

ВІДГУК
офіційного опонента,
доктора біологічних наук, професора, завідувача кафедри лісівництва та
мисливського господарства Державного біотехнологічного університету
КАРПЦЯ Юрія Вікторовича
на дисертаційну роботу БОРОДАЙ Євгенії Сергіївни
«Інтегрована відповідь газонних та квітково-декоративних рослин
за умови мегаполісу на фоні змін клімату», що подана
на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 09 «Біологія»
за спеціальністю 091 «Біологія»

Актуальність теми дисертаційної роботи. Сучасна урбанізація у поєднанні з глобальними кліматичними трансформаціями створює безпрецедентне стресове навантаження на зелені насадження промислових населених місць Степової зони України. Газонні та квітково-декоративні рослини опиняються під одночасною дією техногенного забруднення, ефекту міського «острова тепла» та тривалих посух, що спричиняє глибокі порушення фізіолого-біохімічних процесів. У зв'язку з цим виникає гостра потреба у з'ясуванні фундаментальних механізмів формування їхньої адаптивної відповіді на цей багатофакторний стресовий комплекс. Глибоке вивчення адаптаційного потенціалу декоративних рослин дає змогу виявити ключові маркери їхньої стійкості до комплексного впливу стресорів. В свою чергу, отримувані фундаментальні знання стають необхідним підґрунтям для цілеспрямованого добору асортименту стійких видів і розробки ефективних заходів із підвищення життєздатності міських насаджень. Практична реалізація таких підходів дає можливість забезпечити стале функціонування та естетичну привабливість зеленої інфраструктури міст за умов подальших кліматичних змін.

Дисертаційне дослідження Євгенії Бородай присвячене вирішенню актуального науково-практичного питання – фітоекологічній оптимізації в умовах сучасного мегаполісу Степової зони України міста Дніпра. У зв'язку з цим, актуальність обраної теми досліджень не викликає сумніву.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.

Дослідження виконано в рамках науково-дослідної роботи кафедри фізіології та інтродукції рослин Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара «Інтродукція рідкісних, реліктових природних видів рослин і малопоширених сортів культурних рослин в умовах Степового Придніпров'я» (№ 0122U001454, виконання період 2022-2024 рр.), «Дослідження механізмів адаптації інвазійних деревних рослин до умов Степового Придніпров'я», (№ 0125U002200, виконання період 2025-2027 рр.).

Частина експериментальних досліджень виконана відповідно до програми DAAD «DAAD – OSTPARTNERSCHAFTEN» («Evaluation of changes in the physiological and biochemical status of plants (pigments, proline and malondialdehyde content) caused by salt and oxidative stress») у 2025 р. на базі Технічного університету «Фрайберзька гірничо-академія» в лабораторії екології Інституту біологічних наук, в якій авторка брала участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Основною метою даної роботи було дослідити накопичення та транслокацію важких металів у вегетативних органах газонних злаків і квітково-декоративних рослин та з'ясувати фізіолого-біохімічні механізми адаптації їхнього пластидного та антиоксидантного комплексів до умов синергічного техногенно-кліматичного навантаження промислового міста. Для досягнення мети дослідження були поставлені завдання, які відповідають назві роботи та її меті.

Об'єкт дослідження – процеси техногенно-кліматичної адаптації та фізіолого-біохімічного реагування газонних злаків і квітково-декоративних рослин в урбанізованому середовищі.

Предмет дослідження – концентрація важких металів, коефіцієнти транслокації, вміст пластидних пігментів, рівень МДА, проліну та активність антиоксидантних ферментів у тканинах *Poa angustifolia*, *Elytrigia repens*, *Festuca valesiaca*, *Setaria viridis*, *Chrysanthemum* × *koreanum*, *Iris hybrida*, *Petunia* × *hybrida*, *Aster dumosum* за умов поліметалічного забруднення та аридизації.

Наукова новизна одержаних результатів. Авторкою дисертаційної роботи *вперше* досліджено комплексну інтегровану відповідь трав'янистих рослин (газонних та квітково-декоративних) в умовах урбанізованого середовища на фоні кліматичних змін на основі аналізу основних фізіолого-біохімічних маркерів стресу. Встановлено специфіку функціонування систем антиоксидантного захисту трав'янистих рослин разом із здатністю до акумуляції важких металів за умов комбінованого впливу аридизації та антропогенного навантаження мегаполісу. Проведено оцінку екологічних стратегій найбільш поширених видів газонних та квітково-декоративних рослин міських фітоценозів на основі розрахованого інтегрального індексу стійкості за умов забруднення аерополітантами.

Набули подальшого розвитку:

- уявлення про механізми формування екологічної стійкості газонних злаків та квітково-декоративних рослин в урбанізованому середовищі Степової зони України;
- наукові положення щодо видоспецифічності компартменталізації важких металів у системі «субстрат – корінь – листя»;
- методологічні підходи до біомаркерної оцінки інтегрованого стресу міського середовища;
- теоретичні основи математичного кореляційного аналізу для оцінки екологічної пластичності рослин.

Практичне значення одержаних результатів. Дослідження, які проведено дисертанткою, є теоретичною основою для розробки та впровадження концепції кліматично оптимізованого і техногенно стійкого озеленення великих промислових міст Степової зони України.

- виділені види-виключники (*Festuca valesiaca*, *Elytrigia repens*, *Chrysanthemum* × *koreanum*) рекомендовані для створення стійких захисних фітоценозів, газонів уздовж магістралей та фітостабілізації важких металів у зонах імпактного впливу промислових підприємств;
- види-акумулятори з високою проникністю фізіологічних бар'єрів (*Setaria viridis*, *Petunia* × *hybrida*) та чутливими біохімічними маркерами (зменшення коефіцієнта Chl a/b, зростання вмісту МДА) запропоновано

використовувати як вискоєфективні тест-системи для фітоіндикації та екологічного моніторингу якості атмосферного повітря й міських едафотопів;

- матеріали дисертації можуть бути інтегровані у навчальний процес природничих факультетів закладів вищої освіти.

Повнота викладення матеріалу дисертації у наукових публікаціях.

Результати досліджень висвітлено та опубліковано авторкою в 15 наукових працях, з них 2 – у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Web of Science або Scopus, 8 – у виданнях, які входять до наукових фахових видань України категорії Б, 5 – матеріали у збірниках наукових міжнародних та вітчизняних конференцій.

Аналіз основного змісту дисертаційної роботи. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 146 сторінок комп'ютерного тексту. Дисертація складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 26 рисунків та 3 таблиці. Список літератури містить 201 літературне джерело, з яких англійською мовою – 105.

У **вступі** авторкою висвітлено актуальність обраної теми, мету та завдання досліджень, наукову і практичну новизну одержаних результатів, особистий внесок здобувачки, дані про апробацію матеріалів дисертації на наукових форумах різного рівня та публікації за темою дисертації.

У **розділі 1. «Стан дослідження проблеми адаптації урбанофітоценозів до кліматичних змін»** було вивчено сучасний стан проблеми та обґрунтовано вибір напрямів дослідження. Авторкою представлено аналіз публікацій вітчизняних і закордонних авторів за темою дослідження. Критичний аналіз результатів досліджень світових та вітчизняних вчених щодо кліматичних та екологічних проблем мегаполісу обґрунтовує актуальність теми. Забруднення атмосфери, ґрунтів, фітоценозів небезпечними екотоксикантами внаслідок діяльності промислових підприємств та автотранспортного навантаження можуть призвести до незворотних змін. Авторкою переконливо доведена необхідність та своєчасність вирішення проблеми дослідження сумісного впливу антропогенного забруднення та умов аридного клімату Степової зони на

урбофітоценози, вивчення фізіолого-біохімічних механізмів стійкості рослин з подальшою рекомендацією до практичного застосування.

Розділ 2. «Характеристика району дослідження та об'єкти дослідження». Авторкою наведено фізико-географічні та кліматичні умови місця проведення досліджень, в ілюстративній формі наведено аналіз даних за останнє п'ятиріччя, а саме динаміки змін температур та кількості опадів. Обґрунтовано вибір точок відбору проб, зазначено характеристику рослинних об'єктів дослідження. Звертається увага на особливості техногенного та автотранспортного навантаження в умовах міського середовища, а також на роль досліджуваних рослин у створенні зелених насаджень.

Розділ 3. «Методи дослідження» детально описує сучасні загальноприйняті методики фізіолого-біохімічного аналізу, які були використані в експериментальних дослідженнях та відповідають рівню, що передбачений для виконання дисертаційних робіт.

Розділ 4. «Фізіолого-біохімічні механізми інтегрованої відповіді газонних рослин на стресові фактори» присвячено вивченню функціонування антиоксидантних ферментів, таких як каталаза, пероксидаза та супероксиддисмутаза за хронічного впливу аерополютантів примігстральних і промислових територій. Показано, що *Elytrigia repens* та *Festuca valesiaca* характеризуються високою активністю антиоксидантних ферментів, низьким рівнем МДА та стабільністю фізіолого-біохімічних процесів, що свідчить про їх високу стійкість. *Poa angustifolia* демонструє проміжний рівень адаптації, що проявляється у частковій стабілізації антиоксидантної системи. *Setaria viridis* характеризується підвищеним рівнем оксидативного стресу, гіперактивацією ферментативної системи, що свідчить про її високу чутливість до дії техногенних факторів. Суттєва увага приділена з'ясуванню акумуляції та розподілу важких металів в компонентах урбоекосистем. Встановлено, що у газонних рослин важливим механізмом адаптації є здатність обмежувати транслокацію важких металів у надземні органи та акумулювати їх у кореневій системі. Показано чітку міжвидову дивергенцію щодо інтенсивності акумуляції та транслокації елементів.

У розділі 5 «Стійкість квітково-декоративних рослин» представлені результати вивчення фізіолого-біохімічної відповіді квіткових інтродуцентів на дію антропогенного навантаження, визначені видові особливості квітково-декоративних рослин до акумуляції важких металів та активності антиоксидантної системи квітково-декоративних рослин. На основі комплексного кореляційного аналізу встановлено, що інтегрований екологічний стрес міського середовища найточніше відображається через систему сполучених маркерів. Показано суттєві відмінності у значеннях фізіолого-біохімічних показників між досліджуваними видами. Найбільш стійкі види, наприклад *Chrysanthemum* × *koreanum* характеризуються відносно низьким рівнем проліну та МДА і високим вмістом хлорофілів. Чутливі види (*Petunia* × *hybrida*) демонструють протилежну тенденцію: підвищення маркерів стресу та зниження фотосинтетичних пігментів. Виявлено обернену залежність між маркерами стресу та фотосинтетичною активністю, що підтверджує адаптивні особливості досліджуваних видів.

Отримані результати дозволять рекомендувати використання досліджуваних видів рослин в озелененні урбанізованих територій, у фітоіндикації як біоіндикаторів техногенного забруднення, в екологічних моніторингах та для фітостабілізації забруднених територій.

Висновки сформульовані достатньо чітко. Вони повністю розкривають зміст роботи, відповідають головній меті та завданням дисертаційного дослідження.

Таким чином, дисертаційна робота Євгенії Бородай є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому з використанням сучасних методів отримано нові обґрунтовані результати щодо комплексної реакції газонних та квітково-декоративних рослин на поєднану дію урбаногенних чинників і кліматичних факторів. Проведені дослідження характеризуються високою актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю. Дисертаційна робота розкриває ключові фізіолого-біохімічні маркери стійкості досліджених видів, що має вагоме значення для стресової фізіології рослин та міської екології. Сформульовані висновки виступають логічним підсумком проведених експериментів та слугують підґрунтям для оптимізації

асортименту декоративних культур і підвищення стабільності зеленої інфраструктури мегаполісів. При цьому сам текст дисертації грамотно написаний, належно ілюстрований та повністю відображає комплексний підхід здобувачки до розв'язання поставлених завдань.

Зауваження і побажання до дисертаційної роботи.

1. Терміни «інтегрований стрес» та «інтегрована відповідь» у роботі вживаються у дещо перебільшеному значенні. Для прикладу, використання терміну «інтегрована відповідь» передбачає комплексний біохімічний, фізіологічний та анатомо-морфологічний аналіз. У назві роботи та у висновках має сенс використання цих термінів для узагальнення. Але у тексті роботи варто було обмежитися терміном «показники стресової відповіді» або подібними.

2. В тексті роботи не наведено дані щодо репрезентативності та факторостатності відбору проб рослинного матеріалу. Такі біохімічні показники як вміст пігментів, співвідношення між хлорофілами *a* і *b*, активність антиоксидантних ферментів, вміст проліну можуть істотно варіюють протягом доби, залежно від ярусу листка та безпосередньої інсоляції. В таких дослідженнях уніфікація часу і умов відбору рослинного матеріалу має велике значення для презентабельності та інтерпретації результатів.

3. В методиці та експериментальних розділах недостатньо обґрунтований вибір асортименту видів рослин. Газонні трави та квітково-декоративні рослини мають різні стратегії адаптації та типи метаболізму. Тому виникає питання щодо вибору видів та порівняння їх між собою в межах єдиної концепції дисертаційної роботи. Хоча у роботі показані видові відмінності у окремих показниках стресової реакції, але не наведено достатнє узагальнення цих результатів.

4. Показник вмісту проліну в останні роки викликає певний скепсис у наукових колах стресових фізіологів рослин. Якщо 20-30 років тому цей індикатор вважався одним з ключових маркерів стресового стану рослин, то в останній період він втрачає такі позиції через значну варіабельність в часі, залежність від виду, фази розвитку рослини, стресора та сили його впливу.

Зокрема, в роботі у підрозділі 5.3. також показана значна варіабельність вмісту проліну, але недостатньо обговорені отримані результати, в тому числі із порівнянням з літературними даними.

5. У експериментальних розділах дисертаційної роботи детально досліджені особливості надходження важких металів з ґрунту до рослин та розподіл їх у системі «ґрунт-рослина», але бажано було б охарактеризувати вплив фонового вмісту та величини емісії важких металів протягом вегетаційного періоду на досліджувані показники.

6. У експериментальних розділах та у висновках недостатньо узагальнено та мало висловлена власна думка авторки, які саме біохімічні маркери є найбільш інформативними при вивченні стресового впливу на види декоративних рослин у регіоні дослідження.

7. Зважаючи на досить великий обсяг емпіричних даних, глибокий математичний аналіз, виявлені видові закономірності та наочну візуалізацію у вигляді теплових карт варто було виділити окремими розділами «Узагальнення результатів» та/або «Практичні рекомендації». Крім того, вважаю, що результати дисертаційного дослідження можуть бути опубліковані у вигляді окремих рекомендацій щодо озеленення і фіторе mediaції промислових населених пунктів та антропогенно трансформованих територій, або ж включені до практичних рекомендацій за відповідною науково-дослідною темою кафедри.

8. На основі отриманої видової відмінності за фізіолого-біохімічними показниками у різних умовах антропогенного навантаження і стресового впливу екологічного середовища в подальшому доцільним розробити конкретну шкалу ранжування щодо асортименту декоративних рослин за ступенем стійкості, рекомендації регламенту їх застосування та економічної і екологічної оцінки ефективності використання досліджених видів, а також видати у вигляді окремої наукової публікації чи практичних рекомендацій.

В цілому, виявлені недоліки та вказані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи та науково-практичного значення отриманих результатів досліджень, а висловлені побажання та рекомендації опонента можуть бути враховані авторкою у подальшій роботі.

Загальний висновок щодо дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Бородай Євгенії Сергіївни «Інтегрована відповідь газонних та квітково-декоративних рослин за умови мегаполісу на фоні змін клімату», є завершеним, самостійним науковим дослідженням, що характеризується актуальністю, науковою новизною та практичним значенням, обґрунтованістю основних результатів, опублікованими у вигляді статей у виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus і WoS та у фахових виданнях України категорії Б.

Представлена робота відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та Постанові Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022.

Зважаючи на актуальність дисертаційного дослідження «Інтегрована відповідь газонних та квітково-декоративних рослин за умови мегаполісу на фоні змін клімату», обґрунтованість наукових положень і висновків, фундаментальну новизну і практичну значимість результатів, а також дотримання академічної доброчесності, що підтверджено відповідними документами, вважаю, що авторка даної роботи – Бородай Євгенія Сергіївна – заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 «Біологія» у галузі знань 09 «Біологія».

Офіційний опонент:

доктор біологічних наук, професор,
завідувач кафедри лісівництва
та мисливського господарства
Державного біотехнологічного університету



Юрій КАРПЕЦЬ

Підпис *Юрій Карпець*
ЗАСВІДЧУЮ
Керівник відділу діловодства ДБТУ
Олена Мельник