

О.І. ЩЕРБАЧЕНКО

Інститут екології Карпат НАН України
вул. Стефаника, 11, Львів, 79000

**ВПЛИВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА МОРФО-ФІЗІОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ
ТА РОЗВИТОК АДАПТИВНИХ РЕАКЦІЙ У МОХІВ**

ключові слова: мохи, свинець, кадмій, регенераційна здатність, адаптація
key words: mosses, lead ions, cadmium ions, regeneration ability, adaptation

O.I. SCHERBACHENKO

**INFLUENCE OF HEAVY METALS IONS ON THE MORPHOFUN-
TIONAL PROCESSES AND ADAPTATION DEVELOPMENT IN MOSSES**

Institute of Ecology of the Carpathians N.A.S. of Ukraine
11 Stefanyk Str., Lviv, 79000

The capability of *Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst. moss to adapt for effect of lead and cadmium ions has been confirmed experimentally. Durable spraying of the shoots with 0,1–100,0 μm $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ and 0,01–10,0 μm CdCl_2 solutions activated the regeneration of isolated leaves under 0,1–1,0 μm Pb^{2+} and under 0,01–1,0 μm Cd^{2+} . The conclusion that adaptation of the investigated moss for influence of lead and cadmium ions occurs in different range of concentration, which is wider for Cd^{2+} than for Pb^{2+} , was drawn.

Проблема адаптації живих організмів до умов природного середовища набула особливої актуальності у зв'язку з посиленням впливу техногенного забруднення. Адаптацію розглядають як процес і результат підвищення стійкості рослин до дії зовнішніх і внутрішніх стресорів [4; 10] і як пристосування будови та функцій організму, спрямованих на збереження життєздатності у змінених умовах середовища [11; 3]. Завдяки адаптації зростає толерантність, або знижується чутливість організму до повторної дії стресових чинників [9].

Забруднення атмосфери, води та ґрунтів важкими металами, як потужний екологічний фактор, суттєво лімітує життєдіяльність багатьох рослин і їх угруповань, що підтверджується фізіологічними та біохімічними змінами на усіх рівнях структурної організації – клітинному, організмівому та популяційному [7]. Важливого значення на рівні організму набувають дослідження морфо-фізіологічних реакцій, які з'являються під час адаптації рослин до дії поллютантів [4].

Мохоподібним властивий широкий спектр адаптивних реакцій до дії екологічних факторів (вологості, світла, температури, хімізму субстрату), а водний режим може бути вирішальним для їх життєвої стратегії. Завдяки простоті анатомо-морфологічної будови та способу мінерального живлення, мохи здатні поглинати вологу та поживні речовини усією поверхнею тіла, нагромаджуючи їх у підвищених концентраціях, і тому вони є достатньо чутливі до вмісту токсичних речовин. Відомості про вплив важких металів на життєдіяльність мохів перезволожених місцезростань є нечисленними, хоча

їх висока регенераційна та поглинальна здатність, невибагливість до умов живлення свідчать про перспективність застосування цих рослин як для тестування водного та повітряного середовищ, так і для моделювання цих процесів у лабораторних умовах [2; 8]. З огляду на це, метою нашої роботи було проаналізувати вплив іонів свинцю і кадмію на морфо-фізіологічні процеси та розвиток адаптивних реакцій у гігрофітного моху *Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst.

Об'єкти та методи досліджень

У лабораторних дослідженнях використовували матеріал, який отримали шляхом регенерації моху *D. aduncus*, зібраного в природі. Рослини росли у горщиках із простерилізованим піском у контрольованих умовах освітлення ($2,0 \pm 0,2$ тис. лк.) і температури (20°C) за 16-годинного світлового режиму [2].

Для дослідження здатності мохів адаптуватися до впливу важких металів, культури обприскували один раз на тиждень упродовж 2-3 місяців: контрольні – розчином Кнопа (1:5), дослідні – розчином Кнопа з $0,1-100,0$ мкмоль/л $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ і $0,01-10,0$ мкмоль/л CdCl_2 . Після цього з пагонів відокремлювали листки та пересаджували на середовища з металами. Через 10 днів аналізували їх регенерацію [6]. Для порівняння регенераційної здатності ізольованих листків мохів розраховували індекс толерантності як відношення кількості регенерантів пагонів, які утворилися на середовищі з металом, до кількості регенерантів у контролі [12]. Результати досліджень опрацьовували статистично [5].

Результати досліджень та їх обговорення

Гальмування ростових процесів мохів, що є одним із перших симптомів інтоксикації, призводить до зниження темпів репродукції. Проникаючи у клітини, іони важких металів можуть призводити до сповільнення ростових процесів унаслідок зниження інтенсивності клітинних поділів і зміни співвідношення клітин в окремих фазах мітозу [6].

Аналіз впливу Pb^{2+} і Cd^{2+} на ріст моху *D. aduncus* показав, що даний вид чутливо реагує на наявність важких металів у субстраті. Pb^{2+} і Cd^{2+} негативно впливали на розвиток пагонів моху, змінюючи характер росту, спричиняючи швидке побуріння листків, а також посилений розвиток ризоїдів, порівняно з контролем (Табл. 1).

Свинець у концентраціях $10,0-100,0$ мкмоль/л і кадмій – $1,0-10,0$ мкмоль/л пригнічували ріст і диференціацію протонеми та, загалом, розвиток мохової дернинки. За впливу $100,0$ мкмоль/л Pb^{2+} і $10,0$ мкмоль/л Cd^{2+} спостерігалось гальмування регенерації *D. aduncus*, некроз клітин і швидке відмирання листків.

Значні відмінності у досліджуваних зразках спостерігалися і під дією нижчих концентрацій свинцю ($1,0$ і $10,0$ мкмоль/л), під впливом яких змінювалося забарвлення листків та з'являлися некротичні плями. У зразках, вирощених на середовищах із $0,01-0,1$ мкмоль/л CdCl_2 не простежувалися істотні візуальні зміни, однак іони кадмію суттєво сповільнювали диференціацію клітин. Це свідчить про вищу чутливість зразків моху до впливу Cd^{2+} не лише на рівні ростових, а й морфогенетичних процесів. Проте,

в обидвох випадках спостерігалось зростання активності ростових процесів із зменшенням концентрації важких металів у субстраті.

Таблиця 1.

Вплив важких металів на ріст пагонів моху *Drepanocladus aduncus*

Вміст металу, мкмоль/л	Pb ²⁺			Cd ²⁺		
	Розміри листка, мм		Довжина пагонів, см	Розміри листка, мм		Довжина пагонів, см
	Довжина	Ширина		Довжина	Ширина	
Контроль	2,64±0,5	0,78±0,1	9,74±1,3	2,64±0,5	0,78±0,1	9,74±1,3
0,01	—	—	—	2,61±0,5	0,35±0,1	9,03±1,7
0,1	1,71±0,5	0,41±0,4	9,01±1,4	2,09±0,9	0,31±0,8	8,21±1,1
1,0	1,79±0,9	0,36±0,8	9,21±1,1	1,74±0,9	0,26±0,2	6,02±0,6
10,0	1,54±0,9	0,29±0,2	8,02±0,5	1,58±0,2	0,19±0,3	5,30±0,2
100,0	1,28±1,2	0,20±0,3	6,53±1,2	—	—	—

Зниження регенераційної активності моху під впливом Pb²⁺ і Cd²⁺ корелювало зі зміною форми клітин, зменшенням їх довжини та зростанням діаметру, що позначалося на загальному вигляді рослин. У літературі [1; 3] описані подібні зміни морфологічних ознак (зменшення розмірів листків, затримка росту, переважання розвитку кореневої системи над надземною) під дією важких металів, унаслідок чого квіткові рослини набувають ознак, які вважають виявом адаптації організму до стресових ситуацій.

Для дослідження розвитку адаптації, з пагонів мохів, які обприскували розчинами металів, відокремлювали листки та пересаджували їх на середовища з різними концентраціями Pb²⁺ і Cd²⁺. Ізольовані листки моху *D. aduncus* у лабораторних умовах регенерували протоневою і/або листкостебловими пагонами. Листки контрольних варіантів (без обробітку) найкраще регенерували на середовищах без важких металів або з низьким їх вмістом (0,01–1,0 мкмоль/л). За таких умов на протонемних регенерантах швидко формувалися бруньки гаметофорів. Формування бруньок було найактивнішим у контролі і поступово знижувалося зі зростанням вмісту металів у середовищі. Крім того, у дослідних варіантах *D. aduncus* частіше, ніж у контрольних, столони росли вверх і піднімалися над субстратом, що, мабуть, можна розглядати як негативний хемотаксис на токсичну дію важких металів. Виявилось, що обробіток моху 0,1–1,0 мкмоль Pb²⁺ активував регенерацію ізольованих листків на концентраціях 0,1–1,0 мкмоль/л металу у середовищі (Рис. 1).

Тривале обприскування пагонів моху 0,01 і 1,0 мкмоль/л Cd²⁺ сприяло підвищенню регенераційної здатності листків на концентраціях 0,01–1,0 мкмоль/л металу у середовищі (Рис. 2). 100,0 мкмоль/л Pb²⁺ і 10,0 мкмоль/л Cd²⁺ виявилися сублетальними для регенерації листків моху *D. aduncus* і не сприяли розвитку адаптивних реакцій. Очевидно, що ці концентрації іонів металів перевищували потенційні можливості *D. aduncus* до адаптації.

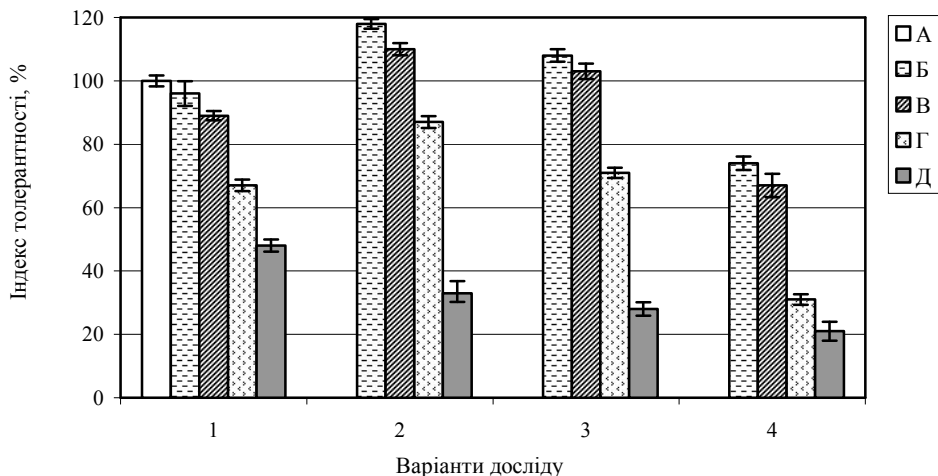


Рис. 1. Вплив післядії свинцю (2-4 варіанти дослідів) на індекси толерантності (%) ізолюваних листків моху *Drepanocladus aduncus*, пересаджених на середовище зі свинцем у концентрації: 1 – контроль; 2 – 0,1 мкмоль/л; 3 – 1,0 мкмоль/л; 4 – 10,0 мкмоль/л. Вміст $Pb(NO_3)_2$, мкмоль/л: А – контроль; Б – 0,1; В – 1,0; Г – 10,0; Д – 100,0.

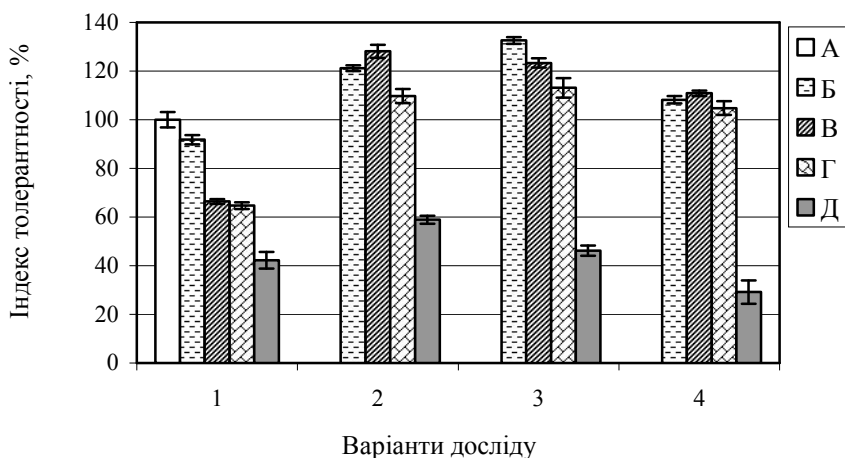


Рис. 1. Вплив післядії кадмію (2-4 варіанти дослідів) на індекси толерантності (%) ізолюваних листків моху *Drepanocladus aduncus*, пересаджених на середовище з кадмієм у концентрації: 1 – контроль; 2 – 0,01 мкмоль/л; 3 – 0,1 мкмоль/л; 4 – 1,0 мкмоль/л. Вміст $CdCl_2$, мкмоль/л: А – контроль; Б – 0,01; В – 0,1; Г – 1,0; Д – 10,0.

Підсумовуючи отримані дані, можна стверджувати, що обприскування листкостеблових пагонів *D. aduncus* розчинами 0,1–100,0 мкмоль/л $Pb(NO_3)_2$ активувало регенерацію ізолюваних із них листків на середовищах з 0,1–1,0

мкмоль/л концентраціями металу, а обприскування розчинами 0,01–10,0 мкмоль/л CdCl_2 – на середовищах із 0,01–1,0 мкмоль/л. Таким чином, адаптація досліджуваного виду моху до токсичної дії важких металів відбувається у вузькому діапазоні концентрацій, який для кадмію є на порядок вищий, ніж для свинцю. Особливості адаптації *D. aduncus* суттєво залежать від токсичності досліджуваних металів. Імовірно, що адаптація мохів до токсичної дії катіонів здійснюється шляхом мобілізації внутрішніх резервів організму на подолання дії несприятливих факторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гуральчук Ж.З. Механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам // Физиология и биохимия культ. растений. – 1994. – 26, № 2. – С. 107-117.
2. Демків О.Т., Ситник К.М. Морфогенез архегоніат. – К.: Наук. думка, 1995. – 203 с.
3. Жученко А.А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические основы). – Кишинев: Штиинца, 1988. – С. 323-338.
4. Коцюбинська Н.П. Загальні механізми адаптації рослин до негативних чинників різного походження. – Фізіологія рослин на межі тисячоліть. – Т. 2. – Київ, 2001. – С. 60-67.
5. Лакин Г.Ф. Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. вузов. – 4-е изд. – М.: Высш. школа, 1990. – 352 с.
6. Лобачевська О.В., Демків Л.О., Кардаш О.Р. Вплив свинцю на ріст і розвиток мохів // Укр. ботан. журн. – 1992. – 49, № 2. – С. 50-56.
7. Феник С.И., Трофимьяк Т.Б., Блюм Я.Б. Механизмы формирования устойчивости растений к тяжелым металлам // Успехи совр. биологии. – 1995. – 115, № 3. – С. 261-275.
8. Щербаченко О.І. Мох *Drepanocladus aduncus* (Hedw.) Warnst. як перспективний вид для біоіндикації забруднення природного середовища // Онто-генез рослин у природному та трансформованому середовищі. Фізіолого-біохімічні та екологічні аспекти: Тези доп. II міжнародної наукової конференції (м. Львів, серпень 2004 р.). – Львів, 2004. – С. 337.
9. Расуна J.M. Estimation of the atmospheric emission of trace elements from anthropogenic sources in Europe // Atmospheric Environment. – 1984. – 18, 1. – P. 41-50.
10. Taylor G.I. Exclusion of metals from the tolerance in higher plants // J. Plant. Nutr. – 1987. – 10, № 9-16. – P. 1213-1222.
11. Rao D.N. Responses of bryophytes to air pollution // Bryophyte ecology. London, 1982. – P. 445-471.
12. Wilkins D.S. The measurement of tolerance to edaphic factors by means of root growth // New Phytol. – 1978. – 80, № 3. – P. 623-633.