

## В І Д Г У К

**офіційного опонента – доктора біологічних наук, професора Косаківської Ірини Василівни на дисертаційну роботу Фецюх Анастасії Богданівни «Фізіологічні аспекти стійкості рослин *Salix viminalis* L. в умовах техногенного забруднення», представлену на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 09 «Біологія» за спеціальністю 091 «Біологія»**

**Актуальність теми дисертаційного дослідження.** Однією з найважливіших екологічних проблем сучасного індустріального світу є забруднення біосфери важкими металами (ВМ). Metали, густина яких перевищує п'ять грам на один см<sup>3</sup>, і які умовно називають важкими, входять до складу різних хімічних сполук і є невід'ємними природними складовими земної кори. Однак, швидкий розвиток промислового виробництва й транспорту спричинює різке зростання вмісту ВМ на урбанізованих територіях, поблизу видобувних кар'єрів та виробничих потужностей, магістралей наземного транспорту, летовищ та ін. ВМ належать до агресивних чинників забруднення біосфери, викликають мутагенні, генотоксичні й цитотоксичні ефекти у тварин, людей і рослин, забруднюють воду, атмосферу і ґрунт. Високі концентрації ВМ негативно впливають на морфологічну будову, накопичення біомаси, фотосинтез, транспорт органічних речовин і мінеральне живлення, функціонування сигнальних систем і стресостійкість, водний обмін рослин. У відповідь на дію ВМ у рослинному організмі формуються реакції-відповіді, дослідження яких має вирішальне значення для пошуку шляхів підвищення стресостійкості, збільшення продуктивності рослин, очищення забруднених ґрунтів і водойм. Тому дисертаційна робота Фецюх Анастасії Богданівни, котра присвячена вивченню впливу техногенного забруднення на морфометричні та фізіологічні показники, визначенню фіторемендіаційної спроможності верби прутувидної *Salix viminalis* L., дослідженню складу угруповань ендofітних бактерій коренів рослин в умовах Стебницького хвостосховища, є актуальною і своєчасною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами.** Дисертаційне дослідження Фецюх Анастасії Богданівни проводилось на кафедрі фізіології та екології рослин Львівського національного університету імені Івана

Франка впродовж 2018 – 2022 років в рамках НДР «Використання енергетичних рослин для фітореMediaції техноземів» (2017–2021) (№ держреєстрації 0117U000893). Частина роботи була проведена на кафедрі лісової мікології та патології рослин Шведського університету сільськогосподарських наук (м. Уппсала, Швеція) в рамках проектів «Development of native rhizosphere community-based microbial consortia (CBC) for crop stress tolerance improvement» (2019–2023) та «Bioremediation of pollution generated by manmade chemicals in the form of industrial activity, agricultural chemicals, or the improper disposal of waste» (2021–2023) за підтримки Шведського інституту (Svenska Institutet, Стокгольм, Швеція).

**Новизна наукових досліджень та їхня значущість для науки.** Дисертанткою вперше визначено комплекс адаптивних морфологічних та фізіологічних реакцій рослин верби прутувидної *Salix viminalis* L. за вирощування на техногенно забрудненому субстраті Стебницького хвостосховища та обґрунтовано доцільність використання цієї рослини для фітореMediaції забруднених ґрунтів. Уперше досліджено сумісний вплив техногенного забруднення Стебницького хвостосховища та ризосферних бактерій солонця трав'янистого *Salicornia europaea* L. на склад ендofітних бактерій коренів *S. viminalis*.

**Практичне значення отриманих результатів.** Дисертанткою доведено можливість використання рослин верби прутувидної *Salix viminalis* L. для фітореMediaції забруднених ґрунтів. Встановлена присутність бактерій, які живуть в екстремальних умовах середовища та відіграють важливу роль у формуванні стійкості рослин до засолення та впливу ВМ.

**Обсяг і структура дисертації.** Дисертаційна робота написана українською мовою і викладена на 182 сторінках. Складається зі вступу, огляду літератури, опису експериментальних об'єктів і методів досліджень, опису результатів та їх обговорення, узагальнення результатів, висновків, списку використаних джерел, додатку з переліком власних публікацій. Матеріали дисертації ілюстровано 10

таблицями та 30 рисунками. Список використаних джерел налічує 293 найменування, з них – 94 кирилицею та 199 латиницею.

**Вступ** написаний відповідно до чинних вимог. У ньому обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання роботи, а також наведено основні положення наукової новизни і практичного значення отриманих результатів.

**У першому розділі** (огляд літератури), який містить чотири підрозділи, розглянуті питання техногенного забруднення та механізми адаптації рослин до токсичних впливів ВМ, обговорено роль мікробіому в адаптації рослин до стресових умов, наведені відомості щодо енергетичних рослин, зокрема *Salix viminalis* L., та їхнього фітореMediaційного потенціалу.

**У другому розділі** (методичному) детально охарактеризовано об'єкти і умови досліджень, дизайн експериментів, наведені методи визначення досліджуваних показників і обробки результатів.

**У третьому розділі**, який складається з 13 підрозділів, представлені результати власних досліджень. Дисертанткою наведені відомості про вплив техногенного забруднення на морфометричні показники *S. viminalis*. Обговорюються результати визначення вмісту водорозчинних солей та ВМ у субстраті та органах *S. viminalis*, можливості використання ендofітних бактерій коренів *S. viminalis* для пом'якшення впливу техногенного забруднення. Для визначення компонентів фізіологічної відповіді рослин проведено вивчення білкової системи, характер накопичення вторинних метаболітів та цукрів, активність антиоксидантних ферментів.

**У четвертому розділі** узагальнено отримані результати та представлено схему впливу техногенного забруднення на морфологічні та фізіологічні показники рослин *S. viminalis*.

**Повнота викладу результатів дисертаційної роботи та наукових положень в наукових публікаціях за темою дисертації.** Наукові публікації за темою дисертаційних досліджень достатньо повно висвітлюють отримані результати – опубліковано 5 праць у фахових виданнях України (категорія Б) та

1 – у міжнародному виданні, що входить до наукометричної бази Scopus. Отримані результати пройшли апробацію на Міжнародних наукових конференціях, за результатами яких опубліковано 13 тез доповідей.

**Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.** Аналіз тексту дисертації свідчить про відсутність порушення автором вимог академічної доброчесності. Використані ідеї і результати інших авторів мають посилання на відповідне джерело, дотримано вимоги норм законодавства про авторське право. У роботі не виявлено ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Для всіх публікацій у співавторстві чітко зазначено особистий внесок дисертанта. Анотація відображає основний зміст дисертаційної роботи. Вона не містить положень чи ідей, що не наведені в основному тексті.

**Пропозиції та зауваження до дисертаційної роботи.** Принципових недоліків у дисертаційній роботі Фецюх Анастасії Богданівни не виявлено. Однак, є окремі запитання та зауваження, зокрема:

Якою була мотивація обрання для досліджень різновікових рослин верби прутувидної? Чи не вплинули різний вік рослин та різні умови вирощування на формулювання узагальнених висновків?

Які були умови вирощування живців верби прутувидної в лабораторії: чи був попередньо прожарений субстрат, якими були інтенсивність і періодичність освітлення, температурний режим, вологість ґрунту і повітря? Чому для поливу рослин в лабораторних умовах впродовж 30 діб використовувалась дистильована вода?

Які компоненти АОС досліджувались в рослинах верби прутувидної на 30 добу вегетації в лабораторних умовах, а які – на 120 добу в польових умовах? У яких зразках живців верби прутувидної досліджувались компоненти АОС: інокульованих ризосферними бактеріями *Salicornia europea* чи неінокульованих?

Дисертантці доцільно було більш детально проаналізувати власні результати про зміни у вмісті фенольних сполук в рослинах верби за умов

техногенного навантаження, враховуючи при цьому біологічні особливості цієї рослини і умови її вирощування. При обговоренні власних результатів потрібно було охопити більший масив сучасних літературних джерел, присвячених вивченню впливу засолення та ВМ на вміст фенолів.

Оскільки дисертантка проводила визначення неферментативних антиоксидантів у зразках верби, що росла в польових умовах, при обговоренні отриманих результатів потрібно було враховувати не лише вплив засолення або забруднення ВМ, а комплекс інших факторів, зокрема перепади температур, освітлення, вологість ґрунту та повітря, активність ґрунтової мікрофлори, присутність патогенів тощо. Якщо ґрунт для лабораторних досліджень не був стерилізований (а це присутність ґрунтової мікрофлори, яка впливає на ріст і розвиток рослин), були перепади температури або освітлення тощо, тоді і вміст антиоксидантних сполук мав змінюватись у відповідь на ці зовнішні чинники.

Потребує уточнення методика визначення білків. На якому приладі проводилось розділення білків і хто автор використаного методу? Якщо це електрофорез за методом Лемлі, потрібно навести посилання та вказати модифікації, які були застосовані. Дисертанткою не вказані режим проведення електрофорезу (години та вольт-амперна характеристика), кількість білку, який наносили у кишеню (це важливо, оскільки нанесення різної кількості білку у кишені чи електрофоретичні лунки унеможлиблює порівняння), і характеристики маркерів. Ілюстративний матеріал низької якості, відсутня денситограма. Тому, висновок щодо пріоритетності результатів вивчення впливу техногенного забруднення на синтез низькомолекулярних стресових білків можна вважати коректним лише для досліджених рослин і досліджених умов.

Цікаві результати були отримані дисертанткою при вивченні ризосферних бактерій *Salix* sp. та їхньої ролі у мобілізації та фітоекстракції мікроелементів на забруднених ґрунтах. Шкода, що поза увагою залишилися розробки вітчизняних фахівців у цій галузі, а також незрозуміла відсутність власних повноцінних публікації на основі викладеного матеріалу.

Для проведення оцінки впливу факторів використовується одно-, дво- або багатфакторний дисперсійний аналіз, який дисертанткою не був проведений. З представлених в роботі результатів не зрозуміло, який з факторів техногенного забруднення (засолення або ВМ) найбільше впливав на морфометричні та фізіологічні показники верби прутувидної в лабораторних і польових дослідженнях. Статистично не показано ступінь впливу факторів техногенного забруднення, на жаль не встановлені кореляційні зв'язки між морфометричними та фізіологічними показниками рослин верби прутувидної і засоленістю ґрунту та забрудненням ВМ. Основні статистичні методи, використані в роботі, носять описовий характер аналізу даних. Використання дисперсійного та кореляційного аналізів значно б доповнило висновки отриманих результатів.

**Загальна оцінка роботи і висновок.** В цілому, за актуальністю, обсягом експериментального матеріалу, його новизною, науковим і практичним значенням, рівнем застосованих експериментальних підходів дисертаційна робота «Фізіологічні аспекти стійкості рослин *Salix viminalis* L. в умовах техногенного забруднення» відповідає встановленим вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, та Вимогам до оформлення дисертації, затвердженим наказом МОН України від 12.01.2017 року № 40, які пред'являються до дисертаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор, Фецюх Анастасія Богданівна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 091 «Біологія».

Доктор біологічних наук, професор,  
завідувачка відділу фітогормонології  
Інституту ботаніки імені М.Г. Холодного  
НАН України

Ірина Косаківська