

О.В. Чайка, О.В. Федотов

**ВПЛИВ ДЖЕРЕЛ ВУГЛЕЦЕВОГО ТА АЗОТНОГО ЖИВЛЕННЯ НА
БІОДЕГРАДАЦІЮ КСЕНОБІОТИКІВ КУЛЬТУРАМИ КСИЛОТРОФІВ**

Донецький національний університет,
вул. Університетська, 24, м. Донецьк, 83000, Україна
e-mail: bio.graff@yandex.ua

Стаття присвячена вивченню впливу різноманітних джерел вуглецевого та азотного живлення на ефективність біодеградації забруднювачів глибинними культурами ксилотрофів. Перспективні за даною активністю штами ксилотрофів *Flammulina velutipes* F-1105, *Pleurotus eryngii* P-er, *Trametes hirsuta* Th-11 і *Daedalea quercina* Dq-08 культивували глибинним методом на модифікаціях глюкозо-пептонного середовища. Дослідили 24 джерела вуглецевого та 15 – азотного живлення. Визначали абсолютно суху біомасу міцелію ваговим методом та розраховували її приріст.

В якості модельної сполуки для встановлення ефективності біодеградації забруднювачів використовували барвник *Methyl Orange*. Встановлені індивідуальні вуглець- та азотовмісні компоненти модифікацій глюкозо-пептонного середовища, культивування на яких забезпечує індукцію ефективності деструкції модельної сполуки *Methyl Orange* культуральним фільтратом досліджуваних штамів. В більшості випадків це джерела вуглецю - глюкоза, фруктоза, ксилоза, крохмаль, гліцерин і ПЕГ-1500 та джерела азоту - сечовина і пептон. Показано, що індукція ефективності біодеградації може бути наслідком індуктивної дії поживного компоненту на загальний рівень обмінних процесів культури або проявом адаптивної реакції до несприятливих умов.

Ключові слова: ксилотрофні базидіоміцети, біодеградація, *Methyl Orange*.

Чайка А.В., Федотов О.В.

**ВЛИЯНИЕ ИСТОЧНИКОВ УГЛЕРОДНОГО И АЗОТНОГО ПИТАНИЯ НА
БИОДЕГРАДАЦИЮ КСЕНОБИОТИКОВ КУЛЬТУРАМИ КСИЛОТРОФОВ**

Донецкий национальный университет
ул. Университетская, 24, г. Донецк, 83000, Украина
e-mail: bio.graff@yandex.ua

Статья посвящена изучению влияния различных источников углеродного и азотного питания на эффективность биодegradации загрязнителей глубинными культурами ксилотрофов. Перспективные по данной активности штаммы ксилотрофов *Flammulina velutipes* F-1105, *Pleurotus eryngii* P-er, *Trametes hirsuta* Th-11 и *Daedalea quercina* Dq-08 культивировали глубинным методом на модификациях глюкозо-пептонной среды. Исследовали 24 источника углеродного и 15 – азотного питания. Определяли абсолютно сухую биомассу мицелия весовым методом и рассчитывали ее прирост.

В качестве модельного соединения для установления эффективности биодegradации ксенобиотиков использовали краситель *Methyl Orange*. Установлены



индивидуальные углерод- и азотосодержащие компоненты модификаций глюкозо-пептонной среды, культивирование на которых обеспечивает индукцию эффективности деструкции модельного соединения *Methyl Orange* культуральным фильтратом исследуемых штаммов. В большинстве случаев это источники углерода - глюкоза, фруктоза, ксилоза, крахмал, глицерин, ПЭГ-1500 и источники азота - мочевины и пептон. Показано, что индукция эффективности биodeградации может быть следствием индуктивного действия питательного компонента на общий уровень обменных процессов культуры или проявлением адаптивной реакции на неблагоприятные условия.

Ключевые слова: ксилотрофные базидиомицеты, биodeградация, *Methyl Orange*.

Chaika A., Fedotov O.

THE INFLUENCE OF CARBON AND NITROGEN SOURCES ON XENOBIOTICS
BIODEGRADATION BY XYLOTROPHIC BASIDIOMYCETES CULTURES

Donetsk National University

Str. Universitetskaya, 24, Donetsk, 83000, Ukraine

e-mail: bio.graff@yandex.ua

The effect of different carbon and nitrogen nutrition sources on the efficiency of xenobiotic biodegradation was investigated by means of submerged xylotrophic basidiomycetes cultures. We cultivated the prospective strains of xylotrophic basidiomycetes like *Flammulina velutipes* F-1105, *Pleurotus eryngii* P-er, *Trametes hirsuta* Th-11, and *Daedalea quercina* Dq-08 on the lab shaker on modified glucose-peptone medium. Some 24 of the carbon and 15 of the nitrogen nutrition sources were investigated. Absolutely dry biomass of the mycelium was determined by weighting method.

The pollutants biodegradation efficiency of submerged cultures was determined by a modified method on a model compound – *Methyl Orange*. The individual carbon- and nitrogen-containing components of the modified glucose-peptone medium, the cultivation on which provides induction of model compound *Methyl Orange* biodegradation efficiency of the strains was also determined. They mostly were the carbon sources like glucose, fructose, xylose, starch, glycerol, PEG -1500, and the nitrogen sources like urea and peptone. It is suggested that the biodegradation efficiency of induction could be caused either by inductive action of the nutrient component on metabolism of culture or by the manifestation of an adaptive response to adverse conditions.

Keywords: xylotrophic basidiomycetes, biodegradation, *Methyl Orange*.

Ксилотрофні базидіоміцети є ключовими організмами-деструкторами природних екосистем. Це обумовлено унікальними властивостями їхнього ферментного комплексу, що забезпечує ефективну біоконверсію органічних решток (Eriksson, 1990; Sannia, 1991). Встановлено, що ензими ксилотрофів мають широку субстратну специфічність та спроможні трансформувати не тільки органічні речовини природного походження, а й різноманітні ксенобіотики (Рабинович, 2004). В результаті відбувається повне розкладання

або неповне перетворення молекули ксенобіотику, внаслідок чого втрачається її токсичність і підвищується біодоступність (Hammel, 2002). Така властивість ксилотрофів розкриває широкі перспективи до використання їх в процесах біоремедіації, тобто очищення середовища за допомогою метаболічного потенціалу біологічних агентів (Kamaludeen, 2003; Strong, 2008). Адже, як відомо, однією з основних глобальних проблем сьогодення стало утворення та неконтрольоване скидання у великих кількостях промислових і міських відходів у навколишнє середовище. Як наслідок, відбувається стрімке забруднення води та зниження родючості ґрунту (Strong, 2008). В зв'язку з цим є актуальним пошук нових ефективних, екологічно безпечних і недорогих способів деградації ксенобіотиків з використанням біологічних агентів (Kamaludeen, 2003; Aust, 1990).

Встановлено, що умови навколишнього середовища, зокрема склад субстрату, спричиняють значний вплив на фізіологічні процеси ксилотрофів. Так, при їх дослідженні *ex situ* можлива регуляція факторами культивування рівноваги прооксидантно-антиоксидантної системи та, як наслідок синтезу і активності ферментів (Горбатова, 2006; Чайка, 2011; Won, 2000). Найважливішими серед таких факторів є компоненти живильного середовища – джерела вуглецевого та азотного живлення (Kirk, 1978, 1986). З іншого боку, здатність до засвоєння таких компонентів культурою гриба залежить від їх хімічної будови, причому ця здатність може значно варіювати у штамів одного виду (Бисько, 1983; Ганбаров, 1989; Rogalski, 1991). У попередніх дослідженнях нами було встановлено низку штамів ксилотрофів – перспективних для використання у процесах біодеградації (Пат. 76863; Пат. 78482; Пат. 79323; Пат. 82088).

Таким чином, метою роботи було встановлення впливу різноманітних джерел вуглецевого та азотного живлення на ефективність біодеградації модельної сполуки глибинними культурами ксилотрофів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктами дослідження були штами ксилотрофів *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer F-1105 (Пат. 76863) і *Pleurotus eryngii* (DC.) Quél. P-er (Пат. 78482) – видів порядку *Agaricales*; та *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd Th-11 (Пат. 82088) і *Daedalea quercina* (L.) Pers. Dq-08 (Пат. 79323) – видів порядку *Polyporales*. Штами F-1105, P-er та Th-11 викликають білу, а штам Dq-08 – буру гниль деревини і зберігаються в колекції культур базидіоміцетів кафедри фізіології рослин Донецького національного університету (Федотов, 2012).

В попередніх дослідженнях ці штами відібрані як перспективні для розробки способів біодеградації забруднювачів довкілля. Для них розроблено способи глибинного культивування та модифікації глюкозо-пептонного середовища (ГПС_м).



Штам *F. velutipes* F-1105 культивували на ГПС_м наступного складу, на літр: лігносульфонат – 3,5 г, Твін-80 – 1,0 г, розчин мінеральних елементів Кірка (Kirk, 1986) – 70 мл, пептон – 3,0 г, глюкоза – 7,5 г, KH_2PO_4 – 0,6 г, K_2HPO_4 – 0,4 г.

Для штаму *P. eryngii* P-er – цей склад був: лігносульфонат – 5,0 г, Твін-80 – 1,0 г, розчин мінеральних елементів Кірка – 70 мл, пептон – 4,0 г, глюкоза – 7,5 г, KH_2PO_4 – 0,6 г, K_2HPO_4 – 0,4 г.

Для штаму *T. hirsuta* Th-11 – лігносульфонат – 5,0 г; Твін-80 – 1,0 г; розчин мінеральних елементів Кірка – 105 мл, пептон – 4,0 г, глюкоза – 10,0 г, KH_2PO_4 – 0,6 г, K_2HPO_4 – 0,4 г.

Для штаму *D. quercina* Dq-08 – лігносульфонат – 6,5 г; Твін-80 – 1,0 г; розчин мінеральних елементів Кірка – 105 мл, глюкоза – 5,0 г, KH_2PO_4 – 0,6 г, K_2HPO_4 – 0,4 г.

В якості джерел вуглецю, в ГПС_м вносили 24 сполуки. Це моносахариди – глюкоза, фруктоза, арабіноза, галактоза, маноза, ксилоза; дисахариди – сахароза і лактоза; трисахарид – рафіноза; полісахариди – крохмаль і целюлоза; трьохатомний спирт – гліцерин; органічні кислоти – бурштинова, щавлева, оцтова, яблучна; цукроспирти – сорбіт, маніт, інозит; синтетичні полімери – поліетиленгліколи ПЕГ-1500 та ПЕГ-6000; а також соняшникова олія, деревна (дубова) і соєва мука.

В якості джерел азоту використовували його мінеральні та органічні форми. Це 15 сполук, серед яких: пептон; амідні – сечовина, L-аспарагін, L-глутамін; амінокарбонові кислоти – DL-аланін, L-лейцин, триптофан; сірковмісна амінокислота DL-метіонін; нітратні форми азоту – нітрат натрію, нітрат кальцію, нітрат магнію; амонійні форми азоту – нітрат амонію, хлорид амонію, сульфат амонію; нітритна форма азоту – нітрит натрію.

Джерела вуглецевого та азотного живлення додавали у середовища в концентрації, еквівалентній вмісту вуглецю та азоту в ГПС_м для кожного штаму з глюкозою та пептоном.

Початковий рН живильних середовищ складав $6,62 \pm 0,06$ од.

Процес культивування штамів глибинним методом (Пат. 76863) проводили при $25 \pm 1^\circ\text{C}$ в колбах ємністю 250 мл з 50 мл середовища на лабораторній качалці АВУ-6С (Росія) зі зворотно-поступальним рухом. Інокулюмом слугував гомогенізований глибинний міцелій, що вирощувався в аналогічних умовах в колбах з шипоподібними відбійниками протягом 7 діб. Інокулюм вносили в кількості 10% за об'ємом.

Перед інокуляцією асептично відбирали проби та визначали абсолютно суху біомасу і 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 (Бисько, 1983) та розраховували її приріст.

Для визначення ефективності окислювальної деструкції речовин (ЕД) було обрано модельну сполуку – широко використовуваний барвник *Methyl Orange* (CAS 547-58-0), що відноситься до класу азобарвників. Визначену кількість КФ (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 температурі +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 розраховували за формулою:

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

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. Достовірною вважалася різниця за рівня вірогідності $P > 0,95$ (Приседський, 1999).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Результати першого етапу дослідження – встановлення рівня приросту АСБ штамінів на ГПС_м з різними джерелами вуглецю надано на рис. 1.

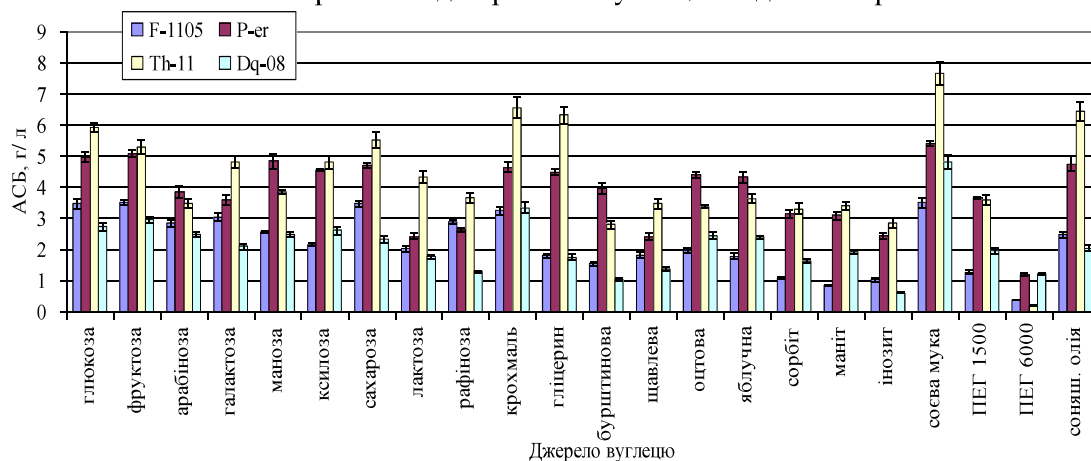


Рис. 1. Приріст АСБ досліджуваних штамінів на різних джерелах вуглецю.

Fig. 1. The increase in biomass of basidiomycetes strains on different carbon sources.

Найбільш сприятливими джерелами вуглецю для росту штаму *F. velutipes*



F-1105 є фруктоза, соєва мука, глюкоза та сахароза (в порядку убутання). Найменш сприятливими – цукроспирти, поліетиленгліколі, органічні кислоти та гліцерин. Мінімальний приріст АСБ – $0,37 \pm 0,02$ г/л – що для даного штаму було зафіксовано на середовищі з ПЕГ-6000.

Для штаму *P. eryngii* P-er найбільший приріст АСБ було встановлено на модифікаціях середовища з соєвою мукою з максимальним приростом АСБ – $5,41 \pm 0,07$ г/л, а також фруктозою і глюкозою. Найменший приріст АСБ зафіксовано на середовищах з ПЕГ-6000, лактозою, щавлевою кислотою та інозитом.

Штам *T. hirsuta* Th-11 ефективно використовував наступні джерела вуглецю: крохмаль, соняшникову олію та гліцерин. Максимум АСБ було встановлено на середовищі з соєвою мукою. Найменш сприятливими для росту даного штаму виявилися органічні кислоти, сахароспирти, та арабіноза. Майже зовсім не зафіксовано росту штаму на ПЕГ-6000.

Найбільш придатними для накопичення АСБ штаму *D. quercina* Dq-08 виявилися ГПС_м з соєвою мукою, крохмалем і фруктозою. Найменш придатними – з бурштиною кислотою, ПЕГ-6000 та рафінозою. Мінімальний приріст АСБ даного штаму було встановлено на середовищі з інозитом.

За візуальними спостереженнями сприятливими джерелами вуглецю, за рівнем накопичення АСБ всіх досліджуваних штамів, виявилися целюлоза та дубова мука. Ці результати не представлені на графіку через включення наприкінці терміну культивування в склад пелетів невикористаних кристалів мікрокристалічної целюлози чи частинок муки, що не дає змогу коректно визначити АСБ.

Отже, для ефективного накопичення АСБ дослідженими штамми у глибинній культурі можна рекомендувати ГПС_м з соєвою мукою. Добре ростуть штами також на середовищах з глюкозою, фруктозою, крохмалем, сахарозою та соняшnikовою олією. Найменш сприятливим вуглецевмісним джерелом для росту штамів є ПЕГ-6000. Низький приріст АСБ також відмічено на середовищах з органічними кислотами, цукроспиртами та рафінозою.

Ефективність деструкції модельної сполуки – барвника *Methyl Orange* КФ досліджуваних штамів при їх культивуванні на ГПС_м з різними джерелами вуглецю змінюється в широких межах (рис. 2).

ЕД штаму *F. velutipes* F-1105 була найвищою на середовищі з крохмалем і дорівнювала $28,99 \pm 1,25\%$. Дещо нижчою вона була на середовищах з глюкозою, сахарозою та фруктозою. Низьку ЕД встановлено на середовищах з арабінозою, занозою та щавлевою кислотою. На середовищах з соєвою мукою, ПЕГ-6000 та соняшниковою олією деградації модельної сполуки встановлено не було.

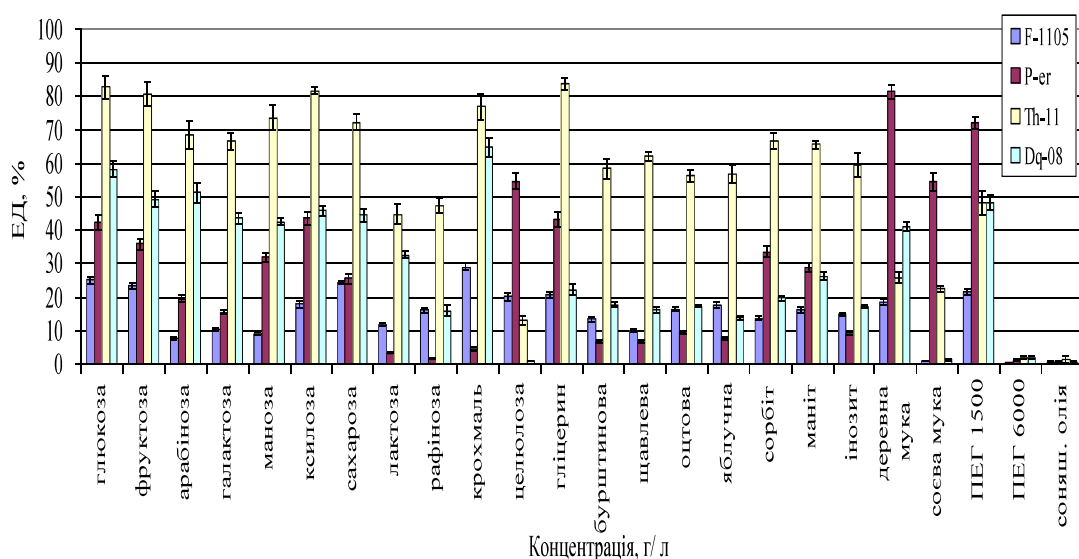


Рис. 2. Ефективність деструкції модельної сполуки КФ досліджуваних штамів на різних джерелах вуглецю.

Fig. 2. The model compound degradation of basidiomycetes strains' culture filtrate on different carbon sources.

Максимальний рівень ЕД КФ штаму *P. eryngii* P-er було встановлено на середовищі з деревною мукою – $81,31 \pm 2,09\%$, що майже в 2 рази вище порівняно з середовищем з глюкозою. Високі значення ЕД були зафіксовані на середовищах з ПЕГ-1500, соєвою мукою і целюлозою; а низькі – на середовищах з лактозою і крохмалем. Не було встановлено деградації модельної сполуки на середовищах з рафінозою, ПЕГ-6000 та соняшниковою олією.

Найвищий рівень ЕД КФ штаму *T. hirsuta* Th-11 – вище 80% – був зафіксований на середовищах з гліцерином, глюкозою, ксиліозою і фруктозою. Не сприяють деградації *Methyl Orange* наступні джерела вуглецю: целюлоза, соєва та деревна мука. Майже нульовий рівень ЕД спостерігали на середовищах з ПЕГ-6000 та соняшниковою олією.

Найбільш сприятливими джерелом вуглецю за показником ЕД модельної сполуки для штаму *D. quercina* Dq-08 виявився крохмаль. На цьому середовищі рівень ЕД становив $64,65 \pm 2,83\%$ і був дещо вищим за цей показник на середовищі з глюкозою. На середовищах з целюлозою, соєвою мукою, ПЕГ-6000 та соняшниковою олією деградації модельної сполуки встановлено не було.

За результатами дослідження, для кожного штаму були встановлені індивідуальні вуглецевмісні компоненти ГПС_м, при яких зафіксована найвища індукція ЕД модельної сполуки. В більшості випадків, це такі речовини, як глюкоза, фруктоза, ксиліоза, крохмаль, гліцерин та ПЕГ-1500. І навпаки,

культивування штамів на ГПС_м з ПЕГ-6000 та соняшниковою олією показало найнижчу, близьку до нуля ефективність деструкції модельної сполуки.

Також нами були виявлені деякі джерела вуглецю – соняшникова олія, соєва мука, що можуть одночасно сприяти накопиченню АСБ і знижувати ЕД; органічні кислоти, цукроспирти, рафіноза можуть знижувати, а крохмаль, гліцерин, деревна мука та ін. – підвищувати рівень цих показників.

Наступним етапом досліджень було встановлення впливу джерел азотного живлення на ріст та ефективність біодеградації модельної сполуки глибокими культурами грибів білої гнилі. Представник грибів бурої гнилі *D. quercina* Dq-08 в досліді не використовувався, адже модифікація середовища, розроблена для індукції ЕД, окремого джерела азоту не містить.

Дослідження впливу різних джерел азоту на приріст АСБ штамів показало (рис. 3), що їх культури здатні засвоювати як органічні, так і мінеральні форми азоту. Найвищі показники приросту АСБ всіх штамів зафіксовані на середовищах з пептоном – продуктом ферментативного гідролізу білків. Цей результат є досить очікуваним, адже в природі поширені саме складні органічні джерела азоту. На другому місці за накопиченням АСБ штамів *F. velutipes* F-1105 та *P. eryngii* P-er знаходяться аспарагін та глютамін, на яких АСБ культур була менше за попереднє середовище в 1,65-1,22 рази. Доцільність використання зазначених азотовмісних джерел була встановлена в попередніх дослідженнях (Федотов, 2005).

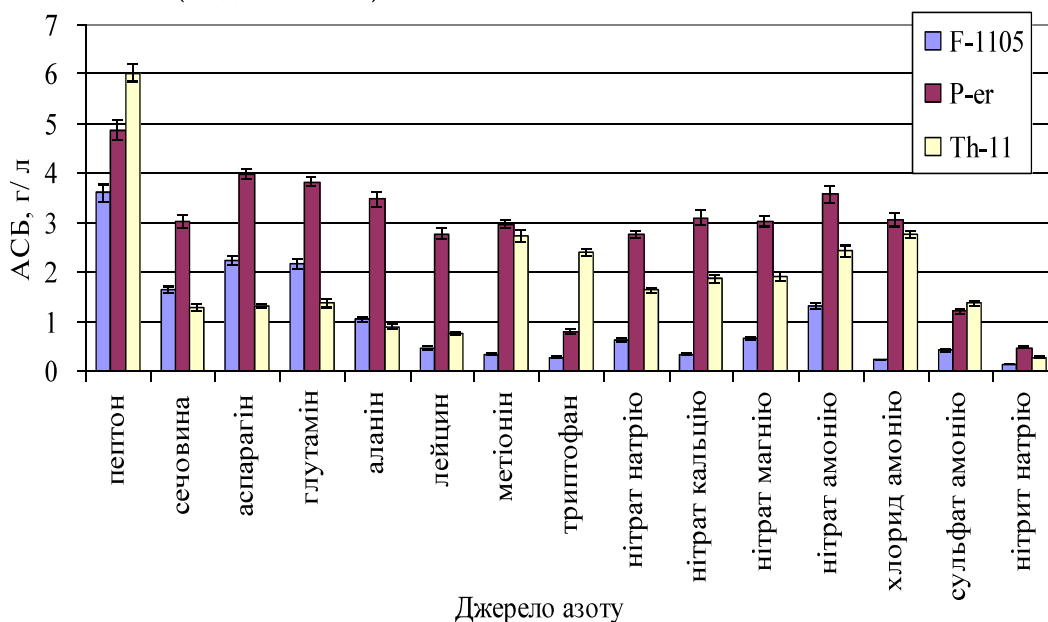


Рис. 3. Приріст АСБ досліджуваних штамів на різних джерелах азоту.

Fig. 3. The increase in biomass of basidiomycetes strains on different nitrogen sources.

Найменшу АСБ штами накопичили при рості на середовищі з нітритною формою азоту – нітритом натрію. Для росту штаму *F. velutipes* F-1105 не підходять більшість досліджуваних сполук – мінеральні форми азоту, амінокислоти та сечовина. Штам *P. eryngii* P-er краще за інші накопичував біомасу на запропонованих модифікаціях ГПС, але рівень цього показника був найменшим на середовищах з триптофаном та сульфатом амонію. Несприятливими для штаму *T. hirsuta* Th-11 виявилися амінокислоти – аланін та лейцин, амід, а також сульфат амонію.

Отже, з метою отримання біомаси досліджуваних штамів доцільно використовувати пептон в якості азотовмісного компонента. Заміна його на інші мінеральні і органічні форми азоту, в тій чи іншій мірі репресує накопичення АСБ глибинними культурами.

При культивуванні досліджуваних штамів на ГПС_м з різними джерелами азоту, ефективність деструкції модельної сполуки змінюється в широких межах (рис. 4).

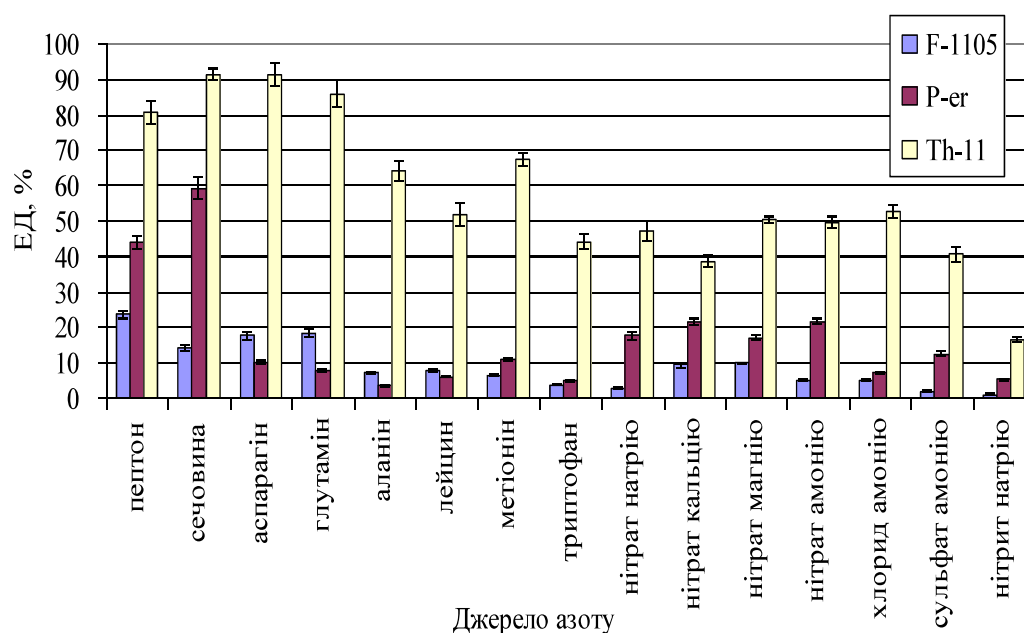


Рис. 4. Ефективність деструкції модельної сполуки КФ досліджуваних штамів на різних джерелах азоту.

Fig. 4. The effectiveness of model compound degradation of basidiomycetes strains' culture filtrate on different nitrogen sources.

Найвищі значення ЕД на всіх середовищах були характерні для штаму *T. hirsuta* Th-11, причому максимум ЕД – понад 91% – було встановлено на середовищах з сечовиною та аспарагіном. Стандартне джерело азоту – пептон – виявилося менш сприятливим для деструкції модельної сполуки даним



штамом. На середовищах з сечовиною та аспарагіном інтенсивність накопичення АСБ штамом Th-11 була нижчою за таку на середовищі з пептоном, тому індукцію ЕД в даному випадку можна вважати проявом адаптивної реакції до несприятливих умов (див. рис. 3). Найнижча ЕД КФ цього штаму встановлена на середовищі з нітритом натрію. В даному випадку несприятливе джерело азоту пригнічує загальну метаболічну активність штаму, що проявляється в низькому прирості АСБ.

При заміні в ГПС_м пептону на сечовину, штам *P. eryngii* P-er показав ЕД більшу в 1,35 рази. Всі інші джерела азоту негативно впливали на досліджуваний показник. Найбільш негативний вплив спричиняли аланін, триптофан та нітрит натрію.

Стандартне джерело азоту – пептон – виявилось найсприятливішим як для деградації модельної сполуки КФ штаму *F. velutipes* F-1105, так і для накопичення АСБ. Це вказує на індуктивну дію даного компоненту на рівень обмінних процесів культури. На середовищах з сульфатом амонію та нітратом натрію значення ЕД було найнижчим, а на середовищі з нітритом натрію даної активності не було встановлено.

Отже, досліджені гриби білої гнилі не мають спільного найсприятливішого за показником ЕД джерела азоту. Для штамів *P. eryngii* P-er і *T. hirsuta* Th-11 найкращим компонентом ГПС_м є сечовина, а для *F. velutipes* F-1105 – пептон. Найнижчі значення ЕД були отримані на середовищах з нітритом натрію, сульфатом амонію та триптофаном.

ВИСНОВКИ

Нами було досліджено вплив джерел вуглецевого та азотного живлення на біодеградацію ксенобіотиків за допомогою культур ксилотрофів *F. velutipes* F-1105, *P. eryngii* P-er, *T. hirsuta* Th-11 та *D. quercina* Dq-08. Встановлені індивідуальні вуглець- та азотовмісні компоненти модифікацій глюкозо-пептонного середовища. Культивування на цих модифікаціях середовища забезпечує індукцію ефективності деструкції модельної сполуки *Methyl Orange* КФ досліджуваних штамів. В більшості випадків це джерела вуглецю - глюкоза, фруктоза, ксилоза, крохмаль, гліцерин і ПЕГ-1500 та джерела азоту - сечовина і пептон. Показано, що індукція ЕД може бути наслідком індуктивної дії поживного компоненту на загальний рівень обмінних процесів культури або проявом адаптивної реакції штамів до несприятливих умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Eriksson K.E. Microbial and enzymic degradation of wood and wood components / K.E. Eriksson, R. Blanchette, P. Ander. – Berlin, Publ. Springer Verlag, 1990. – 407 p.
- Sannia G.P. Purification and characterization of lignin degrading veratryl alcohol oxidase from lignin degrading basidiomycete *Pleurotus ostreatus* / G.P. Sannia, E. Limongi, F. Cocca // Biochem. Biophys. Acta., 1991. – 1073. – P. 114-119.

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.

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.

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.

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.

Aust S.D. Degradation of environmental pollutants by *Phanerochaete chrysosporium* / S.D. Aust // Microb. Ecol., 1990. – 20. – P. 197-209.

Горбатова О.Н. Индукция биосинтеза лакказы как способ увеличения потенциала детоксификации базидиомицетами / О.Н. Горбатова, О.В. Королева, Е.О. Ландесман, Е.В. Степанова, А.В. Жердев // Прикладная биохимия и микробиология. 2006. – Т. 42, №4. – С. 468-474.

Чайка О.В. Ріст та інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів штаму *Pleurotus ostreatus* P-107 / О.В. Чайка, О.В. Федотов // Мікробіологія і біотехнологія. – Одеса, ОНУ ім. І.І.Мечникова, 2011. – № 3 (15). – С. 88-95.

Won R.R. Biodegradation of Pentachlorophenol by White Rot Fungi under Ligninolytic and Nonligninolytic Conditions / R.R. Won, H.S. Seong, Y.J. Moon, J.J. Yeong, K.O. Kwang, H.C. Moo // Biotechnol. Bioprocess Eng., 2000. – 5. – P. 211-214.

Kirk K.T. Influence of culture parameters on lignin metabolism by *Phanerochaete chrysosporium* / K.T. Kirk, E. Schultz, W.J. Connors, L.F. Lorenz, J.G. Zeikus // Archives of Microbiology, 1978. – V. 117 (3). – P. 277 – 285.

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, K.E. Murtagh, R.L. Farrell // Enzyme Microbiol Technol, 1986. – V. 8. – P. 27-32.

Бисько Н.А. Высшие съедобные базидиомицеты в поверхностной и глубоководной культуре / Н.А. Бисько, А.С. Бухало, С.П. Вассер, И.А. Дудка, М.Д. Кулеш, Э.Ф. Соломко, С.В. Шевченко. – К.: Наук. думка, 1983. – 311 с.

Ганбаров Х.Г. Эколого-физиологические особенности дереворазрушающих высших базидиальных грибов / Х.Г. Ганбаров. – Баку: ЭЛМ, 1989. – 200 с.

Rogalski J. Production of laccase, lignin peroxidase and manganese-dependent peroxidase by various strains of *Trametes versicolor* depending on culture conditions / J. Rogalski, T. Lundell, A. Leonowicz, A. Hattaka // Acta Microbiol. Polon., 1991. – 40. – P. 221-234.

Пат. 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.

Пат. 78482 України. Штам соматичних структур дереворуйнівного базидіоміцета *Pleurotus eryngii* (Dc.) Quel. Р-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.

Пат. 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.

Пат. 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.

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. – Донецьк: ДонНУ, 2012. – № 1. – С. 209 – 213.

Приседський Ю.Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів/ Ю.Г. Приседський. – Донецьк: Кассіопея, 1999. – 210 с.

Федотов О.В. Амінокислотний склад ферментних препаратів каталази їстівних лікарських грибів *Flammulina velutipes* і *Pleurotus ostreatus* // Вісник Донецького університету, Сер. А: Природничі науки, вип. 2. – Донецьк: ДонНУ, 2005. – С. 247–250.

REFERENCES

Eriksson, K.E., Blanchette, R., Ander, P. (1990). Microbial and enzymic degradation of wood and wood components. – Berlin, Publ. Springer Verlag.

Sannia, G.P., Limongi, E., Cocca, F. (1991). Purification and characterization of lignin degrading veratryl alcohol oxidase from lignin degrading basidiomycete *Pleurotus ostreatus*. Biochem. Biophys Acta, 1073, 114-119.

- 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.
- 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.
- Kamaludeen, S.P., Arunkumar, K.R., Avudainayagam, S., Ramasamy, K. (2003). Bioremediation of chromium contaminated environments. *Indian Journal of Experimental Biology*, 41, 972-985.
- Strong, P.J., Burgess, J.E. (2008). Treatment methods for wine-related ad distillery wastewaters: a review / *Bioremediation Journal*, 12, 70-87.
- Aust, S.D. (1990). Degradation of environmental pollutants by *Phanerochaete chrysosporium*. *Microb. Ecol.*, 20, 197-209.
- 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.
- Chaika, O.V., Fedotov, O.V. (2011). Growth and intensity of lipid peroxidation *Pleurotus ostreatus* strain P-107. *Microbiology and Biotechnology*, 3 (15), 88-95.



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.

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.

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.

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. Kiev: Naukova Dumka.

Ganbarov, H.G. (1989). Ecological and physiological characteristics of wood-decaying higher basidiomycetes. Baku, ELM.

Rogalski, J., Lundell, T., Leonowicz, A., Hattaka, A. (1991). Production of laccase, lignin peroxidase and manganese-dependent peroxidase by various strains of *Trametes versicolor* depending on culture conditions. *Acta Microbiol. Polon.* 40, 221-234.

- Chaika, O. V., Fedotov, O. V. (2013). Pat. 76863 of Ukraine. 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. (2013). Pat. 78482 of Ukraine. 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. (2013). Pat. 79323 of Ukraine. 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. (2013). Pat. 82088 of Ukraine Strain of somatic structures of wood-decaying basidiomycete *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd Th-11 – producer of exogenous lipid peroxidation products.
- Fedotov, O.V., Chaika, O.V., Voloshko, T.E., Veligodskaya, A.K. (2012). Culture Collection of mushrooms – the basis of mycological research and strategy for biodiversity conservation basidiomycetes. Bulletin of Donetsk National University. Series A, 1, 209-213.
- Priseds'kiy, Yu.G. (1999). Statistical processing of biological experiments results. Donetsk: Kassiopeya.
- Fedotov, O.V. (2005). Amino acid composition of the catalase enzymes of edible medicinal mushrooms *Flammulina velutipes* and *Pleurotus ostreatus*. Bulletin of the Donetsk University, Ser. A: Natural Sciences, 2, 247-250.



Поступила в редакцію 22.09.2013

Как цитировать:

Чайка О.В., Федотов О.В. (2013). Вплив джерел вуглецевого та азотного живлення на біодеградацію ксенобіотиків культурами ксилотрофів. *Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого*, 3 (3), 109-124. **crossref**
[http://dx.doi.org/10.7905/bbmstu.v0i3\(6\).544](http://dx.doi.org/10.7905/bbmstu.v0i3(6).544)

© Чайка, Федотов, 2013

Users are permitted to copy, use, distribute, transmit, and display the work publicly and to make and distribute derivative works, in any digital medium for any responsible purpose, subject to proper attribution of authorship.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 3.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/).