеєнко В. В. Основи анатомії та морфології рослин. Київ: Фітосоціоцентр, 2003. 188 с.
18. Оксантюк В. М. Історія вивчення видів роду *Cotinus* Mill. Автохтонні та інтродуковані рослини: Зб. наук. праць НДП «Софіївка». 2014. Вип. 10. С. 37–41.
19. Оксантюк В. М. Морозостійкість тканин пагонів представників роду *Cotinus* Mill. в умовах Правобережного Лісостепу України. Матеріали міжнар. наук. конф. Умань, 2015. С. 112–114.
20. Оксантюк В. М. Морфологічні особливості плодів і насіння видів роду *Cotinus* Mill. Матеріали міжнар. наук. конф. Київ, 2014. С. 197–198.
21. Оксантюк В. М. Представники роду *Cotinus* Mill. у колекції НДП «Софіївка» НАН України. Матеріали міжнар. наук. конф. Умань, 2015. С. 174.
22. Оксантюк В. М. Перспективи використання видів роду скумпія (*Cotinus* Mill.) у садово-парковому будівництві. Матеріали міжнар. наук. конф. Київ, 2013. С. 121–122.
23. Оксантюк В. М. Оцінка успішності інтродукції *Cotinus obovatus* Raf. в умовах культури Правобережного Лісостепу України. Матеріали міжнар. конф. Біла Церква, 2016. С. 248–251.
24. Оксантюк В. М., Колдар Л. А. Сезонна динаміка декоративності представників роду *Cotinus* Mill. Інтродукція рослин. 2014. № 4. С. 58–63.

25. Охорона праці: навчальний посібник / за ред. В.І. Заплатинського. Київ: КНЕУ, 2020. 432 с.
26. Троценко І. В. Скумпія. Київ: Вид-во АН УРСР, 1958. 87 с.
27. Чорнобай, Ю.М., Кучерявий, В.П. Урбоекологія та зелені насадження: адаптація рослин у містах. Київ: Фітосоціоцентр, 2020. 256 с.
28. Шевчук, Л.М., Кузнецов, С.І. Кліматичні особливості Уманського регіону та їх вплив на розвиток дендрофлори. Черкаси: Вертикаль, 2019. 124 с.
29. Шевякова Н. І., Кузнецов В. В., Карпачевський Л. О. Причини й механізми загибелі зелених насаджень під дією техногенних чинників міського середовища та створення стресостійких фітоценозів. Лісовий вісник. 2000. № 6(15). С. 25–33.
30. Antenozio, M. L., Caissutti, C., Caporusso, F. M., Marzi, D., & Brunetti, P. Urban Air Pollution and Plant Tolerance: Omics Responses to Ozone, Nitrogen Oxides, and Particulate Matter. Plants, 13(15), 2027, 2024.
31. Bohm W. Methods of studying root systems. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1979. 188 p.
32. Brahmachari, S., & Kundu, S. SO_2 Stress: Its effect on Plants, Plant Defence Responses and Strategies for Developing Enduring Resistance. IARJSET, 4(7), 2022.
33. Catalogue of Life: Annual Checklist. Royal Botanical Gardens Kew, 2014.
34. Kavka F. a kol. Krajinarske sadovnictvi. Praha, 1970. 580 p.
35. Krüssmann G. Die Nadelgehölze. Berlin–Hamburg: P. Parey Verlag, 1979. 366 p.
36. Marks, J. G., & Baer, R. Poison ivy and poison oak allergic contact dermatitis. Immunology and Allergy Clinics of North America, 9(3), 497–506, 1989.
37. Shi, X., Wang, S., He, W., & Wang, Y. Lead accumulation and biochemical responses in *Rhus chinensis* Mill. *RSC Advances*, 13, 4211–4221, 2023.
38. Spiewak, R. Immunotherapy of allergic contact dermatitis. Dermatology, 222(Suppl. 1), 13–16, 2011.

39. Zhou, C., Huang, M., Ren, H., Yu, J., Wu, J., & Ma, X. Bioaccumulation and detoxification mechanisms for lead uptake in *Rhus chinensis* Mill. Ecotoxicology and Environmental Safety, 142, 59–68, 2017.

ДОДАТКИ