

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
КРИВОРІЗЬКИЙ БОТАНІЧНИЙ САД

**РЕФЕРАТ НАУКОВОЇ РОБОТИ**

**ФІЗІОЛОГІЧНА СТІЙКІСТЬ РОСЛИН В КУЛЬТУРФІТОЦЕНОЗАХ  
ПРОМИСЛОВИХ МІСТ**

ЗУБРОВСЬКА Ольга Миколаївна – кандидат біологічних наук, молодший науковий співробітник відділу оптимізації техногенних ландшафтів Криворізького ботанічного саду НАН України

Кривий Ріг  
2019

Наукова робота відображена в публікаціях 10 років (2008-2017 рр.) і складається з однієї монографії, 9 наукових статей (в т.ч. 1 у зарубіжному журналі) та 20 тез доповідей. Роботи автора процитовано у більш ніж 28 статтях у наукових журналах, загальний h-індекс = 3. Загальна кількість публікацій автора протягом 2007-2018 рр. – 48.

**Актуальність теми.** Питання стійкості та адаптації рослин за умов антропогенного впливу є одними з головних при розробці асортименту рослин для створення стійких фітоценозів з підвищеною ремедіаційною здатністю, що дозволить мінімізувати екологічні ризики для людини в промислових центрах України з розвиненою металургійною та гірничорудною промисловістю. Тому як у теоретичному, так і практичному сенсі дослідження характеру акумуляції важких металів деревними рослинами, вивчення особливостей формування фізіологічної стресостійкості рослин є актуальним та своєчасним. Одним з показників фізіологічної стійкості рослин у стресових умовах вважається інтенсивність перебігу вільнорадикальних процесів, які проявляються у неспецифічних фізіолого-біохімічних реакціях. Важливу участь у формуванні механізмів фізіологічної адаптації відіграють ліпідні компоненти кутикули листків, кількісні та якісні характеристики яких обумовлюють специфіку розвитку захисних процесів і певною мірою забезпечують фізіологічну стійкість рослин не тільки до дії токсикантів, а і засобів захисту рослин, шкідників та інш. чинників.

**Мета і завдання роботи.** Мета роботи – встановлення видоспецифічності акумуляції важких металів та фізіологічної стійкості деревних рослин культурфітоценозів промислового міста.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

- вивчити динаміку акумуляції нікелю, плюмбуму, кадмію та цинку асиміляційними органами деревних рослин за дії стаціонарних джерел забруднення;

- визначити інтенсивність перебігу процесів пероксидного окиснення ліпідів як неспецифічних реакцій фізіологічної адаптації рослин до стресової дії важких металів на різних стадіях морфогенезу листків;
- встановити особливості функціонування ліпаз в асиміляційних органах деревних рослин за різного рівня забруднення;
- з'ясувати зміни певних складових поверхневого шару кутикули листків різних за стійкістю рослин та особливості їх адаптації за дії важких металів;
- оцінити ступінь стійкості деревних рослин до промислового забруднення та запропонувати асортимент видів для озеленення територій промислових підприємств.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Вперше встановлена видоспецифічність акумуляції Zn, Cd, Pb та Ni в листках деревних рослин на різних стадіях їх морфогенезу. Визначено сумісний вплив промислових викидів на вміст поверхневих ліпідів кутикули листків. Вперше за дії надлишку іонів важких металів показано трансформаційні зміни різноманітних функціональних груп речовин кутикулярного шару листків, що характеризуються новоутворенням/деградацією певних класів сполук та зміною їх кількісного і якісного складу. Вперше доведено роль різних класів терпеноїдів, серед яких перегруповані евдесманові й кадинанові сесквітерпеноїди та фітанові дитерпеноїди – так звані «захисні фактори», у формуванні фізіологічної адаптації листків деревних рослин за дії металовмісних промислових викидів. Вперше у складі поверхневого шару кутикули листків *Tilia cordata* виявлено присутність фітанових дитерпеноїдів, а у листках *Sorbus aucuparia* ідентифіковані сорбінова та парасорбінова кислоти, які раніше знаходили в плодах. У листках *Acer negundo*, *T. cordata* і *Aesculus hippocastanum* виявлено значну кількість стеролів, стигмастанових та ергостанових стероїдів, які разом з терпеноїдами регулюють агрегатний стан поверхневого шару кутикули та його проникність. Отримані дані розширюють уявлення про адаптивні можливості деревних рослин в промислових умовах та вказують на видоспецифічність

проявів фізіологічної стійкості, обумовленої якісними і кількісними змінами компонентів поверхневого шару кутикули листків за стресових умов.

**Практична значимість роботи.** Виявлені фізіолого-біохімічні зміни компонентів поверхневого шару кутикули листків можуть використовуватись для оцінки фізіологічного стану деревних рослин в умовах забруднення середовища важкими металами. Встановлене дозволило розробити асортимент рослин для екологічно-обґрунтованого вдосконалення зелених насаджень промислових міст степової зони України та впровадити результати досліджень на ПрАТ «Криворізький суриковий завод» (м. Кривий Ріг)

Результати досліджень використовуються Департаментом екології та природних ресурсів Дніпропетровської ОДА і Управлінням екології виконкому Криворізької міської ради для подальшого вдосконалення регіональної системи біомоніторингу довкілля Дніпропетровської області, при розробці заходів міської та обласної комплексних програм (стратегій) екологічної безпеки та запобігання змінам клімату, відтворенні біоресурсів та заходів з оптимізації озеленення санітарно-захисних зон підприємств. Крім того, деякі розділи наукової роботи були включені до звітів за фундаментальними темами науково-дослідних робіт, виконаних у Криворізькому ботанічному саду НАН України у 2010-2018 рр., а також використовуються в навчальному процесі на кафедрах ботаніки та екології природничого факультету Криворізького державного педагогічного університету; фізіології та екології рослин біологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка; на кафедрах ботаніки і фізіології рослин, лісівництва Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва, фізіології та біохімії рослин і мікроорганізмів Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна.

Виконана робота інноваційного характеру є актуальною для нашого промислового регіону, тому що дозволяє підвищити середовищестабілізуючі функції зелених насаджень, які виконують роль фітофільтру на шляху розповсюдження забруднювачів з надлишковим вмістом важких металів у довкіллі. Народногосподарська значимість роботи полягає в оптимізації витрат

на виконання робіт з реконструкції зелених насаджень порівняно з існуючими аналогами. Соціальні ефекти роботи – істотне підвищення самоочисної здатності міських ландшафтів та покращення умов проживання населення у промислових центрах України.

**Методи дослідження:** фізіолого-біохімічні (атомно-абсорбційного аналізу, спектрофотометричні, методи тонкошарової і обернено-фазової високоефективної рідинної хроматографії), морфометричні методи оцінки стану насаджень, статистичного аналізу та математичної обробки даних.

**Фізіологічні особливості акумуляції деяких важких металів листками деревних рослин та їх ремедіаційної здатності.** Для оцінки фізіологічної акумуляції важких металів у листках деревних рослин в промислових умовах були визначені показники внутрішньотканинного забруднення. Серед досліджених елементів максимально інтенсивно накопичувався цинк, який є біологічно важливим елементом. Так, на початку морфогенезу листків найвищий показник акумуляції цинку ( $Z_p^n$  33,51) був характерним для *S. aucuparia*. Проте, на наступних етапах розвитку листків темпи його акумуляції уповільнювалися в 2,8 і 4 рази, однак лишалися високими, як і для *P. italica* та *P. bolleana* ( $Z_p^n$  23,07; 11,38 та 9,97; 10,56 відповідно). У *A. hippocastanum* і *B. pendula* на всіх етапах морфогенезу листків коефіцієнти акумуляції металу залишалися найнижчими, що свідчить про видоспецифічність функціонування бар'єрних механізмів. Максимальне внутрішньотканинне забруднення листків нікелем у зоні сильного забруднення встановлене у *A. hippocastanum*, а мінімальне – у *U. laevis*. До того ж на 80-85-ту доби фази завершення росту листків високі показники його акумуляції ( $Z_p^n = 4,52$ ) спостерігалися у *P. deltoides*. У *P. bolleana* і *Populus italica* інтенсивно накопичувався плумбум (показники перевищували контроль в 5-8 разів), тоді як у *T. cordata* і *A. hippocastanum* його рівень був найнижчим. На початку морфогенезу листків високі значення акумуляції кадмію встановлені у *B. pendula* і *S. aucuparia*. На наступних етапах дослідження він найактивніше концентрувався у *S. aucuparia*, *P. italica* і *T. cordata* ( $Z_p^n = 6,61-7,54$ ).

Досліджені види було поділено на три групи: з високим акумуляційним потенціалом більшості металів (перевищує фоновий рівень у понад 5 разів) – *P. bolleana*, *P. italica* і *S. aucuparia*; з середнім акумуляційним потенціалом (від 3 до 5 разів) – *P. deltoides*, *T. cordata* і *A. negundo*; з низьким акумуляційним потенціалом (до 2,5 разів) – *A. hippocastanum*, *U. laevis* і *B. pendula*.

**Характер початкових етапів фізіологічного стресового відгуку рослин за дії аерогенних викидів з вмістом важких металів.** Акумуляція вивчених елементів у деревних видів індукувала розвиток окиснювального стресу, показниками інтенсивності якого вважаються дієнові і триєнові кон'югати та ТБК-активні продукти. На початку морфогенезу листків *P. italica* і *S. aucuparia* забруднення спричинювало зростання в 1,2-1,3 раза вмісту дієнових кон'югатів та в 1,3-1,6 рази триєнових. У видів з середнім акумуляційним потенціалом (крім *P. deltoides*) початкові етапи стресового відгуку реалізувалися через підвищення в 1,7 раза кількості триєнових кон'югатів. Тоді як у видів з низьким коефіцієнтом біологічної акумуляції, як правило, рівні первинних продуктів пероксидації перевищували показники контролю до 16%. На нашу думку, це свідчить про активацію систем антиоксидантного захисту та поглиблення стресового впливу із зростанням утворення вторинних продуктів, в тому числі і ТБК-активних сполук.

**Інтенсивність пероксидного окиснення ліпідів у клітинах різних за стійкістю рослин при дії важких металів.** Довготривалий вплив несприятливих чинників довкілля в умовах зони сильного забруднення викликав глибший стресовий відгук. Мінімальний (перевищував контроль до 2,0 разів) вміст вторинних продуктів пероксидного окиснення ліпідів був виявлений у видів з високим і середнім акумуляційним потенціалом (*P. bolleana*, *P. italica*, *S. aucuparia*, *T. cordata* і *A. negundo*). Тоді як у видів з низькою акумуляційною здатністю (*A. hippocastanum*, *U. laevis* і *B. pendula*) кількість ТБК-активних сполук у листках збільшувалася до 3,9 раза. У видів, які здатні акумулювати більше токсикантів, встановлене, скоріш за все, реалізується через інтенсифікацію роботи низькомолекулярних антиоксидантів

і може обумовлювати підвищення їх фізіологічної стійкості в умовах забруднення.

**Зміни вмісту основних ліпідних компонентів у складі кутикули листків як фактору фізіологічної стійкості рослин.** Тривала дія металовмісних поллютантів не тільки призводила до істотних порушень фізіолого-біохімічних процесів, але й активувала адаптаційні зміни у листках деревних рослин за участю складових поверхневого шару кутикули. В процесі пристосування рослин до факторів довкілля відбувався біосинтез нових ліпідних компонентів, які впливали на зміну гідрофобності шару кутикули. Так, у складі поверхневих ліпідів листків *B. pendula* з'являлися стероли, а у *P. deltoides* – тригліцериди. Крім того, у відповідь на вплив токсикантів у *B. pendula* і *S. aucuparia* ідентифікувалися вільні жирні кислоти, а у *P. deltoides* їх кількість підвищувалася на 7%, що, ймовірно, обумовлене гідролізом на 6-8% фосфоліпідів і дигліцеридів, чи посиленням процесів пероксидації.

В промислових умовах протягом фази завершення росту листків у видів з високим та середнім акумуляційним потенціалом (*P. italica*, *S. aucuparia*, *A. negundo* і *T. cordata*) у поверхневому шарі кутикули листків на 5-10% зростав рівень фосфоліпідів. Вміст дигліцеридів в асиміляційних органах більшості видів знизився до 6%, тоді як у *P. deltoides* виявлено редукцію їх кількості на 98%. У *A. hippocastanum* і *P. deltoides* на 3% зменшувалася рівень етерів стеролів, що, вочевидь, вказує на порушення процесу етерифікації і, як наслідок, пошкодження кутикули. Виявлені зміни вмісту та складу поверхневих ліпідів свідчать про особливості систем регуляції й інтеграції окремих елементарних реакцій, які в подальшому можуть реалізуватися на рівні функції стійкості організмів до дії промислового забруднення.

**Активність ліпаз в асиміляційних органах деревних рослин за різного рівня забруднення.** У інтактних рослин інтенсивність функціонування ліпаз зумовлена переважно їхніми лужними формами. Надлишковий вміст важких металів призводив до інгібування активності кислих форм ферменту в більшій мірі у видів з низьким акумуляційним потенціалом.

**Аналіз полярних складових поверхневого шару кутикули листків деревних рослин за впливу промислових викидів з вмістом важких металів.** У поверхневому шарі листків *S. aucuparia* вперше ідентифіковані сорбінова і парасорбінова кислоти, які до цього знаходили в плодах. Доведено, що надлишок важких металів у видів з високим акумуляційним потенціалом призводив до суттєвих змін високополярних вторинних метаболітів у складі поверхневого шару кутикули листків. Так, у *P. italica* кількість *meta*-тополіну зростала більш, ніж у 200 разів, тоді як у *S. aucuparia* рівень сорбінової і парасорбінової кислот навпаки зменшувався в понад 7 разів. В промислових умовах незначне зниження рівня терпеноїдів у обох видів свідчило про відносну стабільність поверхневого шару кутикули. Проте, більший вміст та різноманітніший спектр цих сполук притаманний *S. aucuparia*. Для *A. negundo* і *T. cordata* встановлено зменшення до 1,5 раза рівня стеролів та збільшення терпеноїдів і флавоноїдів у 8 і 3,5 разів відповідно. Причому останні вважають універсальними фізіологічними адаптогенами до дії будь-яких стресорів.

За стресових умов у видів з низьким акумуляційним потенціалом (*A. hippocastanum* і *B. pendula*) у 1,5-2,0 раза знижувався рівень терпеноїдів і флавоноїдів. Такі зміни у складі поверхневого шару кутикули розглядаються як показник адаптивних можливостей видів до різноманітних стресорів і, певною мірою, пояснюють меншу стійкість зазначених видів до дії забруднювачів.

**Оцінка стійкості деревних рослин за морфологічними ознаками при дії комплексного забруднення важкими металами.** Дослідження механізмів фізіологічної стійкості на рівні вільнорадикальних процесів та змін складу поверхневого шару кутикули листків деревних видів в умовах забруднення реалізовувались і на рівні морфофізіологічних реакцій рослин. За різного рівня забруднення у *P. bolleana*, *P. italica*, *A. negundo* і *T. cordata* ураження асиміляційних органів хлорозами та некрозами не перевищувало 10-15% їх площі, зрідженість крони становила 10-28%, сумарний бал ураження не перевищував 1,5, а понад 90% екземплярів мали стійкий якісний стан. Дані види з високим і середнім акумуляційним потенціалом та незначною



інтенсивністю процесів пероксидації доцільно рекомендувати для формування санітарно-захисних зон ПрАТ «Криворізький суриковий завод». Натомість, у *P. deltoides*, *S. aucuparia*, *U. laevis*, *A. hippocastanum* і *B. pendula* 25-40% площі листків були уражені некрозами і хлорозами, на стовбурах зустрічалися на 20-25% більші за розмірами морозобоїни, скелетні гілки ушкоджувалися судинними гнилями, а зрідженість крони сягала понад 30%. Від 30 до 60% особин характеризувалися нестійким якісним станом, сумарним балом ушкоджень до 2,2 і знаходилися на різних стадіях відмирання чи були значно пригнічені. Насадження з таких видів (переважно з низьким рівнем біологічної акумуляції важких металів) потребують часткової або повної реконструкції.

### Висновки

1. На основі системного аналізу метаболічних трансформацій компонентного складу ліпідів поверхневого шару кутикули листків, процесів пероксидного окиснення ліпідів, активності ліпаз та рівня ушкодження рослин встановлена видоспецифічність формування фізіологічної стійкості деревних видів на промислове забруднення.

2. За рівнем акумуляції Zn, Ni, Pb і Cd у листках дослідні види розділені на три групи: I – з високим акумуляційним потенціалом (*P. bolleana*, *P. italica* і *S. Aucuparia*); II – з середнім акумуляційним потенціалом (*P. deltoides*, *T. cordata* і *A. negundo*); III – з низьким акумуляційним потенціалом (*A. hippocastanum*, *U. laevis* і *B. pendula*).

3. За сильного рівня забруднення у видів з високим і середнім акумуляційним потенціалом вміст ТБК-активних сполук зростав до 2,0 разів, тоді як у видів з низьким рівнем акумуляції токсикантів – до 3,9 разів, що і обумовлювало вищу фізіологічну стійкість перших двох груп видів.

4. Зростання вмісту фосфоліпідів, етерів стеролів і вільних жирних кислот, на тлі зменшення частки ди- і тригліцеридів у видів і високим та середнім акумуляційним потенціалом свідчить про видоспецифічність систем регуляції окремих елементарних реакцій, які в подальшому реалізуються у формуванні стійкості організмів до дії промислового забруднення.

5. Доведено, що у видів з низьким акумуляційним потенціалом посилення процесів пероксидації призводило до інгібування активності кислих форм ліпаз у 2,3-2,6 рази, а у більш стійких видів – навпаки до їх активації майже в 2 рази, тоді як активність лужних ліпаз зменшувалась на 20%.

6. Вперше у складі поверхневого шару кутикули листків *T. cordata* ідентифіковані фітанові дитерпеноїди, а у *S. aucuparia* – сорбінова і парасорбінова кислоти, які раніше знаходили в плодах. У *A. negundo*, *T. cordata* і *A. hippocastanum* виявлено значну кількість стигмастанових і ергостанових стероїдів, терпеноїдів і стеролів, які регулюють агрегатний стан шару кутикули.

7. У видів з високим акумуляційним потенціалом вплив політантів викликав збільшення рівня сполук з високою антиоксидантною активністю: у *P. italica* до 9 разів простих ароматичних сполук і фенолів, а у *S. aucuparia* до 1,8 разів флаван-3-,4-олів і проантоціанідинових флавоноїдів.

8. Вперше показана роль терпеноїдів, як складових кутикулярного шару, у формуванні фізіологічної адаптації листків деревних рослин за дії важких металів. У видів з середнім акумуляційним потенціалом загальною особливістю було збільшення до 3 разів флавоноїдів і до 8 разів терпеноїдів (за рахунок їх видоспецифічних складових) та зменшення до 1,5 разів рівня стеролів. Тоді як у видів з низьким акумуляційним потенціалом вміст терпеноїдів і флавоноїдів знижувався в 1,5-2,0 раза.

9. За стійкістю насаджень деревні рослини в промислових умовах розділені на дві групи. До першої, з сумарним балом ураження асиміляційних органів, гілок і стовбуру, що не перевищує 1,5, належать *P. bolleana*, *P. italica*, *A. negundo* і *T. cordata*. Другу складають види із сумарним балом ушкоджень до 2,2 (*P. deltoides*, *S. aucuparia*, *U. leavis*, *A. hippocastanum* і *B. pendula*). Їхні насадження потребують часткової або повної реконструкції. В умовах сильного забруднення важкими металами в озелененні території рекомендовано використовувати види першої групи.