

УДК 582.28:577.158

DOI: 10.15587/2519-8025.2019.161861

КАТАЛАЗНА АКТИВНІСТЬ МАКРОМІЦЕТА *PLEUROTUS OSTREATUS* (JACQ.:FR.) P. KUMM. ЗА ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ

© К. С. Решетник, Д. С. Юськов

Фермент каталаза широко розповсюджений в організмі людини та тварин, в усіх рослинах та мікроорганізмах, за винятком облигатних анаеробів. У грибів, порівняно з іншими організмами, каталаза зустрічається частіше, ніж пероксидаза.

Метою роботи було дослідити вплив лазерного опромінення на каталазну активність макроміцета *Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr.) P. Kumm.

Матеріали і методи. Опромінення інокулюму завжди однієї щільності й віку, проводили перед посівом за допомогою світлодіодних лазерів червоного, синього та зеленого світла з потужністю 100 мВт. Каталазну активність в міцелії та культуральному фільтраті визначали спектрофотометрично, ґрунтуючись на здатності пероксиду водню утворювати із солями молібдену стійкий забарвлений комплекс.

Результати. Отримані результати дозволяють зробити висновок про відмінність вивчених штамів у активності каталази КФ та МГ. Зокрема, найвищий показник каталазної активності культурального фільтрату та гомогенату міцелії було зафіксовано для штаму P – 191 гриба *P. ostreatus*. Найгіршим продуктом екстрацелюлярної каталази виявився штам P – 108. Найнижче значення активності міцеліальної каталази було встановлено для штаму P – 192. Це найімовірніше пояснюється індивідуальними характеристиками цих штамів. Лазерне опромінення чинило позитивний вплив на активність каталази культурального фільтрату та гомогенату міцелії. Так, у культуральному фільтраті максимум каталазної активності було зафіксовано в результаті опромінення синім лазером для штаму P–191 гриба *P. ostreatus* – $2986,72 \pm 11,26$ мкат/л. Зростання активності каталази у гомогенаті міцелії було встановлено для штаму P–192 також за дії синього лазерного опромінення – на 29,59 % більше, порівняно з контролем.

Висновки. Було встановлено, що лазерне опромінення синім та зеленим світлом тривалістю 10 сек веде до зростання каталазної активності культурального фільтрату та гомогенату міцелії досліджуваних штамів *P. ostreatus*. Дія червоного світла не викликає вірогідних змін активності ферменту у більшості вивчених штамів. Найбільшою реакцією характеризувалися штами P – 191 та P – 192 гриба *P. ostreatus* у відповідь на опромінення синім світлом. Так, показник каталазної активності культурального фільтрату для штаму P – 191 зріс на 20,18 %, а активність каталази міцелії зросла на 29,59 % для штаму P – 192. Інші вивчені штами мали менш суттєві зміни каталазної функції у відповідь на дію опромінення

Ключові слова: базидіомікотові, каталазна активність, лазерне опромінення

1. Вступ

Каталаза в живих організмах виконує важливі функції пов'язані з розщепленням пероксиду водню, який утворюється під час дисмутації супероксидного аніону та за аеробного окиснення відновлених флавопротеїдів [1]. У грибів, порівняно з іншими організмами, кількість каталази значно більша, ніж пероксидази. Механізм дії каталази полягає у розкладанні пероксиду водню з виділенням молекулярного кисню. Цей фермент використовується як компонент біосенсорів для кількісного визначення вмісту пероксиду водню й етанолу в біологічних об'єктах [6]. Каталаза також застосовується для наукових досліджень, в медицині, фармакології, текстильній та харчовій промисловостях. Препарати цього ферменту використовують у клінічній діагностиці в складі диференційно–діагностичних живильних середовищ для виявлення та обліку патогенних і умовно–патогенних мікроорганізмів. Основним джерелом для отримання каталази є печінка тварин, проте такий препарат має високу вартість [2]. Однак, перспективним джерелом ферменту можуть слугувати базидієві гриби, які останнім часом використовуються для його отримання. У зв'язку з цим, перспективним є пошук нових високопродуктивних технологій культивування макроміцетів, які дозволять підвищити активність даного ферменту.

2. Літературний огляд

Завдяки розвитку фармацевтичної мікології з'явилася можливість практичного використання базидієвих грибів, які здатні синтезувати ферменти, зокрема каталазу. Відомі способи отримання цього ферменту з макроміцетів відділу *Basidiomycota: Pleurotus ostreatus, Schizophyllum commune, Fomes fomentarius, Daedalea quercina, Ganoderma lucidium, Laetiporus sulphureus, Flammulina velutipes, Fistulina hepatica*. Каталаза, отримана з цих грибів активно використовується для виготовлення профілактичних та лікувальних медичних препаратів широкого спектру дії [3, 4, 7]. Біосинтез та властивості каталаз грибного походження залишаються малодослідженими. Відомий спосіб підвищення каталазної активності міцелії *P. ostreatus* (у 2,4 раза) та культурального фільтрату (у 1,2 раза), шляхом внесення у поживне середовище сульфатів Mn^{2+} та Cu^{2+} у концентрації 8 мкмоль/л, проте даний спосіб потребує додаткових витрат [8]. Встановлено вплив джерел вуглецевого живлення на каталазну активність культурального фільтрату та міцелії *P. ostreatus* – кращими вугле-

цевмісними компонентами живильного середовища є сахароза, крохмаль, лактоза, арабіноза і глюкоза [9]. За даними Н. Н. Гесслер [13], каротиноїдсинтезуючий гриб *Neurospora crassa* під дією світла активує ферменти антиоксидантного захисту та синтез каротиноїдів. Під час розвитку окислювального стресу в темряві *N. crassa* збільшує активність супероксиддисмутази і каталази за збільшення синтезу каротиноїдів. Досліджено, що каталазна активність отриманого ферментного препарату штаму Р-01 *P. ostreatus* не поступається активності промислових препаратів [5].

Відомо, що світло регулює ріст та розвиток багатьох видів грибів. Характер впливу світла залежить від його спектрального складу та інтенсивності і може стимулювати або уповільнювати фази розвитку грибного організму, зокрема змінюючи вегетативний ріст, плодоношення та біохімічні показники [16]. Встановлено, що найефективніший вплив на морфогенез грибів чинить синє світло [12]. У грибів досліджено кілька видів фоторецепторів. Так, у базидіоміцетів *Coprinus cinereus* (Schaeff.) Gray, *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P.Kumm. і *Lentinus edodes* (Berk.) Singer знайдені гени, які кодують рецептори, відповідальні за сприйняття синього світла. Дослідження геному грибів дозволило виявити фоторецепторні гени, які кодують білки, чутливі до червоного світла [10]. Досліджено позитивний вплив УФ- і γ -опромінення на урожайність гриба *P. ostreatus*, також було встановлено, що лазерне опромінення в дозах 45–230 мДж/см² стимулює проростання спор та ріст міцелію у *Hericium erinaceus* [21]. Відомий вплив низькоінтенсивного світла на лінійний ріст та накопичення біомаси різними видами макроміцетів (*Lentinus edodes*, *Hericium erinaceus*, *Ganoderma lucidum*, *Inonotus obliquus*, *Agaricus bisporus*) [11]. Також відома стимулююча дія УФ-променів (джерело – лазер ЛГІ-21) на урожайність штамів печериці двоспорової [22]. Міцелій гриба інокулювали на живильне середовище (сусло–агар) в кварцеві пробірки і поміщали на 3 доби в термостат, де підтримувалася температура на рівні 24–25°C. На четверту добу колонії гриба, які досягали 1–2 мм в діаметрі, опромінювали, використовуючи експозиції 10 сек, 1 і 5хв. Стимулююча дія лазерного опромінювання зростала із збільшенням щільності енергії випромінювання в межах від 0,16 до 480 Дж/см² [14, 20].

Згідно із сучасними механізмами фоторегуляції живих організмів – фотохімічні реакції відбуваються завдяки збудженням електронів у атомах поглинаючої світло речовини. На молекулярному рівні це виражається у вигляді фотоіонізації речовини, її

відновлення, фотоокислення та фотодисоціації молекул, у їх перебудові – фотоізомеризації [15]. Аналіз робіт з вивчення механізмів фоторецепції у грибів, дозволяє зробити висновок про можливість використання світла для регуляції морфогенезу і біологічної активності грибів, що стане основою для створення екологічно чистих технологій їхнього культивування. Проте використання гелій–неонових лазерів, які мають значну енергоємність та великі габарити значно ускладнює технологію стимулювання процесів росту та розвитку грибів. Тому використання світлодіодних лазерів, які мають невелику вартість та потребують незначних енерговитрат при застосуванні є значно ефективнішим для інтенсифікації метаболічних процесів макроміцетів. Однак, вплив світлодіодних лазерних систем на ростові параметри макроміцетів обмежений і потребує подальшого вивчення.

3. Мета та задачі дослідження.

Мета роботи – дослідити вплив лазерного опромінення на каталазну активність макроміцета *P. ostreatus*.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Встановити вплив лазерного опромінення на каталазну активність культурального фільтрату та гомогенату міцелію гриба *P. ostreatus*.

2. Порівняти реакцію штамів гриба *P. ostreatus* на лазерне опромінення та виявити організми з максимальною активністю.

4. Матеріали та методи

Для дослідження були використані 5 штамів із колекції культур шапинкових грибів кафедри фізіології та біохімії рослин Донецького національного університету імені Василя Стуса: Р-154, Р-155, Р-191, Р-192, Р-108 гриба гливи звичайної *Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr.) P. Kumm. Досліджувані штами виділено в чисту культуру з дикоростучих плодів тїл базидієвих грибів, зібраних в різних місцевостях Донецької області. Опромінення інокулюму розміром близько 5×5 мм, завжди однієї щільності й віку, проводили перед посівом за допомогою світлодіодних лазерів червоного (довжина хвилі 635 нм), синього (довжина хвилі 405 нм) та зеленого (довжина хвилі 532 нм) світла з потужністю 100 мВт. Інокулюмом слугували 10-денні міцеліальні культури штамів, культивовані на сусло–агарі. Для контрольного посіву використовували неопромінений міцелій. Опромінення міцелію проводилося за наступною схемою (табл. 1).

Таблиця 1

Схема опромінення міцелію гриба *P. ostreatus*

Спектр опромінення	Варіант досліджу						
	1 (контроль)	2	3	4	5	6	7
	Тривалість опромінення, сек						
Червоний	0	10	0	0	5	0	5
Синій	0	0	10	0	5	5	0
Зелений	0	0	0	10	0	5	5

Міцелій гриба культивували поверхнево в кобах Ерленмеєра на стандартному глюкозо-пептонному живильному середовищі (ГПС, рН $6,5 \pm 0,2$), об'єм якого складав 50 мл. Температура культивування становила $27,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Тривалість ферментації – 12 діб, що зумовлено максимумом каталазної активності саме в період експоненціального росту [2]. Матеріалами для дослідів були гомогенізований міцелій (МГ) та культуральний фільтрат (КФ). Для цього міцелій за $5 \text{ }^\circ\text{C}$ відділяли від культуральної рідини шляхом фільтрування, після чого фільтрат використовували для визначення КА. Міцелій додатково підсушували на фільтрувальному папері й охолоджували до $+1 \text{ }^\circ\text{C}$. Підготовлений міцелій гомогенізували в охолодженій ступці. КА визначали в міцелії (на одиницю маси, г) та у культуральному фільтраті (на одиницю об'єму, л) спектрофотометрично за О. В. Федотовим [17], ґрунтуючись на здатності пероксиду водню утворювати із солями молібдену стійкий забарвлений комплекс. Інтенсивність забарвлення вимірювали на спектрофотометрі за довжини хвилі 410 нм проти нульової проби з дистильованою водою. За одиницю активності каталази приймали таку кількість ензиму, яка

бере участь у перетворенні 1 мкмоль пероксиду водню за 1 с за заданих умов [17].

Усі досліді проводили у трикратній повторюваності. Для визначення вірогідності впливу лазерного опромінення на активність каталази застосовували метод дисперсійного аналізу. Порівняння середніх значень вели за методом Дункана [18]. Обробку проводили за допомогою пакета статистичних програм, створених на кафедрі фізіології рослин Донецького національного університету імені Василя Стуса [19].

5. Результати дослідження та їх обговорення

Результати досліджень дозволяють зробити висновки про позитивний вплив лазерного опромінення на активність каталази культурального фільтрату та гомогенату міцелію досліджуваних штамів *P. ostreatus*. Реакція на опромінення різнилася залежно від спектральних характеристик опромінення та індивідуальних особливостей штамів. Так, для штаму Р-191 гриба *P. ostreatus* показники КА культурального фільтрату вірогідно зросли в результаті опромінення синім (варіант 3) на 20,18 % та зеленим лазером (варіант 4) на 10,95 % до контрольних варіантів дослідів відповідно (рис. 1).

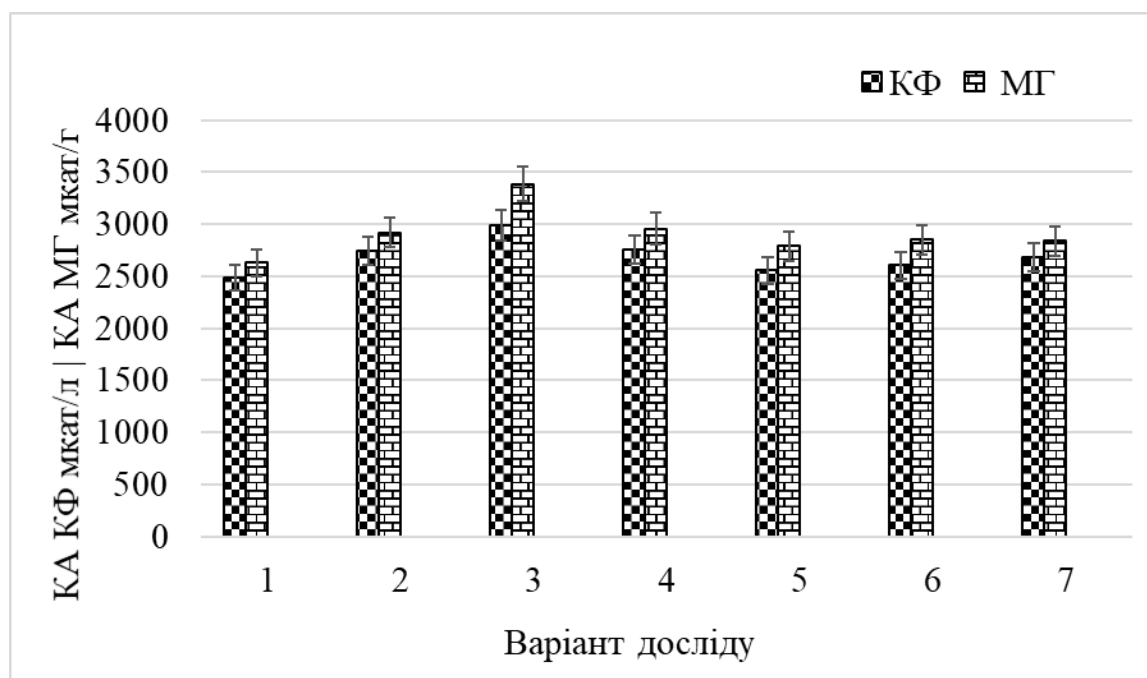


Рис. 1. Вплив лазерного опромінення міцелію на активність каталази культурального фільтрату та міцелію штаму Р-191 гриба *Pleurotus ostreatus* (варіанти досліді згідно із табл. 1)

Опромінення синім (варіант 3) світлодіодним лазером збільшило активність міцеліальної каталази на 28,92 %. Вплив зеленого лазера (варіант 4) викликав збільшення КА міцелію на 12,58 %. За комплексного опромінення синім та зеленим лазером (варіант 6) активність каталази гомогенату міцелію зросла на 8,42 % порівняно з контролем. Зміни каталазної активності у культуральному фільтраті та міцелії за дії червоного лазерного опромінення (варіант 2) були не вірогідними.

Активність каталази у культуральному фільтраті штаму Р-154 *P. ostreatus* вірогідно зросла на 17,27 % за дії синього лазера (варіант 3), на 10,60 % за дії зеленого лазера (варіант 4) та за дії синього і зеленого лазерів на 9,42 % (варіант 6). Активність міцеліальної каталази для даного штаму гриба вірогідно збільшилась відповідно до контролю на 14,38 % за дії червоного лазера (варіант 2), на 24,59 % в результаті впливу синього лазера (варіант 3) та на 10,79 % при комплексному опроміненні міцелію червоним та синім лазером (варіант 5) (рис. 2).

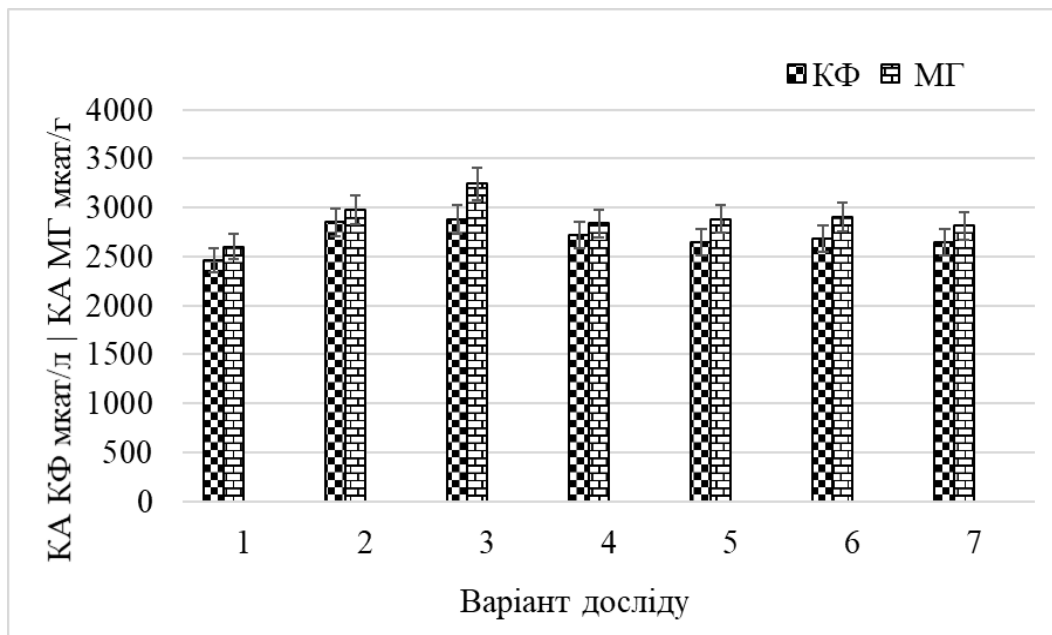


Рис. 2. Вплив лазерного опромінення міцелію на активність каталази культурального фільтрату та міцелію штаму P-154 гриба *Pleurotus ostreatus* (варіанти дослідження згідно із табл. 1)

Результати впливу лазерного опромінення на активність каталази культурального фільтрату та міцеліального гомогенату для штаму P-155 гриба *P. ostreatus* виявилися наступними. Зростання КА фільтрату на 17,03 % було зафіксовано у 3 варіанті дослідження в результаті впливу синього лазерного опромінення. Активність каталази КФ у 4 (зелений лазер) та у 5 варіанті (червоний та синій лазери) збільшилась з $2464,16 \pm 17,04$ мкат/л у контролі до

$2880,41 \pm 15,46$ мкат/л та $2645,24 \pm 16,84$ мкат/л відповідно у досліджах. За дії синього лазерного опромінення (варіант 3) активність каталази гомогенату міцелію зросла на 26,09 %, опромінення зеленим лазером (варіант 4) підвищило активність міцеліальної каталази на 11,73 %, а комплексне опромінення синім та зеленим лазером (варіант 6) збільшило КА міцелію на 13,11 % порівняно з контролем (рис. 3).

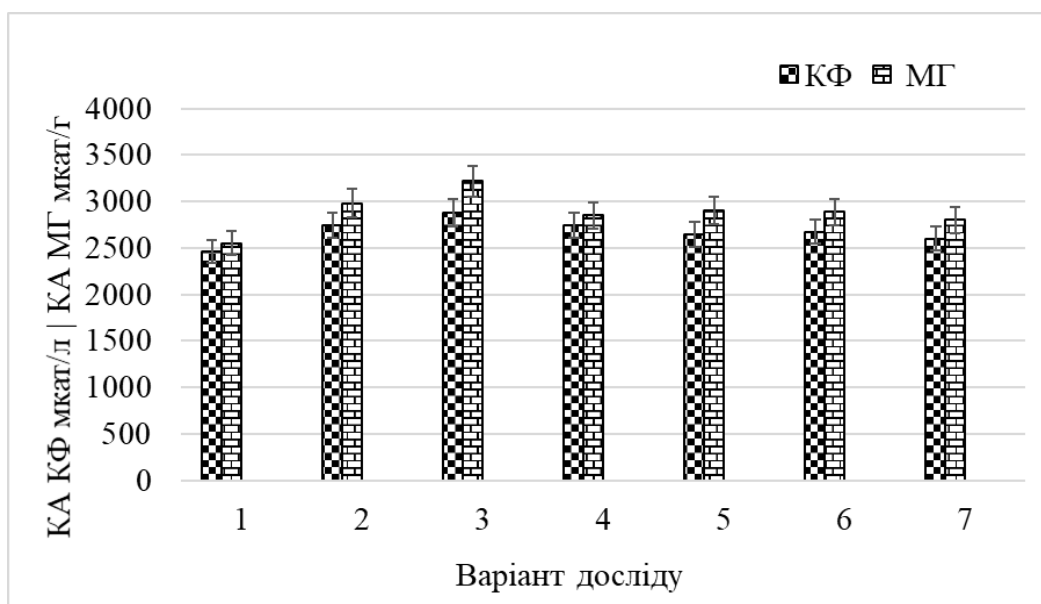


Рис. 3. Вплив лазерного опромінення міцелію на активність каталази культурального фільтрату та міцелію штаму P-155 гриба *Pleurotus ostreatus* (варіанти дослідження згідно із табл. 1)

Результати впливу лазерного опромінення міцелію для штаму P-192 гриба *P. ostreatus* наступні. Опромінення червоним лазером (варіант 2) та синім лазером (варіант 3) сприяло зростанню КА культурального фільтрату з $2461,84 \pm 11,48$ мкат/л у контролі до $2689,15 \pm 11,25$ мкат/л та $2742,44 \pm 17,21$ мкат/л у

дослідженнях відповідно. Активність цього ферменту у міцелії зросла в результаті опромінення червоним (варіант 2) та синім лазером (варіант 3) на 15,94 % та 29,59 % відповідно. Комплексне опромінення червоним та синім лазером (варіант 5) збільшило показник активності каталази міцелію на 11,99 % (рис. 4).

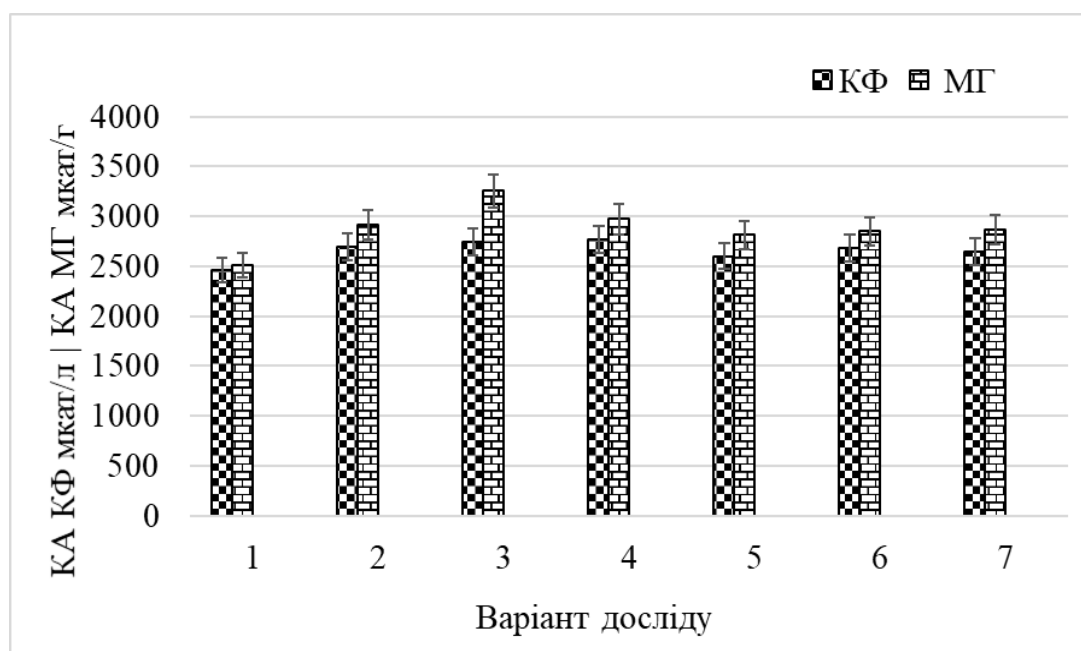


Рис. 4. Вплив лазерного опромінення міцелію на активність каталази культурального фільтрату та міцелію штаму P-192 гриба *Pleurotus ostreatus* (варіанти дослідження згідно із табл. 1)

За дії опромінення червоним лазером (варіант 2) для штаму P-108 гриба *P. ostreatus* показник КА культурального фільтрату підвищився на 14,50 % у порівнянні з контролем. Лазерне опромінення у 3 варіанті дослідження (синій лазер) та у 4 варіанті (зелений лазер) збільшило активність каталази фільтрату на 19,70 % та на 10,22 % відповідно. Активність міцеліальної каталази зросла в результаті опромінення червоним лазером (варіант 2) з $2560,11 \pm 13,47$ мкат/г до

$2990,20 \pm 18,66$ мкат/г. У 3 варіанті дослідження (синій лазер) показник КА міцелію збільшився на 25,14 % порівняно з контролем. Опромінення зеленим світлодіодним лазером (варіант 4) збільшило КА гомогенату міцелію на 13,83 %. У результаті комплексного опромінення міцелію синім та зеленим лазерами (варіант 6) активність каталази у міцелії збільшилась з $2560,11 \pm 13,47$ мкат/г у контролі до $2931,86 \pm 18,96$ у досліді (рис. 5).

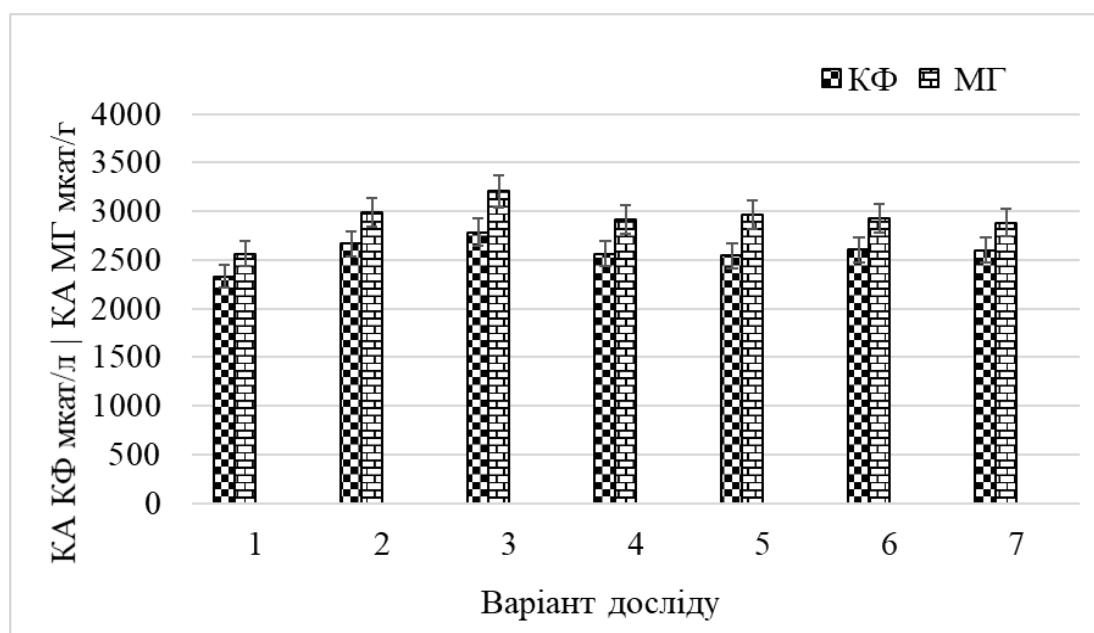


Рис. 5. Вплив лазерного опромінення міцелію на активність каталази культурального фільтрату та міцелію штаму P-108 гриба *Pleurotus ostreatus* (варіанти дослідження згідно із табл. 1)

Отримані результати дозволяють зробити висновок про відмінність вивчених штамів у активності каталази КФ та МГ. Зокрема, найвищий показник каталазної активності культурального фільтрату та гомогенату міцелію було зафіксовано для штаму P-191 гриба *P.*

ostreatus. Найгіршим продуцентом екстрацелюлярної каталази виявився штам P-108. Найнижче значення активності міцеліальної каталази було встановлено для штаму P-192. Це найімовірніше пояснюється індивідуальними характеристиками цих штамів.

Лазерне опромінення чинило позитивний вплив на активність каталази культурального фільтрату та гомогенату міцелію. Так, у культуральному фільтраті максимум каталазної активності було зафіксовано в результаті опромінення синім лазером для штаму Р-191 гриба *P. ostreatus* – $2986,72 \pm 11,26$ мкат/л. Зростання активності каталази у гомогенаті міцелію було встановлено для штаму Р-192 також за дії синього лазерного опромінення – на 29,59 % порівняно з контролем. Дещо гіршою була реакція на вплив синього лазерного опромінення для штамів Р-155, Р-154, Р-192, Р-108 – активність каталази у культуральному фільтраті зростала від 11,44 до 19,70 %. Активність міцеліальної каталази за даних умов опромінення зростала на 25,14 - 26,09 %. Лише для штамів Р – 192 та Р – 108 було встановлено вірогідний вплив червоного лазерного опромінення на КА фільтрату – цей показник збільшився на 9,23 % та 14,50 % відповідно. За цих умов опромінення відбулося зростання КА гомогенату міцелію для штамів Р – 192, Р – 108 та Р – 154 – на 14,38 – 16,80 % порівняно з контролем. Опромінення зеленим лазером сприяло незначному зростанню активності каталази КФ для усіх досліджуваних штамів – від 10,22 до 11,44 %. Активність каталази міцелію за цього опромінення вірогідно зросла на 11,73 % – 13,83 % для штамів Р – 191, Р – 155 та Р – 108. Для штаму Р – 192 за такого режиму опромінення зростання активності ферменту було не вірогідним. Реакція у відповідь на дію комплексного опромінення синім та зеленим світлом вірогідною була для штамів Р – 191, Р – 154, Р – 155 та Р – 108, причому активність каталази гомогенату міцелію зросла для штамів Р – 191, Р – 155 та Р – 108 на 8,42 – 14,52 %, а КА фільтрату збільшилась на 9,42 % лише для штаму Р – 154. Було встановлено вірогідний вплив комплексного лазерного опромінення червоним та синім світлом на актив-

ність даного ферменту для штамів Р – 154, Р – 155 та Р – 192. Так, активність каталази міцелію збільшилась на 10,79 % та 11,99 % відповідно для штамів Р – 154 та Р – 192, а КА культурального фільтрату зросла на 7,48 % та 5,66 % для штамів Р – 155 та Р – 192 відповідно. Вплив комплексного лазерного опромінення червоним та зеленим світлом для усіх досліджуваних штамів виявився не вірогідним. Результати наших досліджень з впливу лазерного опромінення на ферментну активність *P. ostreatus* співпадають із сучасними уявленнями про механізми фоторегуляції фізіолого-біохімічних та морфогенетичних процесів у живих організмах [15].

Таким чином, проведене нами дослідження fotocутливості *P. ostreatus* до когерентного монохроматичного світла дозволило встановити загальні закономірності та індивідуальні особливості реакцій різних штамів *P. ostreatus* на спектр світла і визначити ефективні параметри лазерної фотоактивації, які дозволяють значно підвищити каталазну активність.

6. Висновки

1. Встановлено, що лазерне опромінення синім та зеленим світлом тривалістю 10 сек веде до зростання каталазної активності культурального фільтрату та гомогенату міцелію досліджуваних штамів *P. ostreatus*. Дія червоного світла не викликає вірогідних змін активності ферменту у більшості вивчених штамів.

2. Найбільшою реакцією у відповідь на опромінення синім світлом характеризувалися штами Р – 191 та Р – 192 гриба *P. ostreatus*. Так, показник каталазної активності культурального фільтрату для штаму Р – 191 зріс на 20,18 %, а активність каталази міцелію зросла на 29,59 % для штаму Р – 192. Інші вивчені штами мали менш суттєві зміни каталазної функції у відповідь на дію опромінення.

Література

1. Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре: сб. науч. тр. / Вассер С. П. и др. Киев: Альтерпрес, 2011. 212 с.
2. Волошко Т. Є., Федотов О. В. Порівняльна характеристика базидіальних грибів – продуцентів каталази // *Biotechnologia Acta*. 2013. Т. 6, № 3. С. 89–94. doi: <http://doi.org/10.15407/biotech6.03.089>
3. Стручкова И. В., Лазарева Е. С., Смирнов В. Ф. Амлазная и оксидоредуктазная активность микодеструктора *Aspergillus terreus* при его росте на новых полимерных материалах // *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. 2010. № 2 (2). С. 591–595.
4. Федотов О. В., Волошко Т. Є. Розробка способів отримання і аналіз ферментних препаратів пероксидаз та каталаз деяких видів базидіомицетів // *Біологічний вісник Мелітопольського державного педагогічного університету ім. Богдана Хмельницького*. 2013. № 1 (7). С. 113–127.
5. Спосіб одержання ферментного препарату каталази штаму *Pleurotus ostreatus* P-208: Пат. № 91411 UA. МПК A01G1/04(2006.01) / Федотов О.В., Волошко Т. Є. № u 2013 10997; заявл.: 16.09.2013; опубл.: 10.07.2014, Бюл. № 13. 5 с.
6. Лобанок А. Г. Биотехнология микробных энзимов // *Наука и инновации*. 2011. № 1 (95). С. 66–69.
7. Fedotov O. V. Wood-destroying fungi as bio-sources of ferments for medicinal and nutritional purposes // *Plant and Microbial Enzymes: isolation, characterization and biotechnology applications*. Tbilisi: Myza, 2009. P. 125–126.
8. Волошко Т. Є., Федотов О. В. Вплив деяких мікроелементів на активність оксидоредуктаз базидіомицетів // *Мікробіологія і біотехнологія*. 2013. № 1 (21). С. 68–80. doi: [http://doi.org/10.18524/2307-4663.2013.1\(21\).48830](http://doi.org/10.18524/2307-4663.2013.1(21).48830)
9. Федотов О. В., Брусніцина О. М. Вплив джерел вуглецевого живлення на ріст і каталазну активність штаму Р-6v *Pleurotus ostreatus* (Jacq. ex Fr.) Kumm // *Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону*. 2009. № 1 (8). С. 248–253.
10. Tisch D., Schmoll M. Light regulation of metabolic pathways in fungi // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2009. Vol. 85, Issue 5. P. 1259–1277. doi: <http://doi.org/10.1007/s00253-009-2320-1>
11. Поединок Н. Л. Использование искусственного света в биотехнологиях культивирования грибов // *Biotechnologia Acta*. 2013. Т. 6, № 6. С. 58–70. doi: <http://doi.org/10.15407/biotech6.06.058>
12. Nakano Y., Fujii H., Kojima M. Identification of Blue-Light Photoresponse Genes in Oyster Mushroom Mycelia // *Bio-science, Biotechnology, and Biochemistry*. 2010. Vol. 74, Issue 10. P. 2160–2165. doi: <http://doi.org/10.1271/bbb.100565>

13. Активность супероксиддисмутазы и каталазы у каратиноидсинтезирующих грибов *Blakeslea trispora* и *Neurospora crassa* в условиях окислительного стресса: сб. науч. тр. / Гесслер Н. Н. и др. // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты. 2002. Т. 38, № 3. С. 237–242.
14. Поединок Н. Л. Енергоефективні системи штучного освітлення у технологіях вирощування їстівних та лікарських грибів // Наука та інновації. 2013. Т. 9, № 3. С. 46–59.
15. Two different mechanisms of low-intensity laser photobiological effects on *Escherichia coli* / Karu T. et. al. // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. 1994. Vol. 24, Issue 3. P. 155–161. doi: [http://doi.org/10.1016/1011-1344\(94\)07016-4](http://doi.org/10.1016/1011-1344(94)07016-4)
16. Corrochano, L. M. (2011). Fungal photobiology: a synopsis. *IMA Fungus*, 2 (1), 25–28. doi: <http://doi.org/10.5598/imafungus.2011.02.01.04>
17. Спосіб визначення каталазної активності базидіоміцетів: Пат. № 39243 UA. МПК: 7C12N9/58 / Федотов О. В., Гавриленко Г. В. № 2000 116560; заявл.: 21.11.2000; опубл.: 15.06.2001, Бюл. № 5.
18. Приседський Ю. Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк: Кассіопея, 1999. 210 с.
19. Приседський Ю. Г. Пакет програм для проведення статистичної обробки результатів біологічних експериментів. Донецьк: ДонНУ, 2005. 84 с.
20. Поединок Н. Л. Влияние на ростовую активность посевного материала культивируемых макромицетов низкоинтенсивного лазерного излучения / Поединок Н. Л. и др. // Мікробіологія і біотехнологія. 2015. Т. 29, № 1. С. 77–86.
21. Poyedinok, N. L., Potemkina, J. V., Buchalo, A. S., Negriyko, A. M., Grygansky, A. P. (2000). Stimulation with Low-Intensity Laser Light of Basidiospore Germination and Growth of Monokaryotic Isolates in the Medicinal Mushroom *Hericium erinaceus* (Bull.: Fr.) Pers. (Aphyllophoromycetideae). *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2 (4), 339–342. doi: <http://doi.org/10.1615/intjmedmushr.v2.i4.140>
22. Спосіб стимуляції росту та підвищення продуктивності гриба печериці двоспорової (*Agaricus bisporus* (J.Lge) Imbach: Пат. № 26074 UA. МПК: A01G 1/04 A01H 15/00 C12N 1/14 / Поединок Н. Л., Бісько Н. А., Негрійко А. М., Петренко Б. Ф. № a200506467; заявл. 01.07.2005; опубл. 10.09.2007; Бюл. № 14.

*Рекомендовано до публікації д-р біологічних наук Соломаха В. А.
Дата надходження рукопису 05.02.2019*

Решетник Катерина Сергіївна, викладач, кафедра фізіології та біохімії рослин, Донецький національний університет імені Василя Стуса, вул. 600-річчя, 21, м. Вінниця, Україна, 21021
E-mail: k.reshetnyk@donnu.edu.ua

Юськов Дмитро Сергійович, кафедра фізіології та біохімії рослин, Донецький національний університет імені Василя Стуса, вул. 600-річчя, 21, м. Вінниця, Україна, 21021
E-mail: dima8941@gmail.com