

УДК 582.284+606:62:579.266

© О. В. Чайка, О. В. Федотов

ЕФЕКТИВНІСТЬ БІОДЕГРАДАЦІЇ КСЕНОБІОТИКУ METHYL ORANGE КУЛЬТУРАМИ КСИЛОТРОФІВ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КОНЦЕНТРАЦІЙ ПЕПТОНУ ТА ГЛЮКОЗИ

Донецький національний університет; 83050, м. Донецьк, вул. Щорса, 46
e-mail: bio.graff@yandex.ua

Чайка О. В., Федотов О. В. Ефективність біодеградації ксенобіотику Methyl Orange культурами ксилотрофів у залежності від концентрацій пептону та глюкози. – Досліджено ефективність біодеградації ксенобіотиків культурами ксилотрофів *Flammulina velutipes* F-1105, *Pleurotus eryngii* P-er, *Trametes hirsuta* Th-11 і *Daedalea quercina* Dq-08 у залежності від концентрацій елементів живлення. В якості модельної сполуки для визначення ефективності біодеградації забруднювачів використовували барвник Methyl Orange. Встановлено оптимальні концентрації пептону та глюкози в модифікаціях глюкозо-пептонного середовища за показником деградації модельної сполуки культуральним фільтратом цих штамів.

Ключові слова: ксилотрофні базидіоміцети, біодеградація, Methyl Orange.

Чайка А. В., Федотов О. В. Эффективность биодеградации ксенобиотика Methyl Orange культурами ксилотрофов в зависимости от концентрации пептона и глюкозы. – Исследована ефективність біодеградації ксенобіотиків культурами ксилотрофів *Flammulina velutipes* F-1105, *Pleurotus eryngii* P-er, *Trametes hirsuta* Th-11 і *Daedalea quercina* Dq-08 в залежності від концентрацій елементів живлення. В якості модельного соединения для определения эффективности биодеградации загрязнителей использовали краситель Methyl Orange. Установлены оптимальные концентрации пептона и глюкозы в модификациях глюкозо-пептонной среды по показателю деградации модельного соединения культуральным фильтратом этих штаммов.

Ключевые слова: ксилотрофные базидиомицеты, биодеградация, Methyl Orange.

Вступ

Гостра необхідність розробки нових способів деградації ксенобіотиків зумовлена декількома причинами. По-перше, це збільшення новоутворених неприродних сполук промислового і побутового походження, що неконтрольовано скидаються у великих кількостях у оточуюче середовище. По-друге, це втрата здатності до самоочищення та, як наслідок, брак чистої питної води і зниження родючості ґрунтів. По-третє, це застарілість способів утилізації та нездатність до деструкції нових ксенобіотиків наявними способами [1, 14, 20].

Біоремедіація, тобто очищення середовища з використанням метаболічного потенціалу біологічних агентів, у порівнянні з іншими методами, є більш перспективним, екологічно безпечним і менш дорогим способом очищення довкілля [16, 20]. Зважаючи на це пильну увагу дослідників привертають деякі групи організмів, зокрема, базидіальні ксилотрофи – через їх здатність до активної регуляції прооксидантно-антиоксидантної рівноваги та синтезу потужних екстрацелюлярних ензимів, здатних до розщеплення хімічно стійких сполук [3, 10, 15, 17]. Ці ферменти мають широку субстратну специфічність, що дозволяє їм трансформувати не тільки органічні речовини природного походження, але і різноманітні ксенобіотики. Так, у деяких грибів білої гнилі *in vitro* встановлено здатність до прямого чи опосередкованого окиснення і детоксикації поліциклічних ароматичних вуглеводнів (антрацен, бензапірен, фенантрен тощо), поліхлорфенолів, лігносульфонатів, барвників, стійких полімерів (поліакрилат, поліакриламід, поліетилен) діоксинів та пестицидів (у тому числі атразин, ДДТ, хлордан, ліндан тощо) [9]. У результаті відбувається повне розкладання молекули ксенобіотику, або неповне перетворення, внаслідок чого втрачається її токсичність і підвищується біодоступність [9, 15].

Вважається, що немаловажну роль у секреції зазначених ферментів у позаклітинне середовище, поряд з систематичною приналежністю та фізіологічними особливостями самої культури, відіграє склад живильного середовища [2, 3, 21]. У ряді робіт зазначається, що

природа джерел вуглецю та азоту значно впливає на інтенсивність деградації лігніну, однак значно більше значення має кількість цих елементів у середовищі [18, 19].

Виходячи з вищезазначеного, мета роботи – вивчення впливу джерел вуглецевого та азотного живлення на біодеградацію ксенобіотиків глибинними культурами ксилотрофів.

Матеріал і методи дослідження

Об'єктами дослідження були штами ксилотрофів *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer F-1105 і *Pleurotus eryngii* (DC.) Quéf. P-er, видів порядку *Agaricales*; *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd – Th-11 і *Daedalea quercina* (L.) Pers. – Dq-08, видів порядку *Polyporales*. Штами F-1105, P-er та Th-11 викликають білу, а штам Dq-08 – буру гниль деревини. Штами зберігаються в колекції культур базидіоміцетів кафедри фізіології рослин Донецького національного університету [10].

У попередніх дослідженнях, за активністю процесів ПОЛ, зазначені штами відібрані як перспективні для розробки способів біодеградації забруднювачів довкілля [11, 15]. Для них розроблено способи глибинного культивування та модифікації глюкозо-пептонного середовища (ГПС) [4–7]. Так, для культивування штаму *F. velutipes* F-1105 модифіковане ГПС додатково містить, на літр: лігносульфонат – 3,5 г, Твін-80 – 1,0 г, розчин мінеральних елементів Кірка [19] – 70 мл; штаму *P. eryngii* P-er – лігносульфонат – 5,0 г, Твін-80 – 1,0 г, розчин мінеральних елементів Кірка – 70 мл; штаму *T. hirsuta* Th-11 – лігносульфонат – 5,0 г; Твін-80 – 1,0 г; розчин мінеральних елементів Кірка – 105 мл; штаму *D. quercina* Dq-08 – лігносульфонат – 6,5 г; Твін-80 – 1,0 г; розчин мінеральних елементів Кірка – 105 мл. Враховуючи наявність солей Mg, Ca та Zn у розчині мінеральних елементів Кірка, у модифікації ГПС не вносили стандартні компоненти: MgSO₄, CaCl₂ та ZnSO₄. Вміст пептону в середовищах варіювався від 0 до 7 г/л, а глюкози – від 0 до 25 г/л.

Початковий рН живильних середовищ складав 6,62±0,06 од. Процес культивування штамів глибинним методом [4] проводили при 25±1°C в колбах ємністю 250 мл з 50 мл середовища на лабораторній качалці АБУ-6С (Росія) зі зворотно-поступальним рухом з режимом 45 хв. роботи з частотою 120 коливань за хв. та 15 хв. – інтервал. Інокулюмом слугував гомогенізований глибинний міцелій, що вирощувався в аналогічних умовах у колбах з шипоподібними відбійниками протягом 7 діб. Інокулюм вносили в кількості 10% за об'ємом живильного середовища. Перед інокуляцією асептично відбирали проби та визначали абсолютно суху біомасу та відсутність контамінації інокулюму за допомогою світлового мікроскопу XS-5520 MICROmed (Китай). Термін культивування штамів на основній стадії становив 6 діб. Наприкінці терміну культивування міцелій відділяли від культуральної рідини за допомогою щільної капронової тканини, отримуючи таким чином культуральний фільтрат (КФ). Визначали абсолютно суху біомасу (АСБ) міцелію ваговим методом [1] та розраховували приріст АСБ.

З метою визначення ефективності окислювальної деструкції речовин (ЕД) було обрано модельну сполуку – широко використовуваний барвник Methyl Orange (CAS 547-58-0), що відноситься до класу азобарвників [13]. Кількість КФ об'ємом 0,3 мл (дослід) чи живильного середовища (контроль) додавали до 0,001% розчину Methyl Orange в натрій-ацетатному буфері. Водневий показник реакційної суміші становив 4,4 од. Проби інкубували при +40°C протягом 48 годин. Після цього доводили рН реакційної суміші до 3,1 од. за допомогою натрій-ацетатного буферу. Вимірювали оптичну густину розчину при довжині хвилі 506 нм. Ефективність деструкції модельної сполуки розраховували за формулою:

$$ED = \frac{E_k - E_d}{E_k} \cdot 100\% ,$$

де E_k , E_d – оптична густина контрольної і дослідної проби відповідно.

Досліди проводили у трикратній повторності. Отримані експериментальні дані обробляли з використанням загальноприйнятих методів статистичної обробки результатів біологічних експериментів. Достовірною вважалася різниця за рівня вірогідності $P > 0,95$ [8].

Результати та обговорення

Як показали результати вивчення впливу концентрацій пептону в модифікованих ГПС, всі вони придатні для росту відібраних штамів (рис. 1). Однак встановлено, що зі збільшенням концентрації пептону в середовищі приріст АСБ штамів підвищувався та мав індивідуальний характер. Найкраще така залежність спостерігається для штаму *T. hirsuta* Th-11, де є чітко виражена пряма залежність приросту АСБ від вмісту пептону до рівня 5 г/л. На середовищі з максимальним вмістом пептону приріст АСБ у 4 рази вищий за цей показник на середовищі без пептону. Меншу аналогічну індукцію росту – у 2,7 разів – встановлено для штаму *F. velutipes* F-1105, де інтенсивна індукція накопичення АСБ спостерігалася до концентрації пептону 2 г/л. Для штаму *P. eryngii* P-er спостерігали різке збільшення приросту АСБ до концентрації пептону 1 г/л та стабілізацію цього показника з подальшим підвищенням вмісту цього компонента. Така динаміка може бути викликана декількома причинами: по-перше впливом лімітуючих концентрацій пептону, по-друге – швидкістю метаболізму штамів. Найменшу індукцію росту зі збільшенням вмісту пептону показав штам *D. quercina* Dq-08.

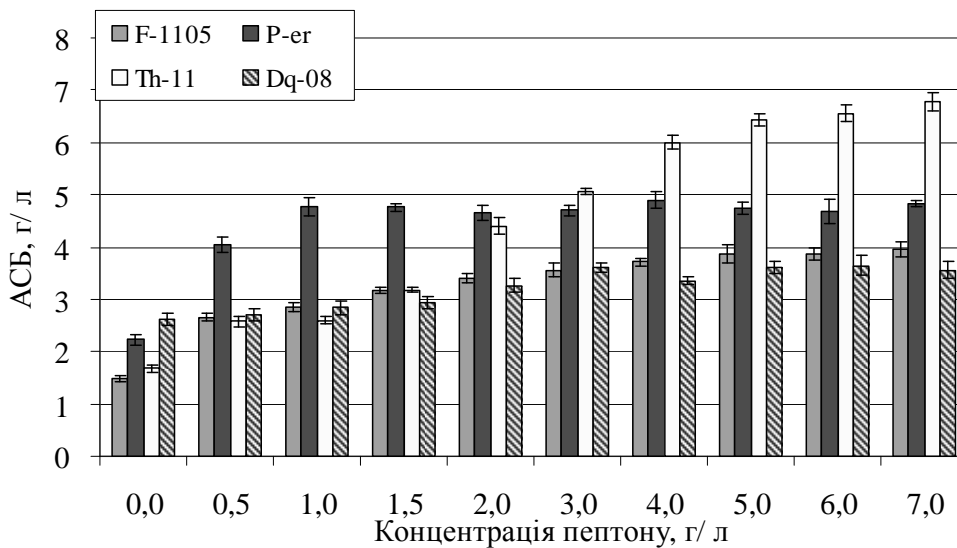


Рис. 1. Приріст АСБ досліджуваних штамів залежно від концентрації пептону.

Крім накопичення біомаси, реєстрували і зміну ефективності окислювальної деструкції модельної сполуки КФ досліджуваних штамів (рис. 2). Встановлено вірогідний вплив концентрації пептону в середовищі на величину ЕД. Так, відсутність чи низька концентрація пептону в середовищі є несприятливим фактором за ЕД для штамів грибів білої гнилі. Загалом, максимум ЕД для штамів *T. hirsuta* Th-11 і *P. eryngii* P-er приходить на середовищах з 4 г/л пептону. Причому для штаму *T. hirsuta* Th-11 встановлено збільшення ЕД в 4 рази, порівняно з середовищем без пептону. Максимальне значення ЕД КФ штаму *F. velutipes* F-1105 зафіксоване при концентрації пептону 3 г/л і в 2 рази вище, ніж на середовищі без пептону. Подальше підвищення вмісту пептону не викликає збільшення ЕД цих штамів. На відміну від базидіоміцетів білої гнилі, максимум ЕД КФ штаму *D. quercina* Dq-08 – гриба бурої гнилі, встановлено на середовищі без пептону, що в 5,5 разів вище, ніж на вихідному ГПС (3 г/л пептону).

Отже, дослідження впливу концентрації пептону на ріст та ЕД деяких штамів базидіоміцетів показало наступне. Відсутність чи низький вміст пептону в середовищі негативно впливає як на ростові процеси, так і на деструкцію модельної сполуки штамами грибів білої гнилі. Гриб бурої гнилі навпаки, показав найвищий рівень деструкції модельної сполуки за низького приросту АСБ при відсутності пептону в середовищі. Це, можливо, пояснюється відмінністю ферментативних систем грибів різних типів гнилі та проявом адаптивної реакції (підвищений синтез ферментів) до несприятливих умов середовища.

Встановлені індивідуальні концентрації пептону, за яких було зафіксовано максимальні величини ЕД кожного штаму (критерій оптимальності складу середовища), використовувалися в подальших дослідженнях.

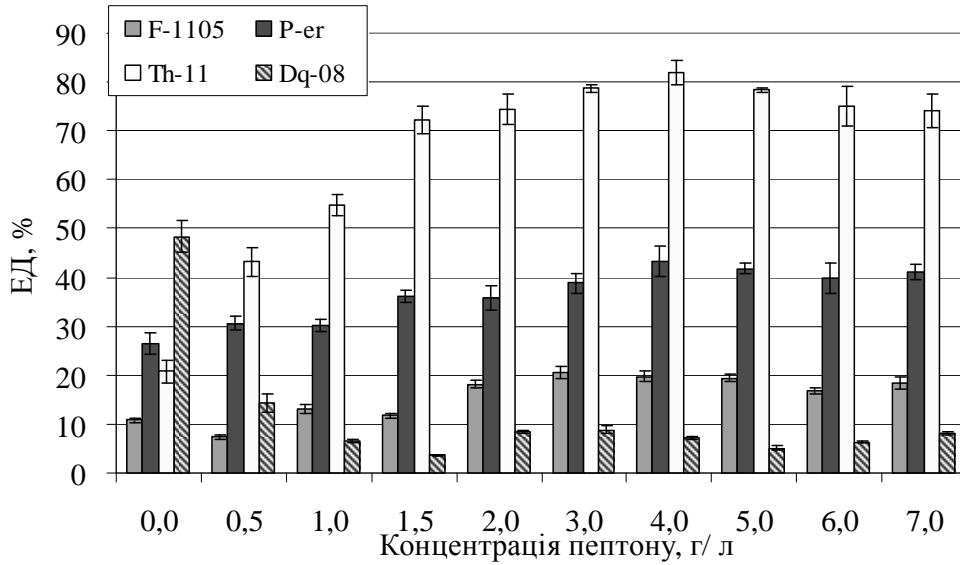


Рис. 2. Ефективність деструкції модельної сполуки КФ досліджуваних штамів залежно від концентрації пептону.

На наступному етапі роботи встановлювали вплив різних концентрацій глюкози в середовищі на ріст (рис. 3) та ефективність деструкції модельної сполуки КФ досліджуваних штамів (рис. 4). Так, стрімке збільшення приросту АСБ штамів відбувається при підвищенні вмісту глюкози з нульового до рівня 5,0–7,5 г/л. Подальше підвищення концентрації глюкози в середовищі не впливає на ріст культур. Це, ймовірно, пов'язане з негативним впливом високої осмотичної активності таких середовищ.

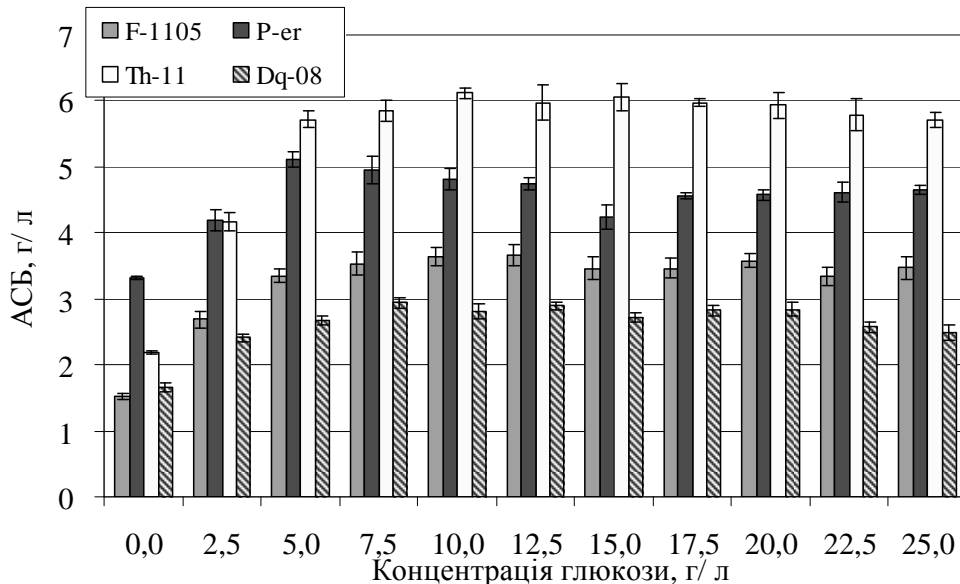


Рис. 3. Приріст АСБ досліджуваних штамів залежно від концентрації глюкози.

Різні концентрації глюкози у середовищі мають індивідуальний вплив на ЕД досліджуваних штамів. Так, для штаму *F. velutipes* F-1105 максимальний рівень ЕД спостерігався при концентрації 7,5 г/л глюкози. Відхилення від цього значення веде до вірогідного зниження ЕД Methyl Orange. Для штаму *P. eryngii* P-er збільшення вмісту

глюкози до рівня 7,5 г/л веде до підвищення ЕД, подальше підвищення даного компоненту вірогідно не впливає на ЕД. Аналогічну залежність встановлено для штаму *T. hirsuta* Th-11 з тією різницею, що оптимальним вмістом є 10,0 г/л глюкози. Для штаму *D. quercina* Dq-08 характерні два піки ЕД при низьких та високих концентраціях глюкози.

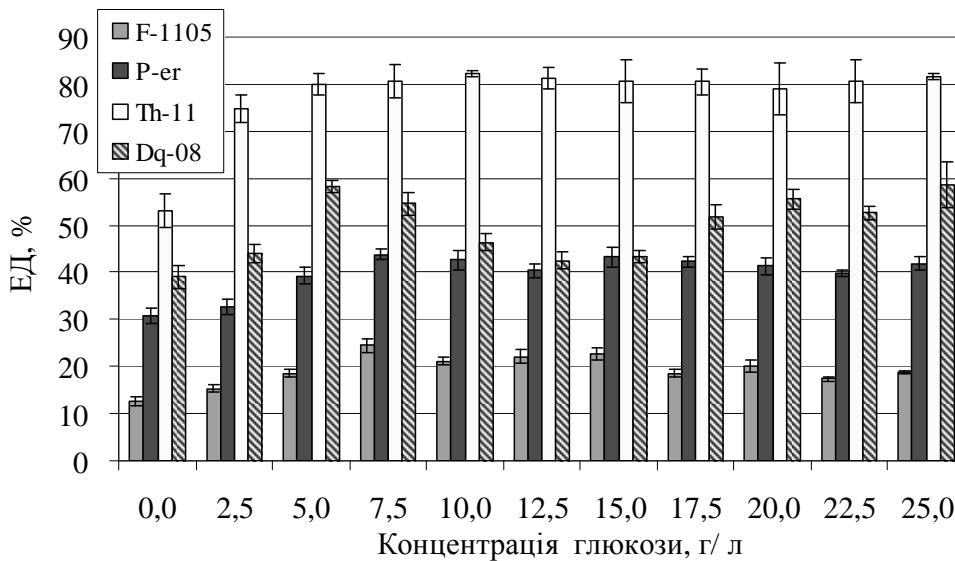


Рис. 4. Ефективність деструкції модельної сполуки КФ досліджуваних штамів залежно від концентрації глюкози.

Висновки

Усі модифікації ГПС придатні для росту штамів *F. velutipes* F-1105, *P. eryngii* P-er, *T. hirsuta* Th-11 та *D. quercina* Dq-08. Встановлено оптимальні концентрації пептону в модифікаціях ГПС за показником деградації модельної сполуки КФ цих штамів. Вони складають, (г/л): для штаму *F. velutipes* F-1105 – 3,0; штамів *P. eryngii* P-er та *T. hirsuta* Th-11 – 4,0 і штаму *D. quercina* Dq-08 – 0. На оптимізованих за вмістом пептону середовищах підібрано оптимальні концентрації глюкози, що забезпечують найвищий рівень ЕД культур. Вони складають, (г/л): для штамів *F. velutipes* F-1105 та *P. eryngii* P-er – 7,5; штаму *T. hirsuta* Th-11 – 10,0 і штаму *D. quercina* Dq-08 – 5,0. У цілому, шляхом підбору концентрацій пептону та глюкози в модифікаціях ГПС, ЕД барвника Methyl Orange збільшено для штаму *F. velutipes* F-1105 в 1,15; штаму *P. eryngii* P-er – в 1,17; штаму *T. hirsuta* Th-11 – в 1,10 та штаму *D. quercina* Dq-08 – в 6,48 рази. Модифікація ГПС дозволила знизити концентрації пептону та глюкози в багатьох варіантах середовища, що знизило їх вартість.

Таким чином, встановлено вплив концентрацій пептону та глюкози на ріст глибинних культур деяких ксилотрофів і деградацію ними модельної сполуки – барвника Methyl Orange. Результати роботи лягли в основу розробки середовищ для культивування штамів базидіоміцетів *F. velutipes*, *P. eryngii*, *T. hirsuta* та *D. quercina* з метою деструкції ксенобіотиків.

Список літератури

1. Бисько Н. А. Высшие съедобные базидиомицеты в поверхностной и глубокой культуре / Н. А. Бисько, А. С. Бухало, С. П. Вассер и др. – К.: Наук. думка, 1983. – 311 с.
2. Горбатова О. Н. Индукция биосинтеза лакказы как способ увеличения потенциала детоксификации базидиомицетами / О. Н. Горбатова, О. В. Королева, Е. О. Ландесман и др. // Прикладная биохимия и микробиология. – 2006. – Т. 42, № 4. – С. 468–474.
3. Кадималиев Д. А. Влияние модификации древесины на потребление лигнина и синтез лигнолитических ферментов грибом *Partus (Lentinus) tigrinus* / Д. А. Кадималиев, В. В. Ревин, Н. А. Атыкян, В. Д. Самуилов // Прикладная биохимия и микробиология. – 2003. – Т. 39, № 5. – С. 555–560.

4. Патент 76863 України. Штам соматичних структур дереворуйнівного базидіоміцета *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer F-1105 – продуцент екзопродуктів перекисного окиснення ліпідів / Чайка О. В., Федотов О. В. Заявка № u201204305, від 06.04.2012, МПК (2013.01), кл. C12N1/00. Бюл. № 2, від 25.01.2013.
5. Патент 78482 України. Штам соматичних структур дереворуйнівного базидіоміцета *Pleurotus eryngii* (Dc.) Quel. P-er – продуцент екзопродуктів перекисного окиснення ліпідів / Чайка О. В., Федотов О. В. Заявка № u201208872, від 18.07.2012, МПК (2006.01), кл. A01G 1/04. Бюл. № 6, від 25.03.2013.
6. Патент 79323 України. Штам соматичних структур дереворуйнівного базидіоміцета *Daedalea quercina* (L.) Pers. Dq-08 – продуцент екзопродуктів перекисного окиснення ліпідів / Чайка О. В., Федотов О. В. Заявка № u201208457, від 09.07.2012, МПК (2006.01), кл. A01G 1/04. Бюл. № 8, від 25.04.2013.
7. Патент 82088 України. Штам соматичних структур дереворуйнівного базидіоміцета *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd Th-11 – продуцент екзопродуктів перекисного окиснення ліпідів / Чайка О. В., Федотов О. В. Заявка № u201214086, від 10.12.2012, МПК (2006.01), кл. A01G 1/04. Бюл. № 14, від 25.07.2013.
8. *Приседський Ю. Г.* Статистична обробка результатів біологічних експериментів / Ю. Г. Приседський. – Донецьк: Кассіопея, 1999. – 210 с.
9. *Рабинович М. Л.* Разложение природных ароматических структур и ксенобиотиков грибами (обзор) / М. Л. Рабинович, А. В. Болобова, Л. Г. Васильченко // Прикладная биохимия и микробиология. – 2004. – 40, № 1. – С. 5–23.
10. *Федотов О. В.* Колекція культур шапинкових грибів – основа мікологічних досліджень та стратегії збереження біорізноманіття базидіоміцетів / О. В. Федотов, О. В. Чайка, Т. Є. Волошко, А. К. Велигодська // Вісник Донецького національного університету. Сер. Природн. науки. – 2012. – № 1. – С. 209–213.
11. *Чайка О. В.* Інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів ксилотрофних базидіоміцетів у глибинній культурі / О. В. Чайка, О. В. Федотов // Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого – 2013. – № 2 (8). – С. 220–236.
12. *Aust S. D.* Degradation of environmental pollutants by *Phanerochaete chrysosporium* / S. D. Aust // Microb. Ecol. – 1990. – 20. – P. 197–209.
13. *Bumpus J.* Biodegradation of azo dyes by fungi / J. Bumpus. In: Arora DK Ed Fungal Biotechnology in Agricultural Food and Environmental Applications. – New York, Marcel Dekker, 2004. – P. 457–480.
14. *Gupta R.* Microbial biomass: An economical alternative for removal of heavy metals from waste water / R. Gupta, H. Mahapatra // Indian Journal of Experimental Biology. – 2003. – 41. – P. 945–966.
15. *Hammel K. E.* Reactive oxygen species as agents of wood decay by fungi / K. E. Hammel, A. N. Kapich, K. A. Jr. Jensen, Z. C. Ryan // Enzyme and Microbial Technology. – 2002. – 30. – P. 445–453.
16. *Kamaludeen S. P.* Bioremediation of chromium contaminated environments / S. P. Kamaludeen, K. R. Arunkumar, S. Avudainayagam, K. Ramasamy // Indian Journal of Experimental Biology. – 2003. – 41. – P. 972–985.
17. *Kenkebashvili N.* Effect of carbon, nitrogen sources and copper concentration on the ligninolytic enzyme production by *Coriolopsis gallica* / N. Kenkebashvili, V. Elisashvili, S. P. Wasser // Journal of Waste Conversion Bioproducts and Biotechnology. – 2012. – 1 (2). – P. 22–27.
18. *Kirk K. T.* Influence of culture parameters on lignin metabolism by *Phanerochaete chrysosporium* / K. T. Kirk, E. Schultz, W. J. Connors et al. // Archives of Microbiology. – 1978. – V. 117 (3). – P. 277–285.

19. Kirk K. T. Production of multiple ligninases by *Phanerochaete chrysosporium*, effect of selected growth conditions and the use of a mutant strain / K. T. Kirk, S. Croan, M. Tien et al. // Enzyme Microbiol. Technol. – 1986. – V. 8. – P. 27–32.

20. Strong P. J. Treatment methods for wine-related and distillery wastewaters: a review / P. J. Strong, J. E. Burgess // Bioremediation Journal. – 2008. – 12. – P. 70–87.

21. Won R. R. Biodegradation of pentachlorophenol by white rot fungi under ligninolytic and nonligninolytic conditions / R. R. Won, H. S. Seong, Y. J. Moon et al. // Biotechnol. Bioprocess Eng. – 2000. – 5. – P. 211–214.

Надійшла до редакції 17.09.2013

Прийнята до друку 28.10.2013

Chaika A. V., Fedotov O. V.

**XENOBIOTIC METHYL ORANGE BIODEGRADATION EFFICIENCY BY XYLOTROPHIC CULTURES
DEPENDING ON PEPTONE AND GLUCOSE CONCENTRATIONS**

Donetsk National University; Schorsa Str., 46, Donetsk, 83050, Ukraine

e-mail: bio.graff@yandex.ua

Increasing amount of neogenic unnatural compounds of industrial and domestic origin necessitates the development of new ways of xenobiotics degradation. Bioremediation, i.e. environment purification using metabolic potential of biological agents, in comparison with other methods is more promising, environmentally friendly and less expensive way to purify environment. Xylotrophic basidiomycetes are able to synthesize a set of powerful extracellular enzymes capable to break down chemically stable compounds. Thereby the aim of the study was to explore the effect of glucose and peptone concentrations on xenobiotics biodegradation by submerged xylotrophic basidiomycete cultures. Promising in this regard xylotrophic basidiomycete strains *Flammulina velutipes* F-1105, *Pleurotus eryngii* P-er, *Trametes hirsuta* Th-11, and *Daedalea quercina* Dq-08 were submergely cultivated in lab shaker on glucose-peptone medium (GPM) with variation of peptone concentration from 0 to 7 g/l and glucose concentration – from 0 to 25 g/l. Absolutely dry biomass of the mycelium was determined by weighting method. The biodegradation efficiency by submerged cultures (BE) was determined by a modified method on a model compound – Methyl Orange dye. The optimum concentrations of peptone in GPM modifications for model compound degradation by culture filtrate of the strains are, (g/l): for strain *F. velutipes* F-1105 – 3.0; for strains *P. eryngii* P-er and *T. hirsuta* Th-11 – 4.0; and for strain *D. quercina* Dq-08 – 0. On peptone-optimized media the optimal concentrations of glucose were selected. They are, (g/l): for strains *F. velutipes* F-1105 and *P. eryngii* P-er – 7.5; for strain *T. hirsuta* Th-11 – 10.0; and for strain *D. quercina* Dq-08 – 5.0. In general, by selecting the concentrations of peptone and glucose in GPM modifications, BE of Methyl Orange dye degradation increased for strain *F. velutipes* F-1105 at 1.15, for strain *P. eryngii* P-er – 1.17, for strain *T. hirsuta* Th-11 – 1.10, and for strain *D. quercina* Dq-08 – at 6.48 times. Modification of GPM reduced the concentration of peptone and glucose in most of modified medias that reduced their cost. The results are the basis for further optimization of the selected xylotrophic basidiomycete strains submerged cultivation conditions to increase biodegradation of xenobiotics.

Key words: xylotrophic basidiomycetes, biodegradation, Methyl Orange.

References

1. Bisko, N.A., Bukhalo, A.S., Wasser, S.P., Dudka, I.A., Kulesh, M.D., Solomko, E.F., & Shevchenko, S.V. (1983). Higher edible Basidiomycetes in surface and submerged culture. Kyiv, 311 p.
2. Gorbatova, O.N., Koroleva, O.V., Landesman, Ye.O., Stepanova, Ye.V., & Zherdev, A.V. (2006). The induction of biosynthesis of laccase as a way to increase the capacity of detoxification by basidiomycetes. Applied Biochemistry and Microbiology, 42(4), 468-474.
3. Kadimaliyev, D.A., Revin, V.V., Atykyan, H.A., & Samuilov, V.D. (2003). Effect of wood modification on lignin consumption and synthesis of lignolytic enzymes by fungus *Partus (Lentinus) tigrinus*. Applied Biochemistry and Microbiology, 39(5), 555-560.
4. Patent 76863 of Ukraine (2013). Strain of somatic structures of wood-decaying basidiomycete *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer F- 1105 – producer of exogenous lipid peroxidation products. Chaika O.V., Fedotov O.V. Application № u201204305, from 06.04.2012, IPC (2013.01), cl. C12N1/00. Bull. № 2, from 25.01.2013.
5. Patent 78482 of Ukraine (2013). Strain of somatic structures of wood-decaying basidiomycete *Pleurotus eryngii* (Dc.) Quel. P-er – producer of exogenous lipid peroxidation products. Chaika O.V., Fedotov O.V. Application № u201208872, from 18.07.2012, IPC (2006.01), cl. A01G 1/04. Bull. № 6, from 25.03.2013.
6. Patent 79323 of Ukraine (2013). Strain of somatic structures of wood-decaying basidiomycete *Daedalea quercina* (L.) Pers. Dq-08 – producer of exogenous lipid peroxidation products. Chaika O.V., Fedotov O.V. Application № u201208457, from 09.07.2012, IPC (2006.01), cl. A01G 1/04. Bull. № 8, from 25.04.2013.
7. Patent 82088 of Ukraine (2013). Strain of somatic structures of wood-decaying basidiomycete *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd Th-11 – producer of exogenous lipid peroxidation products. Chaika O.V., Fedotov O.V. Application № u201214086, from 10.12.2012, IPC (2006.01), cl. A01G 1/04. Bull. №14, from 25.07.2013.

8. Priseds'kiy, Yu.G. (1999). Statistical processing of biological experiments results. Donetsk, 210 p.
9. Rabinovich, M.L., Bolobova, A.B., & Vasil'chenko, L.G. (2004). The decomposition of natural aromatic structures and xenobiotics by mushrooms (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 40(1), 5-23.
10. Fedotov, O.V., Chaika, O.V., Voloshko, T.E., & Veligodska, A.K. (2012). Culture Collection of mushrooms – the basis of mycological research and strategy for biodiversity conservation basidiomycetes. *Bulletin of Donetsk National University. Ser. A*, 1, 209-213.
11. Chaika, O.V., & Fedotov, O.V. (2013). The intensity of lipid peroxidation xylophilic basidiomycetes in submerged culture. *Biological bulletin of Bogdan Chmelnistkiy Melitopol State Pedagogical University*, 2(8), 220-236.
12. Aust, S.D. (1990). Degradation of environmental pollutants by *Phanerochaete chrysosporium*. *Microb. Ecol.*, 20, 197-209.
13. Bumpus, J. (2004). Biodegradation of azo dyes by fungi. In: Arora DK Ed *Fungal Biotechnology in Agricultural Food and Environmental Applications*, Marcel Dekker, New York, 457-480.
14. Gupta, R., & Mahapatra, H. (2003). Microbial biomass: An economical alternative for removal of heavy metals from waste water. *Indian Journal of Experimental Biology*, 41, 945-966.
15. Hammel, K.E., Kapich, A.N., Jensen, K.A. Jr., & Ryan, Z.C. (2002). Reactive oxygen species as agents of wood decay by fungi. *Enzyme and Microbial Technology*, 30, 445-453.
16. Kamaludeen, S.P., Arunkumar, K.R., Avudainayagam, S., & Ramasamy, K. (2003). Bioremediation of chromium contaminated environments. *Indian Journal of Experimental Biology*, 41, 972-985.
17. Kenkebashvili, N., Elisashvili, V., & Wasser, S.P. (2012). Effect of carbon, nitrogen sources and copper concentration on the ligninolytic enzyme production by *Corioloropsis gallica*. *Journal of Waste Conversion Bioproducts and Biotechnology*, 1(2), 22-27.
18. Kirk, K.T., Schultz, E., Connors, W.J., Lorenz, L.F., & Zeikus, J.G. (1978). Influence of culture parameters on lignin metabolism by *Phanerochaete chrysosporium*. *Archives of Microbiology*, 117(3), 277-285.
19. Kirk, K.T., Croan, S., Tien, M., Murtagh, K.E., & Farrell, R.L. (1986). Production of multiple ligninases by *Phanerochaete chrysosporium*, effect of selected growth conditions and the use of a mutant strain. *Enzyme Microbiol. Technol.*, 8, 27-32.
20. Strong, P.J., & Burgess, J.E. (2008). Treatment methods for wine-related ad distillery wastewaters: a review. *Bioremediation Journal*, 12, 70-87.
21. Won, R.R., Seong, H.S., Moon, Y.J., Yeong, J.J., Kwang, K.O., & Moo, H.C. (2000). Biodegradation of pentachlorophenol by white rot fungi under ligninolytic and nonligninolytic conditions. *Biotechnol. Bioprocess Eng.*, 5, 211-214.

Received: 17.09.2013

Accepted: 28.10.2013