

БІОХІМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТОПІНАМБУРУ ЗА ВПЛИВУ ІОНІВ КАДМІЮ

Задарко І.М., Булій О.А., Шебунчак Д.С., Гусак В.В.

Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника,
ihor.zadarko.24@pnu.edu.ua

Abstract

The study investigated the impact of various cadmium concentrations (0–5 mg/L) on biochemical parameters of Jerusalem artichoke in vitro. Increased pigments, polyphenols, and flavonoids indicated adaptive antioxidant responses to cadmium-induced oxidative stress.

Keywords: *cadmium, Helianthus tuberosus, pigments, polyphenols, oxidative stress.*

Вступ. У сучасних умовах стрімкого техногенного розвитку та зростаючого антропогенного навантаження на довкілля дедалі більшої актуальності набуває проблема деградації земельних ресурсів. Площа територій, які поступово втрачають свою екологічну та господарську цінність через забруднення різноманітними ксенобіотиками, зокрема важкими металами, неухильно зростає з року в рік. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), понад 33 % світових ґрунтів уже зазнали тієї чи іншої форми деградації. Серед найнебезпечніших типів забруднень особливе занепокоєння викликає забруднення важкими металами, зокрема кадмієм, який належить до елементів II групи періодичної системи та характеризується високою токсичністю навіть у незначних концентраціях. Основними джерелами потрапляння кадмію до екосистем є викиди металургійних підприємств, зольні залишки ТЕС, стічні води, відходи гальванічних виробництв, а також агрохімікати (особливо фосфатні добрива), що містять домішки цього металу. У зв'язку з воєнними діями на території України проблема хімічного забруднення ґрунтів набула ще більшої гостроти, оскільки значна кількість сільськогосподарських земель зазнає впливу бойових дій, вибухових речовин, важких металів і паливно-мастильних матеріалів, що сприяє вторинному забрудненню агроценозів. [1, 2].

Ефективність фіторе mediaції залежить від виду рослин, здатних поглинати та накопичувати важкі метали. Перспективними є рослини, що мають високу біомасу, швидкий ріст, стійкість до забруднень та здатні накопичувати забруднювачі без значних порушень їх фізіологічних функцій. Серед таких рослин останнім часом зростає інтерес до топінамбуру (*Helianthus tuberosus* L.), що відомий своєю високою стійкістю до стресових умов та значною біомасою, придатною для подальшого безпечного використання [3, 4].

Тому метою нашої роботи було дослідити вплив різних концентрацій іонів кадмію на біохімічні властивості топінамбуру в умовах *in vitro*.

Матеріали та методи. Експланти топінамбура культивували в умовах *in vitro* за присутності різних концентрацій іонів кадмію (0; 0,5; 1; 2,5 і 5 мг/л). Тривалість експерименту становила 40 днів при стандартизованих умовах: освітленість – 2000 люкс, фотоперіод – 16 годин, температура – +25 °С. Після завершення культивування визначали вміст хлорофілів *a* та *b*, каротиноїдів,

антоціанів, поліфенолів і флавоноїдів у листках рослин спектрофотометричними методами, описаними раніше [5, 6].

Результати та обговорення. У процесі дослідження було виявлено, що дія іонів кадмію на листки топінамбуру супроводжується вираженими змінами у пігментному та фенольному профілі, що вказує на складну біохімічну перебудову метаболізму рослини у відповідь на металевий стрес. Так, встановлено, що за присутності іонів кадмію концентрацією 2,5 та 5 мг/л вміст хлорофілу *a* та *b* у листках топінамбура достовірно збільшувався порівняно з контролем (Рис. 1). Подібні результати були зафіксовані також у дослідженнях на *Brassica juncea* та *Oryza sativa*, де підвищення вмісту хлорофілів розглядалося як компенсаторна реакція на початкові фази кадмієвого стресу [7, 8]. Це вказує на активацію фотосинтетичного апарату рослини з метою підтримання достатнього енергетичного обміну, навіть за несприятливих умов.

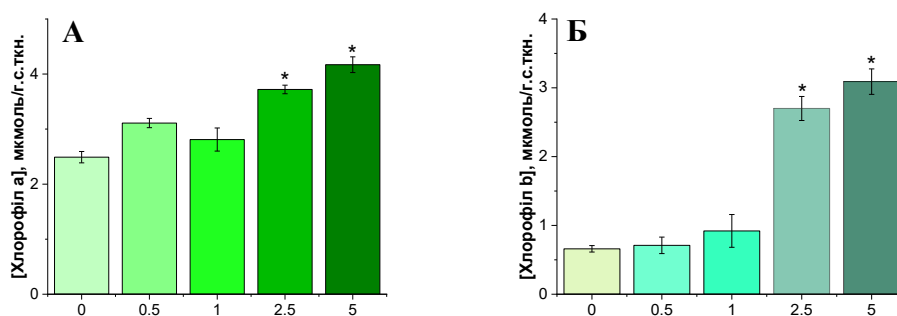


Рис. 1. Вміст хлорофілу *a* (А) і *b* (Б) у листках топінамбуру за дії різних концентрацій іонів кадмію. * Значимо відрізняється від контрольного значення, $p < 0.05$, $n = 6$.

Водночас, вміст каротиноїдів достовірно знижувався за тих же концентрацій кадмію (Рис. 2А), що узгоджується з роботами, у яких кадмій інгібує біосинтез каротиноїдів або викликає їх деградацію внаслідок підвищеної генерації активних форм кисню (АФК) [9]. Оскільки каротиноїди виконують роль не лише як пігменти, а й як антиоксиданти, їх зменшення може вказувати на нейтралізацію АФК, утворених під дією іонів металу.

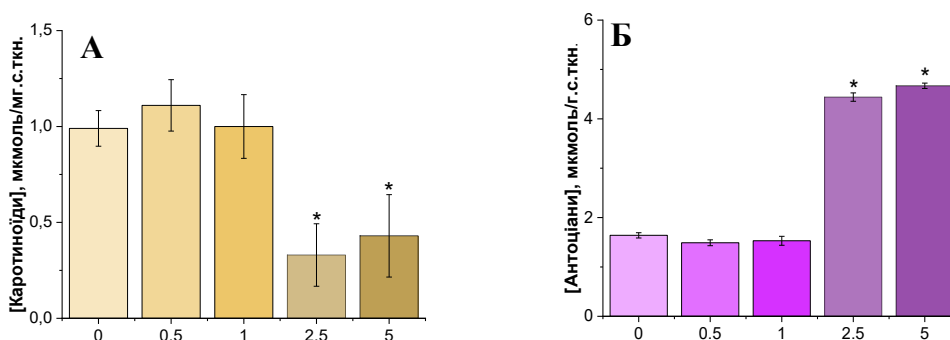


Рис. 2. Вміст каротиноїдів (А) і антоціанів (Б) у листках топінамбуру за дії різних концентрацій іонів кадмію. * Значимо відрізняється від контрольного значення, $p < 0.05$, $n = 6$.

Рівень антоціанів, навпаки, значно зростав за концентрацій кадмію 2,5 та 5 мг/л (Рис. 2Б), що вказує на активацію фенілпропаноїдного шляху як одного з механізмів антиоксидантного захисту. Аналогічна реакція описана для *Paulownia tomentosa*, *Solanum lycopersicum* та *Arabidopsis thaliana*, у яких накопичення антоціанів розглядається як маркер оксидативного стресу [10, 11]. Це підтверджує, що топінамбур реалізує стратегію адаптації через посилення біосинтезу вторинних метаболітів.

Загальний вміст поліфенолів (Рис. 3А) та флавоноїдів (Рис. 3Б) достовірно зростав переважно за дії кадмію у концентрації 5 мг/л. Це свідчить про включення антиоксидантних механізмів захисту, зокрема неензиматичних, спрямованих на інгібування пероксидного окиснення ліпідів і стабілізацію клітинних мембран. Подібні реакції зафіксовані у *Brassica juncea*, *Vicia faba* та *Zea mays*, що підтверджує універсальність такої адаптивної відповіді серед різних видів рослин [12–14].

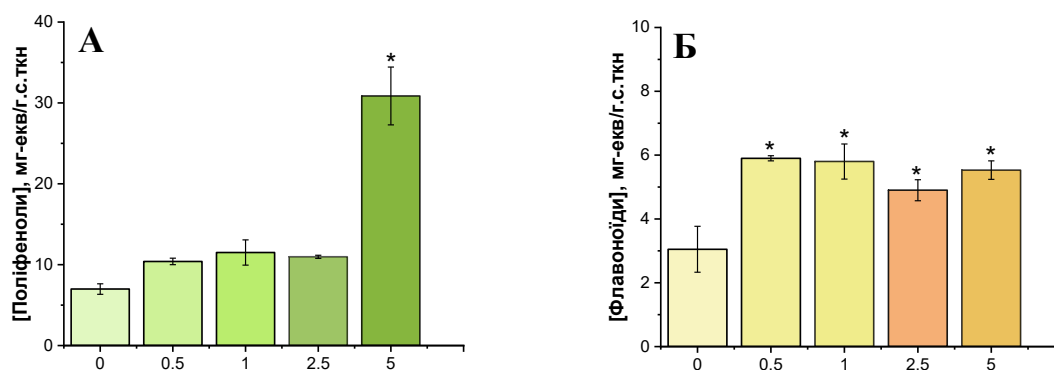


Рис. 3. Вміст поліфенолів (А) і флавоноїдів (Б) у листках топінамбуру за дії різних концентрацій іонів кадмію. * Значимо відрізняється від контрольного значення, $p < 0,05$, $n = 6$.

Таким чином, встановлена динаміка змін пігментного і фенольного профілю свідчить про активацію широкого спектру адаптаційних механізмів, спрямованих на мінімізацію ушкоджень, спричинених кадмієвим стресом. На початкових етапах впливу металу, ймовірно, активуються механізми компенсації фотосинтетичної активності, про що свідчить зростання вмісту хлорофілів. Подальше посилення антиоксидантної відповіді реалізується через синтез фенольних сполук, таких як антоціани, флавоноїди та поліфеноли, що забезпечують стабілізацію клітинного метаболізму.

Узагальнюючи отримані результати, можна стверджувати, що топінамбур демонструє високий ступінь толерантності до іонів кадмію, зберігаючи здатність до біосинтезу захисних метаболітів. Це вказує на доцільність подальшого використання цього виду як перспективного фіторемедіанта для очищення ґрунтів, забруднених іонами важких металів.

Висновки. Результати дослідження показали, що іони кадмію чинять значний вплив на пігментний і фенольний профіль листків топінамбура. Підвищення вмісту хлорофілів *a* і *b* при одночасному зниженні рівня

каротиноїдів може бути пов'язане з фотозахисною адаптацією та компенсацією функціональної активності фотосистем. Зростання концентрації антоціанів, флавоноїдів і поліфенолів свідчить про активацію антиоксидантної відповіді як ключового механізму зменшення оксидативного стресу. Таким чином, топінамбур демонструє високий потенціал до метаболічної адаптації за умов дії іонів кадмію, що може бути використано у фіторе mediaційних технологіях для рекультивациі забруднених територій.

Список використаної літератури:

1. Alloway B. J. Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. Dordrecht: Springer, 2013. 412 p.
2. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. CRC Press, 2010. 548 p.
3. Kays S. J., Nottingham S. F. Biology and chemistry of Jerusalem artichoke: *Helianthus tuberosus* L. 1st Edition. CRC Press, 2007. 496 p.
4. Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.): A Versatile and Sustainable Crop for Renewable Energy Production in Europe / F. Rossini et al. *Agronomy*. 2019. Vol. 9, no. 9. P. 528. URL: <https://doi.org/10.3390/agronomy9090528>.
5. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. 2001. Vol. 1. P. F4.3.1-F4.3.8. URL: <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0403s01>.
6. Singleton V. L., Orthofer R., Lamuela-Raventos R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 1999. Vol. 299. P. 152-178. URL: [http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
7. Zengin F. K., Munzuroglu O. Effects of some heavy metals on content of chlorophyll, proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*. 2005. Vol. 47, no. 2. P. 157–164.
8. Interaction of Cd and five mineral nutrients for uptake and accumulation in different rice cultivars and genotypes / J. Liu et al. *Field Crops Research*. 2003. Vol. 83, no. 3. P. 271–281. URL: [https://doi.org/10.1016/s0378-4290\(03\)00077-7](https://doi.org/10.1016/s0378-4290(03)00077-7).
9. Sharma P., Dubey R. S. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 2005. Vol. 17, no. 1. P. 35–52. URL: <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100004>.
10. Overexpression of Roseal from snapdragon enhances anthocyanin accumulation and abiotic stress tolerance in transgenic tobacco / A. H. Naing et al. *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. URL: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01070>.
11. Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants / B. Pourrut et al. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. New York, NY, 2011. P. 113–136. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9860-6_4.
12. Effect of heavy metals in plants of the genus *Brassica* / M. Mourato et al. *International Journal of Molecular Sciences*. 2015. Vol. 16, no. 8. P. 17975–17998. URL: <https://doi.org/10.3390/ijms160817975>.
13. Asiminicesei D. M., Fertu D. I., Gavrilescu M. Impact of heavy metal pollution in the environment on the metabolic profile of medicinal plants and their therapeutic potential. *Plants* (Basel). 2024. Vol. 13, no. 6. P. 913. URL: <https://doi.org/10.3390/plants13060913>.
14. Nitric oxide is associated with long-term zinc tolerance in *Solanum nigrum* / J. Xu et al. *Plant physiology*. 2010. Vol. 154, no. 3. P. 1319–1334. URL: <https://doi.org/10.1104/pp.110.162982>.