

ДЕЯКІ ФІЗІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТІЙКОСТІ ГІБРИДІВ ТОПОЛЬ В УМОВАХ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

© 2021 р. О. М. Данильчук¹, В. М. Гришко¹, Н. Ф. Павлюкова²

¹Криворізький ботанічний сад НАН України
(Кривий Ріг, Україна)

E-mail: vitgryshko@i.ua

²Дніпровський державний аграрно-економічний університет
(Дніпро, Україна)

Однією з основних проблем сучасної біології є виявлення впливу на рослинні організми екологічних стресорів. Дослідження адаптивних змін фізіологічних процесів, що відбувається за їх впливу, дозволяє встановити фізіологічну пластичність видів та визначити перспективи виживання і продуктивності рослин. Зазначене є науковим підґрунтям перспективності використання різних за стійкістю до дії певних стресових факторів, зокрема важких металів, таксонів в господарській діяльності людини. На сьогодні лишається поза увагою визначення впливу комплексного забруднення на фізіолого-біохімічні процеси в рослинах та їх стійкість. На нашу думку, серед деревних рослин перспективними об'єктами таких досліджень є тополі (Кулагин, 2007; Данильчук, Гришко, 2012). Тому метою роботи було оцінити особливості транслокації іонів важких металів до листків тополь та встановлення специфіки розвитку окислювальних процесів в тканинах листків за надлишкового вмісту в ґрунті комплексу сполук важких металів.

Укорінені живці *Populus italica* (DuRoi) Moench, *P. deltoides* Marsh., *P. simonii* Corr., *P. candicans* Ait., висаджені у контейнери 0,7 л, поливали водопровідною водою та 1 раз на тиждень протягом 2-х місяців сумішшю сполук важких металів у перерахунку на іон металу в концентраціях 1, 5 і 10 гранично допустимих концентрацій (ГДК). Для нікелю ГДК становила 3 мг/кг ґрунту, купруму – 3, цинку – 23, плумбуму – 30, кадмію – 4. Як джерела важких металів використовували наступні сполуки CdSO_4 , $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$, CuSO_4 , ZnSO_4 , $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}\cdot\text{Pb}(\text{OH})$. Контрольні рослини не зазнавали дії важких металів і поливались водопровідною водою. Рослини вирощували при природному рівні освітленості і температурі +25–30°C. Визначення вмісту металів в листках, дієвих кон'югатів, тіобарбітурової кислоти (ТБК)-активних продуктів та пігментів проводили загальноприйнятими методами (Паршикова, 2010, Мусієнко, 2012).

Встановлено, що в асиміляційних органах тополь за дії всіх трьох концентрацій суміші сполук важких металів рівень накопичення токсикантів вищий, ніж за умов контролю. Найбільша кількість іонів купруму серед досліджених видів тополь за умов дії важких металів міститься в листках *P. candicans*. Так, в органах асиміляції зазначеного виду іонів купруму акумулюється, за дії мінімальної концентрації на 10-22%, за дії 5 ГДК – на 26-47% і за максимальної – в 1,6-2,2 раза більше, ніж у *P. italica*, *P. deltoides* та *P. simonii* за аналогічних варіантів досліду. Найінтенсивніше відбувається транслокація нікелю до листків *P. candicans* та *P. simonii*, рівень накопичення якого за низької концентрації в 2,6, а за найбільших в 4,1-4,6 раза, перевищував показники контролю.

Як відомо, іони цинку, плумбуму та кадмію належать до високонебезпечних для рослин елементів. В результаті досліджень процесів транслокації вищезазначених іонів до різних органів тополь встановлено певну видоспецифічність. Серед видів тополь за умов контролю, найбільшим акумулятором плумбуму (12,0 мг/г сухої речовини) та кадмію (5,3 мг/г сухої речовини) в асиміляційних органах є *P. simonii*, тоді як транслокація іонів цинку та кадмію до листків найбільш інтенсивно відбувається у *P. italica* і *P. deltoides*. Так, в органах асиміляції останніх за дії 1 ГДК іонів цинку акумулюється в 1,3–3,2 рази більше, ніж за аналогічних умов досліду у *P. simonii* та *P. candican*.

За дії суміші важких металів 5 та 10 ГДК в асиміляційних органах *P. italica* і *P. deltoides* вміст іонів цинку був в середньому в 2,4 і 2,9 раза більшим, ніж у *P. simonii* і *P. candicans*, відповідно. Таким чином, підвищення концентрацій діючої речовини токсикантів у субстраті для вирощування дослідних рослин та відповідне збільшення вмісту рухомих форм іонів цинку, плумбуму та кадмію призводить до суттєвої акумуляції цих елементів в асиміляційних органах тополь.

Найвищі темпи транслокації купруму та нікелю до листків встановлено у *P. simonii*, кадмію – у *P. italica*, а плумбуму – у *P. deltoides*. При обговоренні отриманих даних слід враховувати, що

різний рівень стійкості рослин до дії іонів важких металів може зумовлюватися певною інтенсивністю перебігу вже початкових процесів поглинання їх рослинами. За Ж.З. Гуральчук (2006), надходження важких металів у рослинні організми відбувається у наступні основні етапи: збагачення іонами вільного простору апопласту (за рахунок обмінної адсорбції, дифузії та пасивної фізико-хімічної адсорбції); подолання мембранного бар'єру – проникнення іонів у симпласт; радіальне пересування тканинами кореня і судинних провідних пучках до листків. Найбільші темпи накопичення високонебезпечних важких металів характерні для *P. italica* та *P. deltooides*.

Тобто, види тополь можна поділити на дві групи. До першої належать види з високим рівнем акумуляції іонів цинку, плюмбуму та кадмію (*P. italica* та *P. deltooides*), а до другої (*P. simonii* і *P. candicans*) – з низьким рівнем. Водночас отримані результати модельних експериментів дозволяють припустити, що у *P. italica* та *P. deltooides*, ймовірно, існують певні фізіолого-біохімічні механізми, які зумовлюють більшу акумуляцію високонебезпечних елементів, тоді як менш токсичних металів для рослин вони накопичують менше.

Наявні літературні дані свідчать, що першою стрес-відповіддю на дію будь якого токсиканту чи стрес-фактору в органах асиміляції рослин є порушення антиоксидантного статусу клітини, що призводить до інтенсифікації вільнорадикальних процесів і збільшення продуктів пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ). Вважається, що супероксид-радикал майже не проникає через біомембрани. Хоча відомо, що при низьких значеннях рН $O_2^{\bullet-}$ протонується в форми гідропероксид-радикала і, таким чином, може проходити через мембранні бар'єри (Колупаєв, Карпец, 2014). Цей радикал також надзвичайно активний хімічно і взаємодіє з більшістю органічних молекул. Діючи на SH-групи, гістидинові і інші амінокислотні залишки білків, HO^{\bullet} викликає денатурацію останніх та інактивує ферменти. У ліпідному шарі клітинних мембран він ініціює реакції ланцюгового окислення ліпідів (підвищення рівня ТБК-активних продуктів), що призводить до пошкодження мембран, порушення їх функцій.

За внесення суміші сполук важких металів у концентрації 1 ГДК уміст дієвих кон'югатів у *P. italica* та *P. deltooides* збільшується в 2,2-2,3 рази. Зі збільшенням концентрації сполук в ґрунті до 5 ГДК встановлено збільшення до 4 разів, а при 10 ГДК – в середньому в 9 разів відносно контролю. В той час як у *P. simonii* та *P. candicans*, вирощуваних при мінімальній концентрації важких металів, їх кількість збільшувалася в 3,8 рази, при 5 ГДК – в 8,5 та 10 ГДК – більше, ніж у 14 разів. Водночас зі зростанням концентрації металів у ґрунті відбувається подальше накопичення в листках тополь не тільки первинних продуктів пероксидного окиснення, а й проміжних та кінцевих. Так, під впливом мінімальної концентрації важких металів уміст дієних кон'югатів в асиміляційному апараті *P. italica* і *P. deltooides* підвищується в середньому в 2,3, тоді як у варіанті досліду за внесення 5 ГДК – в 4,5 та 10 ГДК – в 8,5 разів. Кількість вищезгаданого продукту ПОЛ *P. simonii* і *P. candicans* у аналогічних варіантах досліду збільшується в 3, 6,9 і 14 разів, відповідно. Порівнюючи значення абсолютних величин, можна констатувати, що вміст ТБК-активних продуктів більш інтенсивно зростає у видів секції *Tacamahaca*, ніж у видів секції *Aegerus*. За дії максимальної концентрації суміші сполук важких металів концентрація одних з кінцевих продуктів процесу ПОЛ в середньому на 36% більша у видів першої групи, ніж останньої.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що в контрольному варіанті дослідів найбільший уміст хлорофілу *a* притаманний асиміляційному апарату *P. deltooides*. Так, його кількість у 1,4-1,9 рази перевищувала таку у *P. simonii* та *P. candicans*. Водночас під впливом іонів важких металів встановлена вище тенденція змінюється. За дії сполук важких металів у концентрації ГДК найбільша його кількість встановлена у *P. simonii* (0,16 мг/г с.р.), а за вирощування рослин при 10 ГДК важких металів – у *P. italica*. Результати дослідів дозволяють констатувати, що під впливом мінімальних концентрацій важких металів у листках *P. simonii* і *P. italica* вміст хлорофілу *a* зменшується на 24-39%, тоді як у *P. deltooides* та *P. candicans* – на 47-59% відносно контролю. За дії важких металів 5 ГДК його кількість у листках *P. simonii* і *P. italica* зменшується відносно контролю в середньому в 2,4 рази. В той час у *P. candicans* і *P. deltooides* – в 3,8 і 4,8 рази відповідно. Під впливом сполук важких металів у максимальній концентрації найменше зменшення його вмісту (в 3 рази) відбувається у *P. italica*, тоді як в листках *P. deltooides*, *P. candicans* та *P. simonii* – в 5,3-9,7 рази.

Незважаючи на те, що хлорофілу *a* належить провідна роль в процесах фотосинтезу, функціонування фотосинтетичного апарату забезпечують й інші компоненти пігментної системи (Головач, 2006). Вивчення змін вмісту хлорофілу *b* видами тополь свідчить, що у *P. italica* та *P. candicans* під впливом мінімальної концентрації сполук важких металів його вміст, у порівнянні з контролем, зменшувався в 1,4 рази. В той час, як кількість хлорофілу *b* в листках *P. deltooides* і

P. simonii була меншою в 1,7 і 2,3 рази відповідно. Проте необхідно констатувати, що за дії важких металів у максимальних концентраціях у вищезазначених видів відбувається менше відносне зниження вмісту хлорофілу *b*. Так, в листках *P. deltoides* і *P. simonii* його кількість була в 5 разів нижчою, ніж у контролі, а у *P. italica* та *P. candicans* – у понад 7 разів. Аналогічна динаміка спостерігається і в зменшенні суми хлорофілів *a* і *b*.

За результати виконаних модельних експериментів можна констатувати, що під впливом сполук важких металів у максимальних концентраціях найменшими темпами зменшується вміст хлорофілу *a* в органах асиміляції *P. italica*, тоді як хлорофілу *b* – у *P. simonii*.