

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ БІОЛОГІЧНОГО СИНТЕЗУ МЕТАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГРИБІВ

Жульжик В. О. Якимчук Н. В.

Обласний науковий ліцей в м. Рівне, Рівненської обласної ради

Актуальність теми. Забруднення довкілля важкими (свинець, кадмій, ртуть, цинк) металами через промислові стоки та відходи є серйозною екологічною проблемою, оскільки ці метали в надлишку токсичні для людей і природи. Традиційні методи очищення ґрунту (хімічні, фізичні) є дорогавартісними, енерговитратними й створюють додаткові відходи. Використання харчових грибів як біологічних агентів для видалення металів є екологічною, доступною та ефективною альтернативою. Гриби здатні адсорбувати й відновлювати метали навіть за низьких концентрацій, що робить їх перспективним інструментом для очищення ґрунту. Ще одним способом використання грибів, що акумулювали надлишок цинку з забрудненого ґрунту, є використання їх для збільшення вмісту цинку у вигляді екологічно чистого добрива для ґрунтів, що містять малу концентрацію цинку.

Проблема забруднення ґрунтів. Проблема забруднення ґрунтів є доволі поширеною на сьогодні. Основною причиною цього є - людина. Джерелами поширення негативного впливу на ґрунт є вихлопи машин, побутові, будівельні відходи, промисловість та інше. Усі ці викиди є досить токсичними та накопичуються у ґрунті, такі як сполуки миш'яку та інші. Забруднення ґрунтів відбувається також через сільськогосподарську діяльність, використання інсектицидів, гербіцидів, що завдають достатньо шкоди. Погіршення якості верхнього родючого шару літосфери може призводити до зниження врожайності, а вирощені продукти харчування на таких ділянках можуть призводити до онкологічних захворювань. У наш час також є актуальною проблема забруднення через військові дії що відбуваються на території України. Як висновок, така проблема може призвести до демографічної кризи, а середня тривалість життя в країні суттєво зменшиться [5].

Сучасні методи очищення ґрунтів Існує досить багато сучасних способів очищення ґрунтів таких як, екскавація/видалення, хімічне очищення, біологічне очищення, термічне очищення, фізико-хімічне очищення. Розглянемо методи очищення більш розгорнуто. Екскавація або ж видалення - метод передбачає видалення забруднених ділянок землі та їх утилізацію у спеціальному об'єкті або полігоні. Метод біологічного очищення - полягає в використанні бактерій та грибів або ж інших мікроорганізмів задля зменшення токсичності або ж їх повного знешкодження від важких металів/промислових забруднень. Термічне оброблення – це використання високих температур за допомогою процесів окислення або дистиляції для знищення або видалення забруднення з ґрунту. Фізико-хімічне очищення та методи *in situ* включає в себе використання хімічних речовин - адсорбентів задля зв'язування із забруднювачами. У випадках, коли неможливо провести видалення та вивезення забруднених ґрунтів через їх місцезнаходження або ж інші причини прибігають до методів *in situ*. Вони зводяться до використання хімічних агентів безпосередньо в підземні шари ґрунту, для очищення ґрунту на місці без необхідності його вилучати.

Мета цієї роботи – дослідити можливість використання грибів для зменшення вмісту іонів цинку в забруднених ґрунтах як екологічно безпечного способу очищення.

Завданням дослідження є вивчення механізмів біосорбції та біоаккумуляції важких металів грибами, точніше цинку, з метою визначення їхньої ефективності у зменшенні

забруднення ґрунтів. Потрібно провести аналіз літературних джерел для розуміння властивостей грибів у процесах біоре mediaції, дослідити їхню здатність до поглинання іонів цинку з ґрунту та накопичення металів у біомасі. Також важливо розробити методику підготовки зразків і визначення вмісту металів у ґрунті та грибах, а отримані результати використати для оцінки екологічної ефективності та практичного застосування методів очищення ґрунтів [2]. Об'єктом дослідження є процес біологічного поглинання важких металів із ґрунту грибами. Предметом дослідження є здатність грибів до поглинання іонів цинку (Zn^{2+}) із забрудненого ґрунту та ефективність цього процесу.

Елемент Zn в ґрунті. У породах Zn розподілений нерівномірно. Він є важливим біофільним мікроелементом, що входить до складу ферментів і бере участь у білковому, вуглеводному, ліпідному та фосфорному обміні речовин. Zn підвищує стійкість рослин до температурних коливань і сприяє утворенню хлорофілу. При нестачі Zn порушується біосинтез вітамінів, зменшується вміст сахарози, крохмалю та ауксину, що призводить до морфологічних змін листя. У кислих ґрунтах цинк є більш рухливим, накопичується в комплексах з органічною речовиною ґрунту, а при підвищенні рН переходить у розчин. Надмірне накопичення Zn спостерігається біля автострад, промислових зон і вулканів, що робить актуальним його вилучення з забруднених ґрунтів. При надлишку цинку він може стати токсичним для рослин, викликаючи затримку росту, хлороз листя та порушення водного обміну [2].

Методика підготовки ґрунту та грибів. 1. Підготовка зразків ґрунту. Ми взяли 20г сухого, подрібненого та просіяного ґрунту. Розмістили зразок у хімічний стакан і додали екстрагуючий розчин 0,1 М HCl у співвідношенні ґрунт:розчин = 1:5, залишили на 30–60 хвилин, періодично перемішуючи. Профільтрували отриманий розчин для видалення твердих частинок ґрунту.



Рис. 1. Фільтрація ґрунту.

Додаємо до аліквоти 5мл 5% цинк сульфату для подальшого дослідження акумуляція іонів цинку з ґрунту грибами. 2. Методика підготовки грибів Розмістити спори грибів *Agaricus* (Печериці) в підготовленому субстраті з контрольованим вмістом цинку та забезпечити оптимальні умови для росту: Температура: 20–30°C. Вологість: 70–80%. Освітлення: помірне. Вирощували протягом 14 днів. На 14 день ми могли спостерігати вже доволі суттєві зміни в рості грибів.



Рис. 2. Гриби роду *Agaricus* на 14 день після посадки.

Беремо гриби, що були вирощені на ґрунті. Промиваємо водою від залишків ґрунту, висушуємо при температурі 40-50°. Подрібнюємо у ступці до грибного порошку. Рис. 3.



Рис. 3. Підготовка грибів до аналізу.

Реактиви для аналізу. Для визначення вмісту цинку використовували: Трилон Б ($C_{10}H_{16}N_2O_8$) – органічна сполука, що утворює стабільні комплекси з катіонами металів, вилучаючи їх із нерозчинних солей. Використовується для титрування Zn. Ксиленоловий помаранчевий ($C_{31}H_{28}N_2Na_4O_{13}S$) – металохромний індикатор, що змінює колір від червоного (у комплексі з Zn^{2+}) до жовтого при його витісненні ЕДТА. Використовується для визначення Zn під час титрування. Титрування ґрунту. [3] Метод: Комплексометричного титрування 1. Відміряли 18 мл витяжки з ґрунту, додали 3 мл ацетатного буфера. 2. Додали 2–3 краплі ксиленолового помаранчевого – розчин став червоним. 3. Титрували 0,01 М ЕДТА, поступово додаючи та перемішуючи. 4. У точці еквівалентності (6,5 мл ЕДТА) колір змінився на жовтий. 5. Використовуючи отримані дані, розраховували концентрацію Zn^{2+} у ґрунті.



Рис.4, 5. Розчин набуває червоного кольору жовтого кольору.

За результатами титрування розраховуємо вміст цинку, використовуючи формули.

$$C_{Zn} \cdot V_{\text{аліквоти}} = C_{\text{ЕДТА}} \cdot V_{\text{ЕДТА}}$$

$$C_{Zn} = \frac{C_{\text{ЕДТА}} \cdot V_{\text{ЕДТА}}}{V_{\text{аліквоти}}}$$

$$C_{Zn} = 0,01 \cdot 0,0065 / 0,018 = 0,00361 \text{ моль/л}$$

$$m = n \cdot M(E_{Zn}) = 0,00361 \cdot 32,5 = 0,117325 \text{ г} = 117 \text{ мг/л (масова концентрація цинку в ґрунті)}$$

Титрування грибів. Метод: пряме комплексонометричне титрування.

1. Відважили 2 г грибів, додали 50 мл 0,1 М НСІ, залишили на 1 годину, перемішуючи
2. Профільтрували розчин, додавши 2–3 мл ацетатного буфера та 2–3 краплі ксиленового помаранчевого (розчин став червоним).
3. Титрували 0,01 М ЕДТА, поступово додаючи та перемішуючи.
4. У точці еквівалентності (4,8 мл ЕДТА) колір змінився на жовтий.
5. Результати використані для визначення концентрації Zn^{2+} у грибах.

Проводимо розрахунки. $C_{Zn} = C_{\text{ЕДТА}} \cdot V_{\text{ЕДТА}} / V_{\text{витяжки}} = 0,01 \cdot 0,0048 / 0,05 = 0,00096 \text{ моль/л}$

$$C_{Zn} \cdot M_{E_{Zn}} = 0,00096 \cdot 32,5 = 0,0312 \text{ г/л}$$

- Робимо перерахунки на масу грибів з їх витяжки.

$$C_{Zn}(\text{гриби}) = C_{Zn}(\text{витяжка}) \cdot V(\text{екстрагенту}) / m(\text{грибів}) = 31,2 \cdot 0,05 / 2 = 0,78 \text{ мг/г} = 780 \text{ мг/кг}$$

– вміст Zn в грибах.

Висновки. Гриби володіють високою здатністю до біонакопичення важких металів, зокрема цинку, завдяки наявності в своїх тканинах білків та полісахаридів, які ефективно зв'язують іони металів. Це дозволяє їм накопичувати значно більше Zn, ніж доступно в навколишньому середовищі. При екстракції цинку з ґрунту витягується лише його рухома частина, тоді як у грибах він міститься в більшій концентрації, і їхня тканина накопичує Zn протягом усього періоду зростання. Крім того, існують відмінності у формах зв'язку цинку: у грибах він знаходиться у більш доступній формі, тоді як у ґрунті Zn пов'язаний з мінералами та органічними сполуками, що ускладнює його вилучення. Наші дослідження підтвердили ці процеси кілька разів: Концентрація Zn у витяжці грибів становить 87 мг/л, але це не відображає загального вмісту Zn у тканинах. Після перерахунку концентрація Zn у самих грибах становить 780 мг/кг. Вміст Zn у ґрунті до вилучення становив 117 мг/кг. Таким чином, гриби дійсно можуть накопичувати більше Zn, ніж міститься у ґрунті в доступній формі, що підтверджує їхню ефективність у процесі біоре mediaції.

Список використаних джерел

1. Забруднення ґрунту: причини та шляхи вирішення проблеми [Електронний ресурс] / Nikvesti. – 2025. – Режим доступу: <https://nikvesti.com/news/business/293735-zabrudnennia-gruntu-prichini-ta-shliakhi-vyrishennia-problemi-ua>
2. 5 найпоширеніших методів ремедіації ґрунту [Електронний ресурс] / Agro-business. – 2025. – Режим доступу: <https://agro-business.com.ua/zberezhennia-hruntu/item/30900-5-naiposhyrenishykh-metodiv-remediatsii-gruntu.html>

З. Бабко А. К., П'ятницький І. В. Кількісний аналіз. – Київ : Видавниче об'єднання "Вища Школа", 1974. – 194–195 с.

ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЯ ФОТОДЕСТРУКЦІЇ ХАРЧОВИХ БАРВНИКІВ У ЛЬОДЯНИКАХ

¹Євдоченко О. С., ²Івашкевич Д. О.

¹Житомирський державний університет імені Івана Франка

²Науковий ліцей, Житомирський державний університет імені Івана Франка

Наявність забарвлення – це одна з ключових характеристик, що підвищує кінцеву привабливість та апетитну цінність сприйняття харчових продуктів, зокрема солодошів, цукерок, карамельок і газованих напоїв споживачами. Часто технології виробництва солодошів, зокрема різнокольорових льодяників, передбачають використання синтетичні барвники, які покращують зовнішній вигляд продукції, підвищують інтенсивність кольору, забезпечують стабільність та контрастність кольорів тощо [1]. Питання визначення вмісту барвників, дослідження, їх властивостей та стійкості до температури, вологості, рН середовища, УФ-випромінювання є досить актуальним, адже визначає умови зберігання, пакування, терміни придатності продуктів харчування тощо.

У роботі здійснено порівняльний аналіз процесів фотодеструкції жовтих, червоних та зелених барвників у льодяниках різних видів. Об'єктом дослідження виступили зразки льодяників червоного, зеленого та жовтого кольорів видів «*Mintex+*», «*Bim Bom*», «*Дюшес*», «*Citrus Mix*» та «*Juice Mix*».

На початковому етапі роботи було виготовлено розчини барвників. Для цього 5 г цукерок певного виду подрібнювали та розчиняли в 50 мл дистильованої води. Оптичну густину барвників у розчині визначали фотоколориметром КФК- 2 за різних довжин хвиль та визначали оптимальну довжину хвилі для кожного барвника. Товщина кварцової кювети становила 2 см, розчином для порівняння була дистильована вода. Експериментальним шляхом визначено, що оптимальною довжиною для визначення оптичної густини барвників червоного кольору є 490 нм, для жовтого – 364 нм, для зеленого – 400 нм. Після визначення оптичної густини барвників червоного, жовтого та зеленого кольорів визначали стійкість барвників до дії УФ- випромінювання. Для цього кожен з розчинів барвників опромінювали УФ- лампою (потужність 40 Вт, $\lambda = 365-400$ нм) протягом 10 хвилин та визначали оптичну густину барвників. На основі отриманих результатів обчислювали ступінь фотодеструкції барвників за формулою:

$$X, \% = \frac{(D_0 - D_1)}{D_0} \cdot 100 \%,$$

Де $X, \%$ – ступінь фотодеструкції, D_0 – оптична густина до фотодеструкції; D_1 – оптична густина після фотодеструкції [2].

Визначено, що стійкість червоних барвників до УФ-випромінювання різна. Так червоний барвник у льодяниках «*Citrus Mix*» не піддавався процесу фотодеструкції. У льодяниках «*Bim Bom*» ступінь фотодеструкції червоного барвника становив 2,5%, у льодяниках «*Mintex+*» – 5, 3%, у «*Juice Mix*» – 13,3%.

Значення ступеня фотодеструкції жовтих барвників також відрізнялись. Найбільш стійким виявився жовтий барвник у льодяниках «*Bim Bom*», ступінь фотодеструкції якого становив 1,%, у льодяниках «*Mintex+*» – 6,0%, у «*Citrus Mix*» – 11,1%, «*Juice Mix*» – 16,7%.