

ЗАСТОСУВАННЯ ФЕРМЕНТАТИВНОЇ АКТИВНОСТІ ГРИБІВ *SCHIZOPHYLLUM COMMUNE* ТА *PLEUROTUS OSTREATUS* У ЗНЕБАРВЛЕННІ СИНТЕТИЧНИХ СПОЛУК

Стецюк А.М., Козидуб О.Р., Байдур К.О.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, kozydub.oleksandra@iit.kpi.ua

Abstract

This article is devoted to exploration of the potential of white rot fungi Schizophyllum commune and Pleurotus ostreatus in decolorizing synthetic dyes. Due to their ability to produce extracellular oxidative enzymes, these fungi offer an eco-friendly, cost-effective alternative for the bioremediation of industrial wastewater.

Keywords: *fungi, synthetic dyes, bioremediation, wastewater treatment.*

Вступ. Базидіоміцети, особливо гриби білої гнилі (white-rot fungi, WRF), часто використовуються у сучасній промисловій біотехнології. Лігнінолітичні ферменти грибів білої гнилі мають широку субстратну специфічність і беруть участь у трансформації та мінералізації органічних забруднювачів, структурно подібних до лігніну. Зокрема, вони демонструють високу здатність розкладати широкий спектр токсичних ксенобіотичних сполук, таких як синтетичні барвники, хлорфеноли, поліхлоровані біфеніли, фосфорорганічні пестициди, вибухові речовини та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) [1].

WRF виробляють дві великі функціональні групи ферментів. Одна з груп включає ферменти, які безпосередньо атакують лігнін: лаккази та гемвімісні пероксидази класу II, включаючи пероксидази лігніну (LiPs), пероксидази мангану (MnPs) та універсальні пероксидази (VPL). Одночасне виробництво цих ферментів не є поширеним у всіх WRF і залежить від виду [2].

Це робить гриби білої гнилі дуже привабливими для різних промислових та біотехнологічних застосувань, таких як виробництво біопалива з рослинної біомаси, біопаливорозробка, біовідбілювання та деградація стійких забруднювачів навколишнього середовища. Проте найбільш актуальним на даний момент є саме дослідження використання цих грибів у знебарвленні синтетичних сполук стічних та промислових вод [3].

Синтетичні барвники мають складну ароматичну хімічну структуру з канцерогенними та мутагенними властивостями. Ця складна ароматична структура є стійкою до розкладання, що призводить до їхнього накопичення у водних об'єктах та ґрунтах. Хімічні та фізичні методи очистки зазвичай призводять до утворення великої кількості осаду. Саме тому перспективними є методи, спрямовані на біоремедіацію [4].

Біоремедіація полягає в деградації барвників або забруднюючих речовин за допомогою живих організмів (бактерій, грибів, водоростей, а також рослин) або їхніх ферментних систем. Її використання є особливо перспективним у знебарвленні синтетичних сполук стічних та промислових вод [5].

Застосування грибів порівняно з іншими організмами має переваги, оскільки вони легше та швидше культивуються. Крім того, ферменти у них виділяються екзогенно, що призводить до більшого контакту з навколишнім

середовищем, забезпечуючи тим самим толерантність до високих концентрацій токсичних речовин і сполук.

Метою даної роботи є дослідження здатності грибів білої гнилі, зокрема *Schizophyllum commune* та *Pleurotus ostreatus*, до знебарвлення синтетичних сполук та кількісна оцінка результатів експерименту.

Матеріали та методи. Об'єктом дослідження були *Schizophyllum commune* 1760 та *Pleurotus ostreatus* 8 вирощені глибинним культивуванням у середовищі Норкранс з додаванням 0,01 % синтетичних барвників: індигокарміну, конго червоного. Для досліджень використовували 15 мкМ розчини індигокарміну, метиленового синього, і конго червоного, які вносили по 0,8 см³ до пробірок з 1 см³ 0,05 М ацетатного буферу (рН 3,5) та 0,1 см³ культуральної рідини. Ступінь знебарвлення визначали спектрофотометрично, обираючи довжину хвилі залежно від барвника, що використовувався.

Результати та обговорення. У ході дослідження було встановлено, що гриби *S. commune* та *P. ostreatus* мають високу здатність до знебарвлення усіх представлених синтетичних барвників (рис. 1). Результати аналізу виявили суттєві відмінності у біоремедіаційному потенціалі досліджуваних культур.

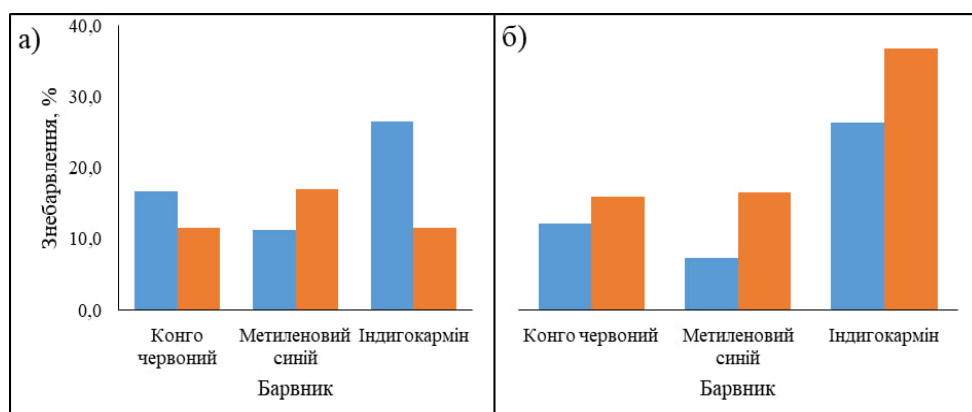


Рис. 1. Ступінь знебарвлення барвників культуральною рідиною (а) *S. commune* та (б) *P. ostreatus* після їх культивування на на (■) СНік та (■) СНкч.

Аналіз отриманих даних показав, що для *S. commune* найвищі показники знебарвлення культуральною рідиною спостерігалися при деградації індигокарміну (26,5 %) та конго червоного (16,7 %) після культивування в середовищі з індигокарміном, а також при знебарвленні метиленового синього культуральною рідиною після культивування в середовищі з конго червоним (16,9 %). Такий результат підтверджує гіпотезу про субстрат-специфічну індукцію ензиматичних систем у базидіоміцетів з формуванням адаптивних механізмів біодеградації ксенобіотиків [6].

Ферменти *P. ostreatus* продемонстрували загалом вищу здатність до знебарвлення всіх досліджуваних барвників. Найвищі показники ефективності спостерігалися при деградації індигокарміну культуральною рідиною після культивування на СНкч (35,6 %). Помітно нижчі показники були зафіксовані при знебарвленні метиленового синього цією ж культуральною рідиною (7,2 %).

Культуральна рідина *P. ostreatus* після культивування на СНік виявила значний потенціал до біодеградації синтетичних барвників. Спектрофотометричний аналіз продемонстрував здатність ферментативного комплексу ефективно знебарвлювати метиленовий синій (16,0 %) та індигокармін (25,5 %). Знебарвлення конго червоного (15,5 %) ферментами *P. ostreatus* після культивування на СНік підтверджує потенціал використання цього гриба для деградації азобарвників. Це вказує на можливу специфічну індукцію лігнолітичних ферментів (лігнін-, манганпероксидази, лаккази тощо) або їх надпродукування в присутності синтетичних барвників, що дозволяє ефективно розщеплювати різні хімічні структури [6].

Порівняльний аналіз ферментативної активності культуральних рідин обох грибів виявив кореляцію між середовищем культивування та ефективністю знебарвлення різних барвників. Культивування *P. ostreatus* на СНік індукувало синтез ферментів, що забезпечували ефективніше знебарвлення метиленового синього, порівняно з аналогічним показником для *S. commune*. Така відмінність може бути зумовлена особливостями регуляції експресії генів лігнолітичних ферментів у досліджуваних видів грибів та їх субстратною специфічністю.

Примітно, що для обох грибів спостерігається тенденція до ефективнішої деградації індигокарміну порівняно з іншими барвниками, що може бути пов'язано з особливостями хімічної структури цієї сполуки та її доступністю для ферментативного окиснення.

Висновки. У результаті дослідження було встановлено, що обидва штами – *Schizophyllum commune* та *Pleurotus ostreatus* – демонструють здатність до знебарвлення синтетичних барвників, однак між ними існують суттєві відмінності у біодеструктивному потенціалі залежно від типу барвника та складу культурального середовища.

Отримані результати можуть слугувати основою для розробки біотехнологічних підходів до очищення стічних вод від синтетичних барвників з використанням селективно індукованих ферментативних систем базидіоміцетів.

Список використаної літератури:

1. Costa F. C. R. White rot fungi for biodegradation of dyes: potential for industrial uses. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 2025. Vol. 36, no. 6. P. 27. URL: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20250024>.
2. Torres-Farradá G. White rot fungi as tools for the bioremediation of xenobiotics. *Journal of Fungi*. 2024. Vol. 10, no. 3. P. 167. URL: <https://doi.org/10.3390/jof10030167>.
3. Rodríguez-Couto S. Industrial and environmental applications of white-rot fungi. *Mycosphere*. 2017. Vol. 8, no. 3. P. 456–466. URL: <https://doi.org/10.5943/mycosphere/8/3/7>.
4. Khattab T. A., Abdelrahman M. S., Rehan M. Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019. Vol. 27, no. 4. P. 3803–3818. URL: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07137-z>.
5. Castillo-Suárez L. A. A critical review of textile industry wastewater: green technologies for the removal of indigo dyes. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1007/s13762-023-04810-2>.
6. El-Gendi H. A Comprehensive insight into fungal enzymes: structure, classification, and their role in mankind's challenges. *Journal of Fungi*. 2021. Vol. 8, no. 1. P. 23. URL: <https://doi.org/10.3390/jof8010023>.