



SECTION: ENVIRONMENTAL SCIENCES.

SEKCJA: NAUKI O ŚRODOWISKU.

How to cite: Iliuk, N. (2024). Analysis of the interaction between plants and microorganisms in the context of soil contamination with heavy metals. *Horizons of Innovation: Conference on Multidisciplinary Trends in Science 2024*. (pp. 315-320). Futurity Research Publishing. <https://futuraity-publishing.com/horizons-of-innovation-conference-on-multidisciplinary-trends-in-science-2024-2/>

ANALYSIS OF THE INTERACTION BETWEEN PLANTS AND MICROORGANISMS IN THE CONTEXT OF SOIL CONTAMINATION WITH HEAVY METALS

Аналіз взаємодії рослин і мікроорганізмів у контексті забруднення ґрунтів важкими металами

Ілюк Наталя Анатоліївна

кандидат сільськогосподарських наук,

кафедра мікробіології, сучасних біотехнологій, екології та імунології, Інститут біомедичних технологій, Відкритий міжнародний університет розвитку людини "Україна, м. Київ, Україна, N.iliuk@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3296-4790>

Accepted: February 18, 2024 | **Published:** February 28, 2024 | **Language:** Ukrainian

Abstract: This study examines the interaction between plants and microorganisms in soil contaminated with heavy metals. The relevance lies in understanding the mechanisms that reduce metal toxicity and promote soil restoration. Employing a multidisciplinary approach, relationships between plants and microorganisms were investigated, including metal uptake, resistance mechanisms, and microbial regulation of metal bioavailability. Furthermore, phytoremediation using microbes demonstrates

promising potential for sustainable soil restoration. Thus, this review emphasizes the need to harness the synergistic interaction between plants and microbes to develop environmentally safe strategies for reducing heavy metal pollution, thereby enhancing ecological resilience and agricultural productivity.

Keywords: phytoremediation, microbial activity, symbiosis, ecotoxicology, ecological resilience.

Вступ

Складна взаємодія між рослинами та мікроорганізмами в ґрунтових екосистемах відіграє важливу роль у збереженні екологічної рівноваги та підтримці життя на Землі. Водночас ця складна рівновага помітно порушується у наш час, особливо у зв'язку з дедалі більшим забрудненням ґрунтів важкими металами. Ця проблема виникла внаслідок різних видів антропогенної діяльності, таких як сільськогосподарське та промислове виробництво, видобуток корисних копалин, що створює серйозні загрози для стану довкілля та добробуту людей. У цьому контексті розуміння складних взаємозв'язків між рослинами та мікроорганізмами набуває особливого значення (Смірнова & Фатеев, 2017).

Результати дослідження

Взаємодія між рослинами та мікроорганізмами в забруднених ґрунтах є важливим аспектом екологічної науки та заходів з відновлення довкілля. Забруднені ґрунти створюють значні проблеми через наявність в них важких металів, органічних сполук та інших токсичних речовин, які можуть мати негативний вплив як на здоров'я людини, так і на екосистему. Проте саме природа запропонувала рішення у вигляді фітореMediaції – стійкої та екологічно безпечної стратегії очищення забруднених ґрунтів (Телекало, 2018).

ФітореMediaція передбачає використання рослин для видалення, знешкодження або іммобілізації забруднювачів з ґрунту. В основі цього процесу – природня здатність певних видів рослин поглинати шкідливі речовини з ґрунту і накопичувати їх у своїх тканинах. Після поглинання забруднювачі можуть зберігатися в корінні, стеблах, листі рослин або навіть випаровуватися в атмосферу через транспірацію. Цей механізм ефективно знижує їхню концентрацію у ґрунті, роблячи його безпечнішим як для життєдіяльності людини, так і для цілісності екосистеми (Мельниченко & Богадьорова, 2023).

Одним з ключових факторів, що сприяють підвищенню ефективності фітореMediaції, є складний взаємозв'язок між рослинами та мікроорганізмами, наявними в ґрунті. Мікроорганізми, зокрема бактерії, гриби та водорості, відіграють ключову роль у сприянні процесу рекультивації шляхом посилення поглинання, трансформації та деградації забруднювальних речовин. Ці мікроорганізми мають унікальні метаболічні шляхи та ферменти, які уможливають їм метаболізувати або детоксикувати різні забруднювачі, перетворюючи їх у менш шкідливі форми або мінералізуючи до нешкідливих речовин.

У симбіотичних відносинах між рослинами та мікроорганізмами рослини забезпечують необхідні джерела вуглецю та поживні речовини для підтримки росту та життєдіяльності мікроорганізмів, а мікроорганізми допомагають рослинам протистояти екологічним навантаженням і підвищують їхню стійкість до забруднювачів. Наприклад, певні бактерії можуть колонізувати ризосферу – ділянку ґрунту, на яку впливає коріння рослин – і утворювати симбіотичні асоціації з рослинами, відомі як ризобактерії (Ліщук, Фурдичко, Парфенюк & Карачинська, 2022).

До того ж мікоризні гриби, які утворюють мутуалістичну кооперацію з корінням рослин, відіграють вирішальну роль у підвищенні ефективності фітореMediaції рослин. Мікоризні гриби розширюють площу кореневої поверхні, збільшуючи доступ рослин до поживних речовин і води. Крім того, вони можуть покращити стійкість рослин до важких металів та органічних забруднювачів, зв'язуючи їх у своїх гіфах або виділяючи ферменти, які руйнують токсичні сполуки.

Взаємодія між рослинами та мікроорганізмами в забруднених ґрунтах свідчить про важливість біорізноманіття та функціонування екосистем у процесах рекультивації. Використовуючи природні здібності рослин і мікроорганізмів, фітореMediaція пропонує економічно ефективний, сталий і екологічно чистий підхід до зменшення забруднення ґрунтів і відновлення здоров'я екосистем. Втім, успіх фітореMediaції залежить від правильного підбору видів рослин і мікробних консорціумів, а також оптимізації умов довкілля для досягнення максимальної ефективності рекультивації (Телекало, 2018).

Вплив важких металів на мікроорганізми та рослини викликає значну тривогу в екологів та працівників сільського господарства, оскільки ці забруднювачі можуть мати згубний вплив як на мікробні спільноти, так і на ріст рослин. Важкі метали, зокрема свинець, кадмій, ртуть, миш'як і хром, є природними елементами, які можуть накопичуватися в навколишньому середовищі внаслідок промислової діяльності, видобутку корисних копалин і неналежної утилізації відходів.

Одним з основних механізмів токсичної дії важких металів є порушення клітинних функцій та біохімічних процесів. Важкі метали можуть зв'язуватися з основними молекулами, такими як білки, ферменти та нуклеїнові кислоти, змінюючи їхню структуру і функції. Наприклад, важкі метали можуть пригнічувати активність ферментів, зв'язуючись з активними центрами ферментів, або порушувати координацію металевих кофакторів, необхідних для каталітичної активності.

До того ж, важкі метали можуть викликати окислювальний стрес у мікроорганізмів і рослин шляхом утворення активних форм кисню (АФК), таких як супероксидні радикали, пероксид водню та гідроксильні радикали. АФК можуть пошкоджувати клітинні компоненти, зокрема ліпіди, білки та ДНК, що призводить до дестабілізації мембран, денатурації білків і розривів ланцюгів ДНК. Унаслідок накопичення окислювальних пошкоджень може статися перенапруження механізмів антиоксидантного захисту клітин, що спричинює загибель чи пошкодження тканин. Також важкі метали можуть порушувати цілісність і проникність мембран, що веде до витоку клітинного вмісту і втрати клітинного гомеостазу (Смірнова & Фатеев, 2017).

Незважаючи на токсичний вплив важких металів, мікроорганізми та рослини виробили різноманітні адаптаційні механізми, щоб упоратися зі стресом, спричиненим металами, та

пом'якшити їхній негативний вплив. Наприклад, секвестрація та детоксикація використовується як мікроорганізмами, так і рослинами. Мікроорганізми можуть використовувати металозв'язувальні білки, такі як металотіонеїни та фітохелатини, для секвестрації важких металів у внутрішньоклітинних компартментах і запобігання їх взаємодії з важливими клітинними компонентами. Додатково мікроорганізми можуть використовувати ефлюксні насоси та транспортери для активного виведення важких металів з клітини, зменшуючи їхню внутрішньоклітинну концентрацію (Ліщук та ін., 2022).

Подібно до них рослини так само здатні переносити та детоксикувати важкі метали в навколишньому середовищі. Для цього вони використовують стратегію хелатування та секвестрації важких металів у клітинних стінках, вакуолях і спеціалізованих відсіках для їх накопичення. Рослини виробляють хелатні сполуки, такі як органічні кислоти, феноли й амінокислоти, які зв'язуються з важкими металами і роблять їх менш токсичними, утворюючи стабільні комплекси. Рослини також можуть стимулювати синтез антиоксидантних ферментів, таких як супероксиддисмутаза, каталаза і глутатіонпероксидаза, щоб пом'якшити окислювальний стрес і захистити клітинні компоненти від пошкоджень, спричинених АФК.

Деякі рослини мають здатність накопичувати важкі метали у своїх тканинах, не відчуваючи значної токсичності. Ці рослини-гіперакумулятори можуть накопичувати високі концентрації важких металів у своїх пагонах або листках, ефективно поглинаючи забруднювачі з ґрунту та зменшуючи їхню біодоступність. Це явище пояснюється наявністю спеціалізованих транспортерів металів, металозв'язувальних лігандів та ефективних механізмів поглинання і транслокації металів у гіперакумулявальних видів (Рибалова та ін., 2019).

Практичне застосування взаємодії між рослинами та мікроорганізмами для відновлення ґрунтів є перспективним підходом в екологічній науці та інженерії.

Фіторе mediaція – використання рослин для зменшення забруднення ґрунту – привертає значну увагу завдяки своїй економічній ефективності, стійкості та потенціалу для знешкодження широкого діапазону забруднювачів. Розроблено різні технології фіторе mediaції, кожна з яких має свої досягнення й обмеження, тоді як перспективи використання симбіотичних зв'язків між рослинами та мікроорганізмами відкривають широкі можливості для вдосконалення програм біоре mediaції.

Технології фіторе mediaції охоплюють різноманітні стратегії, включно з фітоекстракцією, ризофільтрацією, фітостабілізацією, ризодеградацією та фітоволатилізацією.

Фітоекстракція передбачає поглинання і накопичення забруднювачів у біомасі рослин, яку потім можна збирати й утилізувати або переробляти для вилучення цінних металів.

Ризофільтрація використовує кореневу систему рослин для видалення шкідливих речовин з води або ґрунтового розчину за допомогою процесів адсорбції, осадження або іонного обміну. Ця технологія особливо ефективна для видалення органічних забруднювачів, таких як вуглеводні, пестициди та хлоровані розчинники, а також неорганічних, як-от нітрати та фосфати.

Фітостабілізація спрямована на іммобілізацію забруднювачів у ґрунті, зменшення їхньої мобільності та біодоступності, щоб запобігти поглинанню їх рослинами та мінімізувати їх потрапляння в ґрунтові або поверхневі води. Цей метод передбачає використання відповідних видів рослин, таких як трави й бобові, для створення рослинного покриву і поліпшення структури ґрунту, зменшення ерозії та стабілізації забруднених ділянок. Хоча фітостабілізація може бути ефективною для пом'якшення ерозії ґрунту і контролю за поширенням забруднювальних речовин, її довгострокова ефективність може бути обмежена такими факторами, як загибель рослин, загнивання коренів і зміни в хімічному складі ґрунту.

Ризодеградація використовує ризосферу, зону ґрунту, на яку впливає коріння рослин, як осередок мікробної активності для деградації та детоксикації органічних забруднювачів. Рослини виділяють у ризосферу кореневі екsudати, такі як цукри, органічні кислоти й амінокислоти, які слугують джерелами вуглецю та енергетичними субстратами для ризосферних мікроорганізмів (Рибалова та ін., 2019).

Фітоволатилізація передбачає поглинання та транспірацію рослинами летких забруднювачів з подальшим їх вивільненням в атмосферу у газоподібній формі. Ця технологія насамперед застосовується до летких органічних сполук (ЛОС) і деяких металів, таких як ртуть і селен, які можуть піддаватися випаровуванню за відповідних умов. Рослини з високим рівнем транспірації, наприклад, тополя і верба, використовуються для фітоволатилізації з метою видалення ЛОС з ґрунтових вод і ґрунтових парів.

Висновки

Взаємодія рослин і мікроорганізмів у забруднених ґрунтах – це складний і активний процес, який є основою ефективності фіторе mediaції як стратегії відновлення. Завдяки симбіотичному зв'язку та синергетичній взаємодії рослини і мікроорганізми працюють разом, щоб видалити, розкласти і детоксифікувати забруднювальні речовини і в кінцевому підсумку відновити стан і життєздатність забруднених екосистем. Використання сили природи через фіторе mediaцію не лише забезпечує стале розв'язання проблеми забруднення ґрунтів, але й сприяє збереженню біорізноманіття та екологічному управлінню для майбутніх поколінь.

Отже, вивчення впливу важких металів на мікроорганізми та рослини підкреслило важливість розуміння механізмів токсичності цих металів та адаптаційних стратегій, що застосовуються організмами. Незважаючи на проблеми, спричинені забрудненням важкими металами, мікроорганізми та рослини розвинули складні стратегії, які дають їм змогу справлятися зі стресом, спричиненим металами, та пом'якшувати їхній негативний вплив на клітинні функції та стан екосистем.

Література

Ліщук, А. М., Фурдичко, О. І., Парфенюк, А. І., Карачинська, Н. В. (2022). Критерії оцінювання екологічних ризиків в агроценозах за впливу абіотичних чинників. *Збалансоване природокористування*, 4, 91–104. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2022.275601>

Мельниченко, С. Г., Богадьорова, Л. М. (2023). Динаміка посівних площ технічних культур Херсонської області. *Таверійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*, 130, 122–129. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.18>

Рибалова, О. В., Бригада, О. В., Коробкіна, К. М., Крайнюков, О. М., Мірошніченко, І. М. (2019). Визначення небезпеки впливу лісових пожеж на якісний стан ґрунтів. *Науковий вісник будівництва*, 2(96), 413–422. DOI: 10.29295/2311–7257–2019–96–2–413–422

Смірнова, К. Б., Фатєєв, А. І. (2017). Основні принципи оцінювання якості ґрунтів за вмістом важких металів для їх бонітування. *Агрохімія і ґрунтознавство*, 86, 48–57.

Телекало, Н. В. (2018). Агроекологічні прийоми вирощування (pisum sativum) в умовах лісостепу правобережного. *Сільське господарство та лісівництво*, 9, 79–88.