

ОСОБЛИВОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ МІДІ ТА СВИНЦЮ У РОСЛИНАХ ВОДОЙМ

Вітовецька Т. В.

Київський національний університет будівництва і архітектури
просп. Повітряних Сил, 31, 03037, Київ, Україна

E-mail: Vitovetskaya@ukr.net

Анотація. Встановлено особливості накопичення та впливу різних концентрацій міді і свинцю у водному середовищі на життєвість *Ceratophyllum demersum*, зокрема на стан його пігментної системи, а також оцінка його акумулятивної здатності щодо цих металів та можливості використання для фіторе mediaції природних і стічних вод, забруднених Cu і Pb.

Ключові слова: мідь, свинець, водне середовище, каротиноїди, *Ceratophyllum demersum*.

У сучасних умовах техногенного навантаження проблема забруднення водного середовища важкими металами набуває особливої актуальності. Мідь і свинець – поширені важкі метали, що активно потрапляють до водного середовища внаслідок антропогенної діяльності і мають суттєвий вплив на фізіолого-біохімічні процеси в рослинних організмах [1, 6].

Мідь є важливим для росту і розвитку рослин мікроелементом, оскільки забезпечує структурну організацію та функціонування багатьох ферментних систем, бере участь у транспорті електронів при фотосинтезі та диханні, а також необхідна для здійснення інших процесів життєдіяльності рослинних організмів [6]. Однак у високих концентраціях мідь може бути надзвичайно токсичною для рослин, призводячи до різних фізіолого-біохімічних та морфологічних змін, зокрема до порушення функціонування пігментних систем, зміни якісного складу та кількості пігментів, викликаючи симптоми хлорозу і некрозу, до пригнічення фотосинтезу, дихання, затримки росту і навіть загибелі. Свинець вважають одним із найбільш токсичних важких металів для всіх живих організмів [2]. Біологічну роль свинцю не виявлено, однак деякими дослідженнями показано значну кумуляцію металу в рослинних організмах та його токсичну дію на пігментну систему та життєдіяльність рослин в цілому [3].

Встановлено, що деякі вищі водні рослини, зокрема *Ceratophyllum demersum*, завдяки особливостям своєї анатомічної будови, значній акумуляційній здатності та достатньо високій стійкості до впливу важких

металів, можуть бути використані для біомоніторингу та фіторе mediaції природних і стічних вод забруднених Cu і Pb [5].

Об'єктом досліджень був *Ceratophyllum demersum* L., який відноситься до занурених вищих водних рослин і широко поширений у водоймах України, зокрема у водоймах м. Києва [7].

Рослини *C. demersum* були відібрані із природних водойм м. Києва і вміщені в акваріум об'ємом 30 дм³, наповнений відстояною водопровідною водою. Контролем слугували рослини, які експонували в таких самих умовах, але без додавання металів у водне середовище. Вміст пігментів у *C. demersum* визначали спектрофотометричним методом. Визначення вмісту міді і свинцю у рослинах здійснювали методом оптичної емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою [2].

Результати проведених досліджень свідчать про те, що накопичення важких металів у *C. demersum* викликає окиснювальний стрес, а ступінь стійкості рослини залежить від активності її антиоксидантної системи [4].

Проявом впливу йонів важких металів (міді та свинцю) на пігментну систему *C. demersum* може бути також зміна значень величин відношень хлорофіл *a*/хлорофіл та (хлорофіл *a* + хлорофіл *b*)/ каротиноїди, які мають тенденцію до зменшення у рослин, що перебувають у водному середовищі з додаванням Cu²⁺ та Pb²⁺, порівняно з контрольними рослинами.

Результати проведених експериментальних досліджень показали, що за наявності у воді йонів Pb²⁺ і Cu²⁺ в однакових концентраціях (від 0,05 мг/дм³) токсичний вплив міді на рослинний організм є більшим, ніж свинцю.

Менша токсичність Pb порівняно з Cu, ймовірно, пов'язана з тим, що потрапляючи у водне середовище (відстояна водопровідна вода), Pb²⁺ утворює нерозчинні або малорозчинні сполуки майже з усіма наявними там аніонами, зокрема SO₄²⁻, Cl⁻, CO₃²⁻. Сполука Pb(OH)₂ також нерозчинна у воді. При підвищенні рН водного середовища внаслідок життєдіяльності рослинних організмів здатність йонів свинцю до комплексоутворення та випадання в осад зростає, а отже, зменшується його біодоступність та токсичність, яка визначається концентрацією саме розчинної форми металу [4].

Результати досліджень щодо накопичення міді та свинцю тканинами *C. demersum* при збільшенні концентрації металів у водному середовищі показали, що *C. demersum* здатен накопичувати значну кількість Cu (до 590 мкг/г сухої маси) і Pb (до 1218 мкг/г сухої маси), рис. 1.

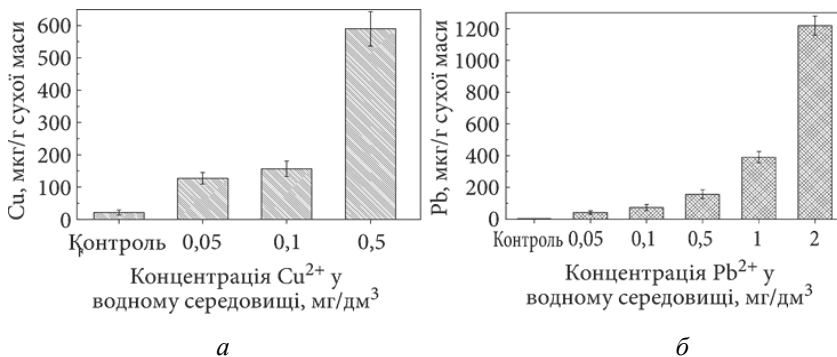


Рис. 1. Накопичення міді (а) та свинцю (б) *Ceratophyllum demersum* за різної концентрації іонів металів у водному середовищі ($M \pm m$; $n = 3-4$)

Варто зазначити і те, що *C. demersum* здатен накопичувати більшу кількість Pb без загибелі рослини. Ймовірно, це зумовлено значною здатністю Pb²⁺ до зв'язування і адсорбції на оболонці рослинних клітин при зростанні рН середовища внаслідок життєдіяльності рослин, оскільки токсичну дію металів пов'язують саме з їх йонною формою.

Оцінка акумуляційної здатності *C. demersum* щодо досліджуваних металів засвідчила, що КБН міді та свинцю рослиною досягають високих значень, однак різняться між собою залежно від концентрації і хімічних характеристик певного металу (див. табл. 1).

У міру збільшення концентрації металів у воді до певного рівня зменшуються значення величини КБН для *C. demersum*. У роботі [1, 7] також спостерігали зменшення КБН для *Potamogeton Pectinatus* L. при зростанні концентрації міді у водному середовищі. Автори пов'язують це з насиченням рослинного організму металом і зменшенням здатності до його накопичення.

Таблиця 1

Коефіцієнти біологічного накопичення міді та свинцю *Ceratophyllum demersum*

Концентрація йонів металів у воді, мг/дм ³	Коефіцієнти біологічного накопичення металів	
	Cu	Pb
0,05	2540 ± 42	842 ± 28
0,1	1570 ± 34	742 ± 36
0,5	1180 ± 51	315 ± 21
1,0	–	391 ± 54
2,0	–	609 ± 43

Однак при надходженні у водне середовище металів у високих концентраціях (згідно результатів наших досліджень, такими концентраціями є 1,0 і 2,0 мг/дм), ймовірно, відбуваються порушення процесів обміну речовин, зокрема мембранного транспорту. Саме ці зміни зумовлюють неконтрольоване надходження металів у клітини, що може призводити до незворотних наслідків і загибелі рослинного організму [7].

Одержані дані щодо накопичення значної кількості міді і свинцю *S. demersum* та відносно високого рівня його стійкості до дії металів дають можливість стверджувати, що даний вид доцільно рекомендувати для використання з метою фітореMediaції водного середовища при його забрудненні Cu^{2+} і Pb^{2+} за їхніх концентрацій відповідно до 0,5 і 2,0 мг/дм³. Слід зауважити, що при використанні *S. demersum* для очистки води від цих металів необхідне подальше видалення рослин з водного середовища для попередження вторинного забруднення водойм металами внаслідок розкладу фітомаси.

Список використаних джерел

1. Costa M. B., Tavares F. V., Martinez C. B. et al. Accumulation and effects of copper on aquatic macrophytes *Potamogeton pectinatus* L.: Potential application to environmental monitoring and phytoremediation. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2018. Vol. 155. P. 117–124.
2. ЦКПП «Спектрометрический центр элементного анализа (СЦЭА)» при Национальном ботаническом саде им. Н.Н. Гришко НАН Украины. URL: <http://www.nbg.gov.ua>
3. Basile A., Sorbo S., Conte B. et al. Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes. *Int. J. Phytoremediation.* 2012. Vol. 14, N 4. P. 374–387.
4. Linnik P.N. Heavy metals in surface waters of Ukraine: their content and forms of migration. *Hydrobiol. J.* 2000. Vol. 36, N 3. P. 31–54.
5. Buta E., Turuk A., Csog A. et al. Comparative studies of the phytoextraction capacity of five aquatic plants in heavy metal contaminated water. *Not. Bot. Horti Agrobot.* 2014.
6. Karimi P., Khavari-Nejad R. A., Niknam V. et al. The effects of excess copper on antioxidative enzymes, lipid peroxidation, proline, chlorophyll, and concentration of Mn, Fe, and Cu in *Astragalus neomobayenii*. *The Scientific World Journal.* 2012. Vol. 2012. URL: <https://doi.org/10.1100/2012/615670>.
7. Ivanova I. Yu., Kharchenko G. V., Klochenko P. D. Higher aquatic vegetation of water bodies of the town of Kiev. *Hydrobiol. J.* 2007. Vol. 43, N 3. P. 36–56.

