

ІНСТИТУТ БОТАНІКИ ІМ. М. Г. ХОЛОДНОГО НАН УКРАЇНИ

РЕШЕТНИК КАТЕРИНА СЕРГІЇВНА



УДК 582.28:635.8(043.5)

**ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ МІЦЕЛІЮ НА
ІНТЕНСИФІКАЦІЮ РОСТОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕЯКИХ ВИДІВ
*BASIDIOMYCOTA***

03.00.21 – мікологія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Київ – 2021

Дисертація є рукописом

Робота виконана на кафедрі ботаніки та екології факультету хімії, біології і біотехнологій Донецького національного університету імені Василя Стуса.

Науковий керівник: доктор біологічних наук, доцент
ПРИСЕДСЬКИЙ Юрій Георгійович,
Донецький національний університет імені
Василя Стуса, в. о. завідувача кафедри
ботаніки та екології факультету хімії, біології
і біотехнологій

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор
БІСЬКО Ніна Анатоліївна,
Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного
НАН України, провідний науковий співробітник
відділу мікології

кандидат біологічних наук, доцент
БОЙКО Ольга Анатоліївна,
Національний університет біоресурсів і
природокористування України, доцент кафедри
фізіології, біохімії рослин та біоенергетики
факультету захисту рослин, біотехнологій та
екології

Захист відбудеться «5» квітня 2021 року о 10-00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.211.01 Інституту ботаніки імені М. Г. Холодного НАН України за адресою: 01024, м. Київ, вул. Терещенківська, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту ботаніки імені М. Г. Холодного НАН України за адресою: 01025, м. Київ, вул. Велика Житомирська, 28.

Автореферат розісланий «4» березня 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат біологічних наук



С. О. Нипорко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Базидієві гриби є цінним харчовим продуктом та важливим джерелом отримання природних фармакологічних речовин, які характеризуються антивірусними, імуномодулюючими, онкостатичними, тонізуючими, антисклеротичними та іншими властивостями (Ying et al., 1987; Stamets, 1993; Денисова, 1998; Бадалян, 2001; Wasser, 2002; Бухало и др., 2005).

Одним із важливих факторів, які необхідні для росту та розвитку плодових тіл грибів, є світло. Механізми фоторецепції грибів останнім часом є предметом інтенсивних досліджень (Nanba et al., 2002; Purschwitz et al. 2006; Дорошкевич, 2007; Nakazawa et al., 2008; Nakano et al., 2010; Miyazaki et al., 2011; Поєдинок, 2015). Характер впливу світла на розвиток грибного організму залежить від його спектральних характеристик та тривалості освітлення (Kamada et al., 2010). Доведено, що гриби можуть сприймати ультрафіолетове, синє, зелене, червоне і дальнє червоне світло, використовуючи для цього до 11 різних фоторецепторів (Yu, Fischer, 2019). Дослідження, проведені Т. Й. Кару (Karu, 1986, 2011), показали, що короткочасне (протягом кількох секунд) опромінення різних об'єктів, зокрема дріжджів, низькоінтенсивним лазерним світлом певної довжини хвилі у малих дозах (102–103 Дж/м²) сприяє виникненню ефектів, які зберігаються протягом тривалого часу. Враховуючи дані літератури щодо фоторецепції у грибів, можна зробити висновок про доцільність використання світла для регуляції морфогенезу і біологічної активності грибів, що може стати основою для створення більш ефективних технологій їхнього культивування. Це дасть змогу отримати нові знання щодо фізіології грибів та впливу світла на розвиток грибного організму. Крім того, це дасть змогу підібрати оптимальні режими освітлення, які можна буде використовувати для інтенсифікації ростових та біосинтетичних процесів, покращення морфологічних параметрів та активізації ферментів системи антиоксидантного захисту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі ботаніки та екології Донецького національного університету імені Василя Стуса в рамках проектів: НДР № 0115U000090 «Одержання ферментних препаратів, підвищення продуктивності базидіоміцетів за культивування на відходах в лабораторних та напівпромислових умовах», № 0117U002362 «Отримання антиоксидантів та розробка способів утилізації промислових відходів і біоіндикації на основі вивчення прооксидантно-антиоксидантної системи базидіоміцетів» та № 0120U102962 «Розробка способів підвищення продуктивності рослин і грибів за допомогою LED лазерних систем».

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є дослідження біологічних особливостей штамів базидієвих грибів *Flammulina velutipes*, *Laetiporus sulphureus*, *Pleurotus ostreatus* та *Schizophyllum commune* у культурі за дії опромінення LED лазерами.

Для досягнення цієї мети вирішували такі **завдання**:

1) дослідити швидкість радіального росту та морфологічні особливості міцелію штамів базидієвих грибів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та

S. commune за дії лазерного опромінення різною довжиною хвилі;

2) вивчити особливості накопичення біомаси досліджених штамів грибів в умовах використання LED лазерів для фотостимуляції вегетативного міцелію;

3) визначити ефективність використання опроміненого різною довжиною хвилі посівного міцелію досліджених штамів для отримання біомаси;

4) визначити ефективні режими фотостимуляції вегетативного міцелію та встановити тривалість збереження фотоіндукційних змін при поверхневому культивуванні міцелію досліджених штамів грибів;

5) визначити вплив лазерного опромінення міцелію різною довжиною хвилі на вміст білків, полісахаридів, каротиноїдів та активність ферментів у біомасі досліджених штамів грибів.

Об'єкт дослідження – штами базидієвих грибів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune*.

Предмет дослідження – зміна біологічних особливостей базидієвих грибів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune* за дії LED лазерів.

Методи досліджень. У процесі вирішення завдань використано загальноприйняті мікологічні, фізіолого-біохімічні та статистичні методи досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів. Під час виконання дисертаційної роботи отримано результати впливу опромінення LED лазерами довжиною хвилі 405 нм, 532 нм та 635 нм міцелію 5 штамів *F. velutipes*, 3 штамів *L. sulphureus*, 6 штамів *P. ostreatus* та 3 штамів *S. commune* на їхні біологічні особливості.

Досліджено ростові параметри та морфологічні особливості 17 штамів 4 видів базидієвих грибів за дії лазерного опромінення в умовах різних енергетичних доз опромінення (25,05–102,5 мДж/см²). Показано, що максимальна швидкість радіального росту штамів *P. ostreatus* та *L. sulphureus* спостерігалася за дії лазерного опромінення довжиною хвилі 532 нм, штамів *F. velutipes* – 405 нм, а штамів *S. commune* – 635 нм, при цьому найефективнішою була енергетична доза опромінення 51,1 мДж/см².

Отримано результати щодо впливу концентрації глюкози на фотоіндуковану стимуляцію швидкості радіального росту міцелію. Для штамів видів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune* встановлено, що використання фотоактивованого міцелію при культивуванні на живильному середовищі зі зниженою концентрацією глюкози (8 г/дм³ та 6 г/дм³) сприяє зростанню фотостимулюючого ефекту.

Досліджено вплив концентрації глюкози на фотоіндуковану стимуляцію накопичення біомаси міцелію штамів видів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune*. Для культур *S. commune*, *L. sulphureus*, *F. velutipes* вперше встановлено, що використання опроміненого міцелію при культивуванні на середовищі зі зниженою концентрацією глюкози (8 г/дм³ та 6 г/дм³) сприяє кращому відгуку міцелію на опромінення та дає змогу нівелювати негативний вплив, спричинений зменшенням кількості глюкози в середовищі.

Уперше експериментально визначено, що стимулюючий ефект на ростові

процеси вегетативного міцелію штамів видів *L. sulphureus* та *S. commune*, який досягається завдяки використанню LED лазерів з низькою енергетичною дозою опромінення (51,1 мДж/см²), зберігається протягом 24 годин.

Для штамів *L. sulphureus* та *S. commune* вперше досліджено, що фотоактивація міцелію дає змогу знизити вміст посівного матеріалу в живильному середовищі в 1,4 раза без зниження кількості біомаси.

Для видів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune* вперше встановлено ефективність використання лазерного опромінення для збільшення вмісту білка в міцелії.

Уперше встановлено стимулюючий ефект на синтез екзополісахаридів штамми *S. commune* та ендо- і екзополісахаридів штамми *F. velutipes*, *P. ostreatus* за дії лазерного опромінення.

Уперше здійснено дослідження впливу концентрації глюкози на вміст та продуктивність каротиноїдів міцелію *L. sulphureus* за дії лазерного опромінення. Показано, що використання фотоактивованого міцелію при культивуванні на середовищі зі зниженою концентрацією глюкози (8 г/дм³ та 6 г/дм³) сприяє зростанню фотостимулюючого ефекту на накопичення каротиноїдів.

Для видів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune* вперше показано можливість інтенсифікації ферментативної активності за допомогою лазерного опромінення.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено способи фотоінтенсифікації ростових та біосинтетичних процесів їстівних та лікарських грибів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune* за допомогою LED лазерів, які можуть використовуватися для отримання біологічно активних сполук та міцеліальної біомаси у біотехнологічних процесах, що захищено 6 деклараційними патентами України.

Уперше встановлена можливість використання лазерного опромінення для регуляції ферментативної активності видів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune*, що може бути використано під час культивування базидієвих грибів на середовищах різного складу для інтенсифікації процесів біоконверсії субстрату.

Запропоновані ефективні режими лазерного опромінення міцелію штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune* для збільшення кількості біомаси та вмісту біологічно активних речовин – полісахаридів і каротиноїдів.

Результати досліджень використовуються під час викладання курсів «Біотехнологія» та «Біотехнологія грибів» на кафедрі ботаніки та екології факультету хімії, біології і біотехнологій Донецького національного університету імені Василя Стуса.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним дослідженням автора. Дисертантом розроблено і обґрунтовано концепцію роботи, сформульовано мету та поставлено ряд завдань, підібрано методи дослідження для виконання поставлених задач і самостійно виконано експерименти, які описані в цій дисертаційній роботі. Автором опрацьовано літературу за темою дисертаційної роботи. Узагальнення та інтерпретація даних

були проведені із науковим керівником і висвітлені в спільних друкованих працях. Матеріали, опубліковані в співавторстві, містять пропорційний внесок здобувача.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи у вигляді доповідей, тез і повідомлень доповідалися й обговорювалися на конференціях: Науковій конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників і здобувачів наукового ступеня за підсумками науково-дослідної роботи за період 2015–2016 рр. (Вінниця, 2017), Першій міжнародній науково-практичній конференції «Екологія Донбасу: уроки історії та виклики сьогодення» (Графське, 2017), Міжнародній конференції молодих учених «Актуальні проблеми ботаніки та екології» (Луцьк, 2017), XVI Міжнародній науковій конференції студентів та молодих вчених «Шевченківська весна: досягнення біологічної науки / BioScience Advances»: (Київ, 2018), 2ND International Conference «Smart Bio» (Kaunas, 2018), V Міжнародній науковій конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Фундаментальні та прикладні дослідження в біології та екології» (Вінниця, 2018), VI Міжнародна наукова конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання розвитку Біології та Екології» (Вінниця, 2020).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 23 наукові праці, з них 8 статей у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, 1 стаття в закордонному рецензованому журналі, що індексується Web of Science, 1 стаття в закордонному науковому виданні, включеному до інших міжнародних наукометричних баз даних, 7 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій та 6 патентів на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація викладена на 225 сторінках друкованого тексту та складається зі вступу, огляду літератури, матеріалів і методів досліджень, результатів досліджень, їхнього аналізу та обговорення, висновків, списку використаних джерел, який охоплює 344 посилання. Дисертаційна робота містить 50 рисунків, 4 таблиці та 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

БАЗИДІЄВІ ГРИБИ ЯК ПРОДУЦЕНТИ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ РЕЧОВИН ТА ФАКТОРИ РЕГУЛЯЦІЇ ЇХНЬОЇ БІОЛОГІЧНОЇ АКТИВНОСТІ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

У розділі узагальнено сучасні дані щодо використання базидієвих грибів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune* як джерела харчової біомаси та біологічно активних речовин. Проаналізовано фактори регуляції росту, біосинтетичної активності цих видів грибів та методи їхньої інтенсифікації. Описано досвід використання штучного світла під час культивування грибів. На підставі проаналізованих матеріалів, наведених у літературних джерелах, зроблено висновок про перспективність вивчення впливу лазерного опромінення на інтенсифікацію ростових та біосинтетичних параметрів видів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune*.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктами дослідження були 5 штамів *F. velutipes*, 3 штами *L. sulphureus*, 6 штамів *P. ostreatus* та 3 штами *S. commune* з Колекції культур шапинкових грибів кафедри ботаніки та екології Донецького національного університету імені Василя Стуса (Федотов та ін., 2012).

Дослідження особливостей морфології та швидкості росту штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune* здійснювали загальноприйнятими методами (Бондарцев, 1954; Stalpers, 1978; Методы..., 1982; Бухало, 1988; Соломко та ін., 2000; Ломберг, 2005) на агаризованому картопляно-глюкозному живильному середовищі (КГА).

Для вивчення кількості біомаси інокулом, вирощений на глюкозо-пептонному агаризованому середовищі (ГПСА), вносили в кількості 5 міцеліальних дисків діаметром 5 мм (6 % від об'єму середовища). Для визначення ефективності використання опроміненого посівного матеріалу використовували міцелій, опромінений в оптимальному для кожного виду гриба режимі, та неопромінений міцелій (контроль). З цією метою інокулом, вирощений на ГПСА, вносили в кількості 3-х (3,6 % від об'єму середовища), 5-ти (6 % від об'єму середовища) та 7-ми міцеліальних дисків діаметром 5 мм (8,4 % від об'єму середовища). За контроль вважали неопромінений міцелій у кількості 7-ми міцеліальних дисків (8,4 % від об'єму середовища). Для вивчення фотоіндукованої активності міцелій віком 8 діб, опромінений в оптимальному для кожного виду режимі, зберігали 24 години в темряві за температури +5 °С. Посів на живильне середовище здійснювали відразу після опромінення і потім через кожні 24 години. Контролем був неопромінений міцелій, який також зберігали в темряві за температури +5 °С. Для вивчення динаміки фотоіндукованої активності міцелію досліджених видів грибів при пересівах було проведено 4 послідовних пересіви опроміненого міцелію, які здійснювали через кожні 7 діб культивування. Міцелій культивували в поверхневій культурі на глюкозо-пептонноживильному середовищі в колбах Ерленмейєра об'ємом 0,25 дм³, що містили 0,05 дм³ живильного середовища. Культивування проводили за температури 26±2 °С протягом 12 діб. Рівень накопичення біомаси в усіх дослідах визначали ваговим методом, висушуючи міцелій до постійної маси (а.с.м.) за температури 105±1 °С (Методы..., 1982).

Концентрацію екзополісахаридів визначали фенол-сірчанним методом (Варбанец, 2006).

Ендополісахариди виділяли з висушеного міцелію з наступним визначенням концентрації ендополісахаридів фенол-сірчанним методом (Варбанец, 2006).

Визначення кількості каротиноїдів у біомасі проводили спектрофотометричним методом (440,5 нм) та розраховували за модифікованою формулою Ветштейна (Wettstein, 1957). Продуктивність визначали за кількістю продукованих каротиноїдів на одиницю об'єму середовища, витраченого на культивування міцелію.

Каталазну активність (КА) визначали в міцелії (водна витяжка, на одиницю маси, г) та КФ (на одиницю об'єму, см³) спектрофотометричним методом

(410 нм), який заснований на здатності пероксиду водню утворювати з солями молібдену стійкий забарвлений комплекс. За одиницю КА приймали ту кількість ферменту, яка бере участь у перетворенні 1 мкат перекису водню за 1 секунду за заданих умов (Волошко, Федотов, 2011).

Пероксидазну активність (ПА) визначали в міцелії (водна витяжка, на одиницю маси, г) та КФ (на одиницю об'єму, см³) спектрофотометричним методом (460 нм) за інтенсивністю забарвлення продукту окиснення о-діанізидину перекисом водню. Одиниця активності пероксидази відповідає кількості ферменту, що окислює 1 мкм о-діанізидину за 1 хвилину (Волошко, Федотов, 2011).

Кількість білка визначали спектрофотометрично, використовуючи метод біуретової реакції. Як розчинник використовували дистильовану воду (для альбумінів) або 10 % розчин NaCl (для глобулінів).

Для вивчення впливу лазерного опромінення на ростові та біосинтетичні параметри вегетативний міцелій віком 8 діб опромінювали, використовуючи

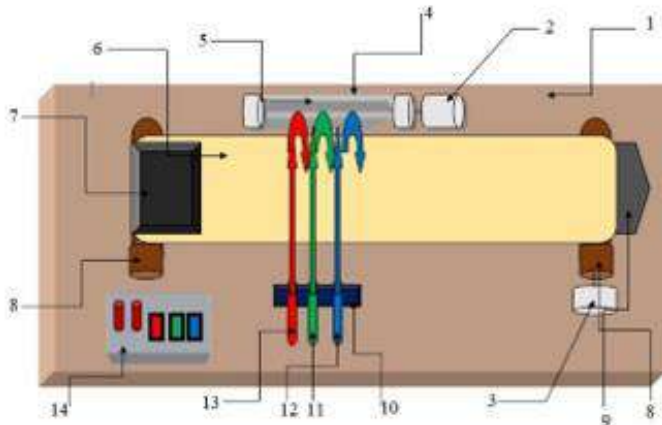


Рис. 1. Пристрій для опромінення міцелію монохроматичним світлом за допомогою LED лазерів: 1 – платформа для кріплення пристрою, 2 – електродвигун 1, 3 – електродвигун 2, 4 – захисна кришка для дзеркальної призми, 5 – дзеркальна призма, 6 – транспортерна стрічка, 7 – бункер для опромінених об'єктів, 8 – валик, який рухає транспортерну стрічку, 9 – платформа для опромінених об'єктів, 10 – штатив для кріплення LED лазерів, 11 – LED лазер BGP-3010-5 з випромінюванням зеленого спектру з довжиною хвилі 532 нм, 12 – LED лазер BVP-3010-5 з випромінюванням синього спектру з довжиною хвилі 405 нм, 13 – LED лазер BRP-3010-5 з випромінюванням червоного спектру з довжиною хвилі 635 нм, 14 – панель управління.

пристрій, який був сконструйований співробітниками кафедри ботаніки та екології ДонНУ імені Василя Стуса. Міцелій опромінювали в такий спосіб: відкрита чашка Петрі з міцелієм рухається на транспортерній стрічці під променем світла з встановленою довжиною хвилі: 635, 405 та 532 нм, отримуючи необхідну енергетичну дозу опромінення (25,05–102,5 мДж/см²), залежно від мети дослідження. Опромінення міцелію тривало 5 с (тривалість руху чашки по транспортерній стрічці становила 90 с), 10 с (тривалість руху чашки по транспортерній стрічці становила 180 с), 15 с (тривалість руху чашки по транспортерній стрічці становила 270 с) та 20 с (тривалість руху чашки по

транспортерній стрічці становила 360 с). Потім за допомогою стерильної сталевий трубки, з колонії міцелію вирізали міцеліальні диски діаметром 5 мм та здійснювали інокуляцію на живильне середовище відповідного складу. Для інокуляції контрольних чашок Петрі застосовували неопромінену культуру.

Щільність енергії лазерного опромінення розраховували за Вакарчук І. О. (Вакарчук, 2012). Енергетична доза опромінення (енергія світла, яка потрапляє на одиницю площі) визначалася як добуток щільності енергії та часу опромінення. Енергія опромінення, залежно від схеми експерименту, була у межах 25–102,5 мДж/см². Опромінення міцелію проводилося в таких режимах (табл. 1).

Таблиця 1.

Режими опромінення міцелію досліджених видів грибів

Варіант опромінення	Тривалість опромінення, с			Енергетична доза опромінення, мДж/см ²
	Червоне світло (635 нм)	Синє світло (405 нм)	Зелене світло (532 нм)	
1	2	3	4	5
1 (контроль)	0	0	0	0
2	5	0	0	25,05
3	0	5	0	25,05
4	0	0	5	25,05
5	10	0	0	51,1
6	0	10	0	51,1
7	0	0	10	51,1
8	15	0	0	77,3
9	0	15	0	77,3
10	0	0	15	77,3
11	20	0	0	102,5
12	0	20	0	102,5
13	0	0	20	102,5

Статистична обробка проводилася за допомогою пакетів статистичних програм, створених на кафедрі фізіології та біохімії рослин Донецького національного університету імені Василя Стуса (Приседський, 1999, 2005). Повторюваність дослідів трикратна.

РОСТОВІ ПАРАМЕТРИ МІЦЕЛІЮ ДОСЛІДЖЕНИХ ВИДІВ ГРИБІВ ЗА ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ

Швидкість радіального росту міцелію досліджених видів грибів за дії лазерного опромінення. Отримані дані вказують на те, що лазерне опромінення по-різному впливало на швидкість росту міцелію штамів грибів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune* залежно від тривалості опромінення (або енергетичної дози) та довжини хвилі світла. Проте, в межах одного виду реакція штамів була майже однаковою. Зокрема, в результаті опромінення світлом довжиною хвилі 532 нм (енергетична доза 51,1 мДж/см², що відповідає 10 с опромінення) міцелію штамів видів *P. ostreatus*, *L. sulphureus* та *F. velutipes* швидкість радіального росту міцелію зросла на 47,9–67,6 %. Використання опромінення довжиною хвилі 405 нм протягом 10 с було ефективним для деяких штамів видів *L. sulphureus*, *F. velutipes* та всіх *S. commune* – швидкість радіального росту міцелію зросла на 36,4–73,5 %. А опромінення довжиною хвилі 635 нм з такою ж енергетичною дозою найкраще підійшло для штамів

видів *S. commune* (швидкість росту збільшилася на 84,3 %, порівняно з контролем), та *P. ostreatus* (швидкість росту зросла на 27 %). Лише для штамів видів *F. velutipes*, *S. commune* та штаму Ls-16 *L. sulphureus* нами була виявлена реакція міцелію у відповідь на дію опромінення довжиною хвилі 405, 532 та 635 нм протягом 5 с (енергія опромінення 25,05 мДж/см²) – швидкість росту міцелію максимально зростала в межах 46,8–58,8 %. Нами визначено, що реакція міцелію на опромінення довжиною хвилі 405, 532 та 635 нм протягом 15 та 20 с для всіх штамів грибів *F. velutipes*, *P. ostreatus*, *S. commune* та деяких штамів *L. sulphureus* (лише протягом 15 с) була незначною, і швидкість росту міцелію не перевищувала цей показник у контролі. На відміну всіх штамів видів *F. velutipes*, *P. ostreatus* та *S. commune*, для всіх штамів *L. sulphureus* опромінення довжиною хвилі 405, 532 та 635 нм протягом 20 с чинило інгібуючий вплив на ріст міцелію. Опромінення довжиною хвилі 405 та 635 нм протягом 15 с для штаму Ls-16 *L. sulphureus* було також інгібуючим та сповільнювало швидкість росту міцелію до показників, які були нижчими за контрольний варіант, проте за дії світла довжиною хвилі 532 нм швидкість росту міцелію цього штаму майже не перевищувала контроль (рис. 2).

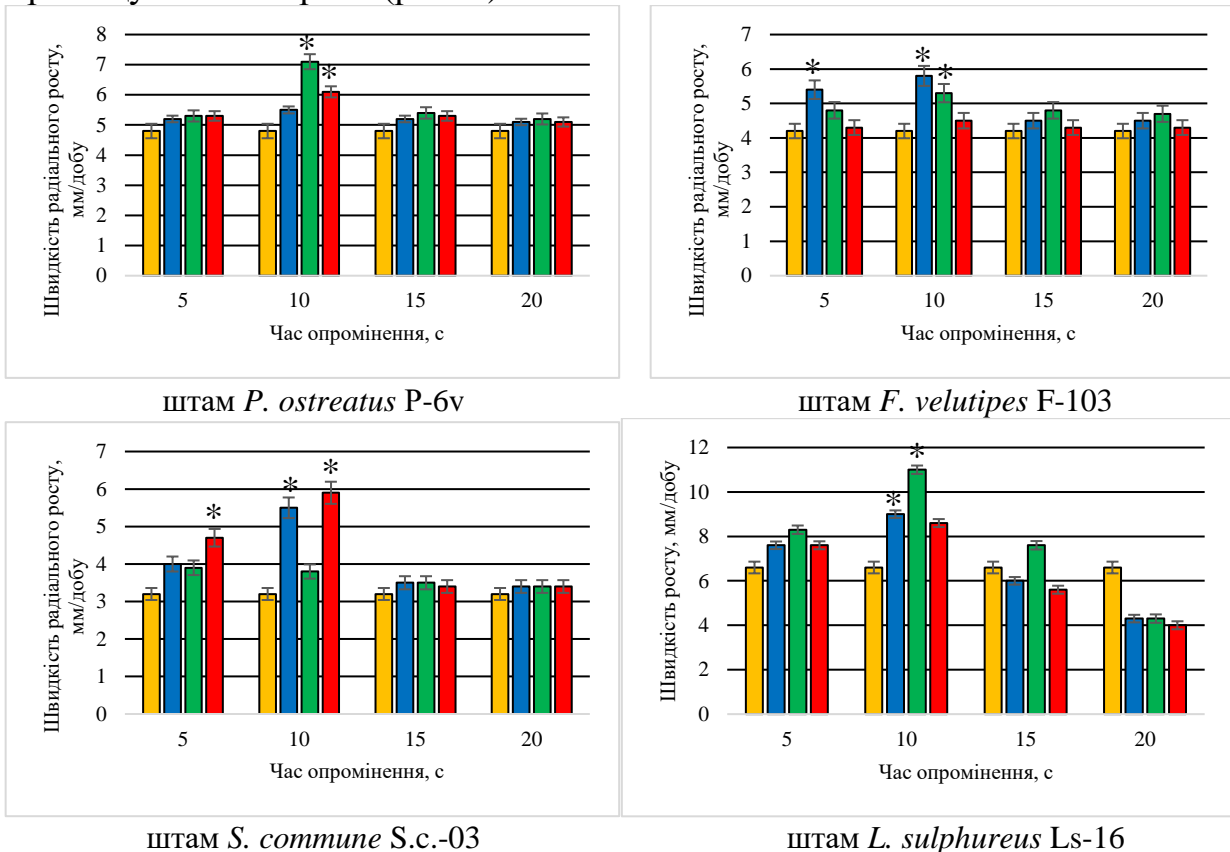


Рис. 2. Вплив лазерного опромінення на швидкість радіального росту міцелію досліджуваних грибів на картопляно-глюкозному агаризованому живильному середовищі: ■ – без опромінення; ■ – 405 нм; ■ – 532 нм; ■ – 635 нм, температура 26±2 °С. * – P<0,05, порівняно з контролем.

Морфологічні особливості міцеліальних колоній штамів *Pleurotus ostreatus*, *Flammulina velutipes*, *Schizophyllum commune* та *Laetiporus sulphureus* за дії лазерного опромінення. Морфологічні особливості

міцеліальних колоній штамів *F. velutipes*, *P. ostreatus*, *L. sulphureus* та *S. commune*

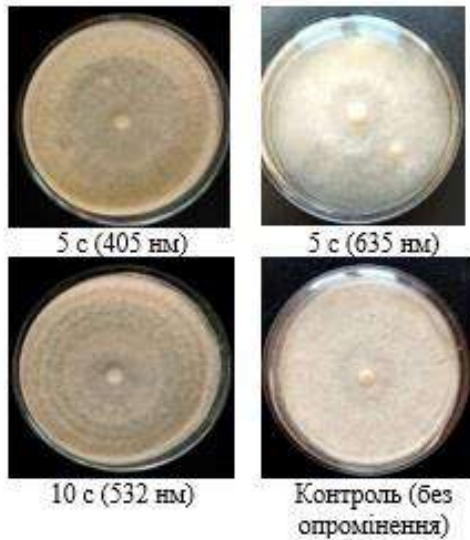


Рис. 3. Колонії *Laetiporus sulphureus* Ls-16 на агаризованому живильному середовищі (КГА) (12 доба культивування) за дії лазерного опромінення, температура 26 ± 2 °C.

на агаризованому картопляно-глюкозному живильному середовищі (КГА) за дії лазерного опромінення в основному були характерні для морфології колоній міцелію цих видів грибів, описаних у літературі (Бухало, 1988; Diagnostic..., 1995; Ліновицька, 2020; Дзигун, 2020; Sashenkova et al., 2005; Ozerova, 2006). Проте, для штаму *L. sulphureus* Ls-16 нами було виявлено певні відмінності морфології міцеліальних колоній за дії лазерного опромінення (рис. 3). Зокрема, інокулюм та центральна зона колонії навколо нього за дії опромінення довжиною хвилі 532 нм протягом 10 с утворювали більш щільний та високий міцелій, забарвлений у блідо-пісочний колір. Далі від центру інокулюму до краю колонії розходилися концентричні кола менш щільного та більш високого міцелію, забарвлення якого було світлішим, ближче до світло-кремового

кольору. Колонії міцелію за дії опромінення довжиною хвилі 405 нм та 635 нм протягом 5 та 10 с та довжиною хвилі 532 нм протягом 5 с мали слабо виражену концентричну зональність та досить щільний шар міцелію ближче до центру інокулюму, а край колонії міцелію був менш щільним та блідо забарвленим. Забарвлення міцелію, який опромінювали світлом довжиною хвилі 635 нм протягом 5 с, було світло-кремового кольору (рис. 3).

Крім того, для штамів *S. commune* було виявлено, що опромінення міцелію майже скрізь скорочує термін появи примордіїв (рис. 4). Зокрема, опромінений міцелій (крім контрольного та опроміненого протягом 20 с довжиною хвилі 532 нм) починав формувати примордії вже на 7–8 добу культивування (рис. 4). А примордії в контролі та варіанті з опроміненням протягом 20 с довжиною хвилі 532 нм починали утворюватися лише на 16–18 добу культивування (рис. 4), що збігається з даними інших вчених (Ліновицька, 2020) та є типовим для цього виду.

Вплив концентрації глюкози на фотоіндуковану стимуляцію швидкості радіального росту міцелію. Оскільки концентрація основних елементів живлення значною мірою впливає на інтенсивність росту грибів, нами вперше було вивчено швидкість радіального росту міцелію за дії опромінення протягом



Рис. 4. Колонії *Schizophyllum commune* S.c.-03 на агаризованому живильному середовищі (КГА) (12 доба культивування) за дії лазерного опромінення, температура 26 ± 2 °C.

10 с (враховуючи результати, наведені у розділі 3.1) довжиною хвилі 405 нм, 532 нм та 635 нм на картопляно-глюкозному агаризованому живильному середовищі з різною концентрацією глюкози (10, 8, 6 і 4 г/дм³). За результатами проведених нами досліджень штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune* встановлено, що використання середовища КГА з концентрацією глюкози 8 г/дм³ в комплексі з опроміненням дає змогу збільшити середню швидкість радіального росту міцелію всіх досліджених штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune*, порівняно з контролем. Водночас, швидкість росту міцелію штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus* та *P. ostreatus* є нижчою за цей показник міцелію, який культивували на середовищі з 10 г/дм³ глюкози (рис. 5).

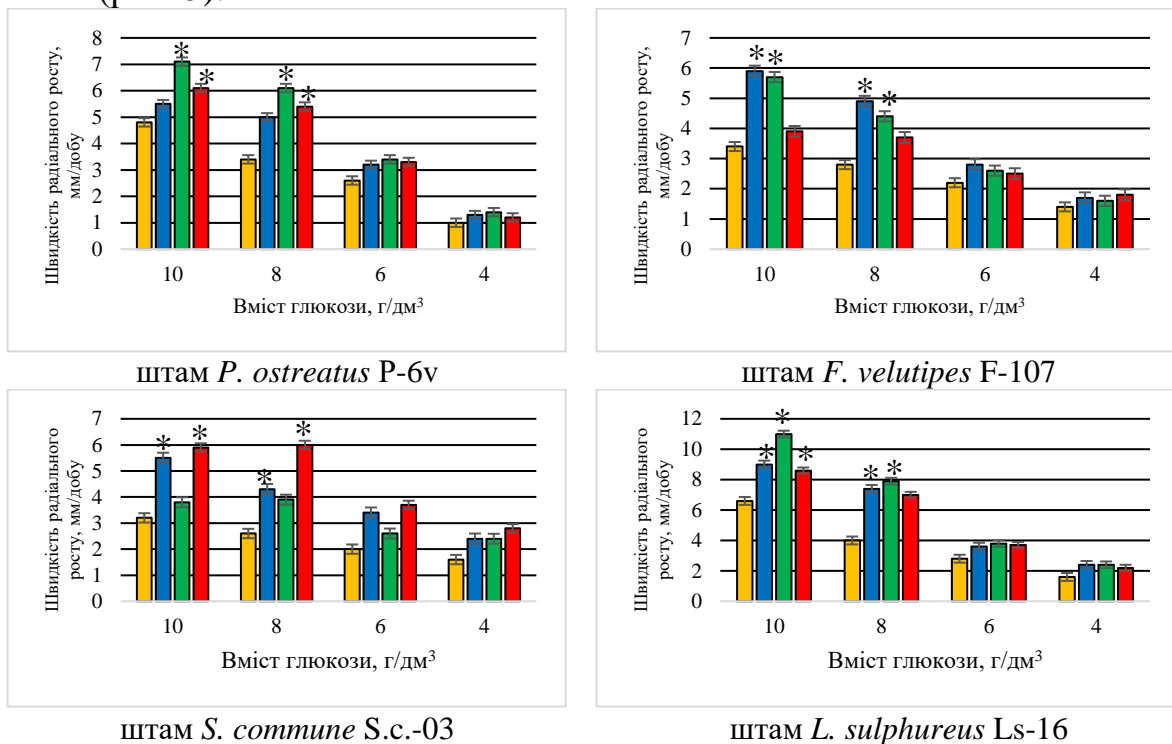


Рис. 5. Вплив концентрації глюкози в середовищі КГА на швидкість радіального росту міцелію досліджених видів грибів за дії опромінення: ■ – без опромінення; ■ – 405 нм; ■ – 532 нм; ■ – 635 нм. * – $P < 0,05$, порівняно з контролем.

Проте, швидкість радіального росту міцелію штаму *S. commune*, опроміненого світлом довжиною хвилі 635 нм на середовищі з 8 г/дм³ глюкози, зросла на 87,5 %, порівняно з контролем, та склала $6 \pm 0,3$ мм/добу, що на 3,1 % більше за швидкість росту опроміненого міцелію на середовищі з 10 г/дм³ глюкози. Крім того, нами визначено, що зниження концентрації глюкози сприяє значному зростанню фотостимулюючого ефекту для штамів видів *L. sulphureus* та *S. commune*. Відповідно, швидкість росту опроміненого міцелію *S. commune*, який культивували на середовищі з концентрацією глюкози 8 та 6 г/дм³, порівняно з ростом неопроміненого міцелію на цих же середовищах, значно зростала – більше, ніж під час використання середовища КГА з концентрацією глюкози 10 г/дм³. Ця особливість також простежується для міцелію гриба

L. sulphureus, опроміненого світлом довжиною хвилі 532 нм, проте лише на середовищі з 8 г/дм³ глюкози (рис. 5).

Накопичення біомаси штамами досліджених видів базидієвих грибів за дії лазерного опромінення. Відомо, що не лише склад середовища, на якому відбувається культивування міцелію грибів, а й способи культивування є досить суттєвими факторами, які визначають вплив світла на ростові процеси грибів (Friedl et al., 2008; Tisch, 2014). Нами визначено, що для штамів видів *F. velutipes*, *L. sulphureus* та *P. ostreatus* найефективнішим для збільшення кількості біомаси є використання опромінення світлом довжиною хвилі 532 нм. Зокрема, для штамів *L. sulphureus* біомаса міцелію зросла на 60,3–93,6 % та складала 3,06±0,12–5,21±0,09 г/дм³, для штамів *F. velutipes* біомаса міцелію збільшилася на 48,1–85,8 %, що становило 1,57±0,09–5,37±0,12 г/дм³, а для штамів *P. ostreatus* кількість біомаси міцелію зросла на 33,3–71,4 % (від 2,51±0,12–4,22±0,08 г/дм³ у контролі до 4±0,08–7,21±0,11 г/дм³ у досліді). На відміну від штамів цих видів, для штамів *S. commune* найефективнішим було використання опромінення міцелію світлом довжиною хвилі 635 нм – кількість біомаси зросла від 2,03±0,07–3,25±0,06 г/дм³ до 2,9±0,09–5,71±0,1 г/дм³ (на 48,2–75,3 % більше за контроль).

Вплив лазерного опромінення на накопичення біомаси міцелію, який культивували на живильних середовищах зі зниженою концентрацією глюкози. Як ми вже зазначали раніше, концентрація основних елементів живлення значною мірою впливає на інтенсивність росту та накопичення біомаси міцелію. Відповідно, нами було вивчено вплив концентрації глюкози на фотоіндуковану стимуляцію накопичення біомаси міцелію за дії опромінення світлом довжиною хвилі 405 нм, 532 нм та 635 нм протягом 10 с на глюкозо-пептонному живильному середовищі з різною концентрацією глюкози (10, 8, 6 і 4 г/дм³). Дослідження показало, що використання глюкозо-пептонного середовища з концентрацією глюкози 8 г/дм³ у поєднанні з опроміненням дає змогу збільшити синтез біомаси міцелію всіх досліджених штамів *P. ostreatus*, *F. velutipes*, *L. sulphureus* та *S. commune*, порівняно з контролем. Причому, для штамів видів *F. velutipes*, *L. sulphureus* та *S. commune* ці результати були отримані нами вперше. Для штамів гриба *P. ostreatus*, *L. sulphureus* та *F. velutipes* використання середовища ГПС з концентрацією глюкози 8 г/дм³ (замість 10 г/дм³) у комплексі з опроміненням довжиною хвилі 532 нм збільшує біомасу міцелію на 38,4–76,4 %. Біомаса міцелію, опроміненого світлом довжиною хвилі 635 нм штамів гриба *S. commune*, культивованого на середовищі ГПС з концентрацією глюкози 8 г/дм³, зросла на 66,1 %. Проте, ці результати є нижчими за показники кількості біомаси опроміненого міцелію при культивуванні на середовищі ГПС з концентрацією глюкози 10 г/дм³. Крім того, нами визначено кращу реакцію міцелію на дію опромінення, культивованого на середовищі зі зниженою концентрацією глюкози (8 та 6 г/дм³), яка проявлялася у значному зростанні кількості біомаси міцелію, порівняно з біомасою неопроміненого міцелію, культивованого на цих середовищах.

Визначення ефективності використання опроміненого посівного міцелію для отримання біомаси грибів. Дослідження залежності накопичення біомаси вивченими штамми видів *P. ostreatus*, *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *S. commune* від кількості посівного матеріалу при поверхневому культивуванні показали, що проведена нами фотоактивація міцелію дає змогу знизити кількість його внесення в середовище з 8,4 % до 6 %. А для штаму F-03 *F. velutipes* кількість посівного матеріалу можна знизити з 8,4 % до 3,6 %. При цьому накопичення біомаси досліджуваними штамми *P. ostreatus*, *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *S. commune* достовірно вище, ніж при внесенні неопроміненого інокулюму.

Зміни фотоіндукованої активності міцелію в процесах зберігання та пересівів. Дослідження зміни фотоіндукованої активності міцелію в процесах зберігання та пересівів показує, що рівень активності вегетативного міцелію не змінюється при двох пересівах у всіх штамів видів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune*. Зниження рівня фотоіндукованої активності міцелію, яке виражається в зменшенні кількості біомаси до рівня контролю, встановлено в третьому пересіві для всіх штамів досліджених нами видів. Для всіх штамів видів *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune* зниження індукованої активності міцелію проявляється через 24 години зберігання, а міцелій штамів *F. velutipes* починає втрачати свою активність до рівня контролю вже в перші 24 години після опромінення. Варто зазначити, що для штамів видів *L. sulphureus* та *S. commune* дані отримані нами вперше.

БІОСИНТЕТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШТАМІВ ДОСЛІДЖЕНИХ ВИДІВ ГРИБІВ ЗА ДІЇ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ

Накопичення полісахаридів штамми *Pleurotus ostreatus*, *Flammulina velutipes* та *Schizophyllum commune* під впливом лазерного опромінення вегетативного міцелію. Встановлено значне зростання кількості полісахаридів за дії опромінення міцелію всіх штамів видів *P. ostreatus* та *F. velutipes* протягом 10 с світлом довжиною хвилі 532 нм, а всіх штамів *S. commune* – світлом довжиною хвилі 635 нм (рис. 6).

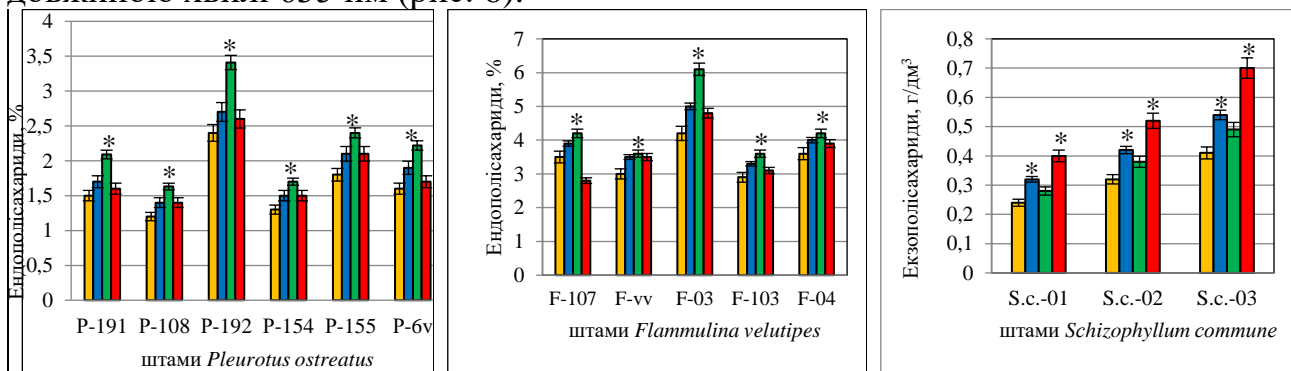


Рис. 6. Накопичення ендополісахаридів штамми *Pleurotus ostreatus* і *Flammulina velutipes* та екзополісахаридів штамми *Schizophyllum commune* при культивуванні на глюкозо-пептонному середовищі за дії лазерного опромінення. 12 доба поверхневого культивування за температури 26 ± 2 °C. ■ – без опромінення; ■ – 405 нм; ■ – 532 нм; ■ – 635 нм. * – $P < 0,05$, порівняно з контролем.

Зокрема, для штамів *P. ostreatus* кількість ендо- та екзополісахаридів збільшилася на 30,5–42 %, для штамів *F. velutipes* – на 45,2–51,2 %, а для штамів *S. commune* кількість екзополісахаридів зросла на 70,7 % (рис. 6). Отже, нами вперше були отримані оригінальні дані щодо впливу лазерного опромінення на синтез полісахаридів штамами видів *P. ostreatus*, *F. velutipes* та *S. commune*.

Вплив лазерного опромінення та концентрації глюкози на вміст каротиноїдів та продуктивність міцелію *Laetiporus sulphureus*. Нами вперше досліджено вплив лазерного опромінення світлом довжиною хвилі 405 нм, 532 нм та 635 нм протягом 10 с на кількість каротиноїдів у міцелії *L. sulphureus* на глюкозо-пептонному живильному середовищі з різними концентраціями глюкози (10 г/дм³, 8 г/дм³, 6 г/дм³, 4 г/дм³). Результати дослідження впливу опромінення на кількість каротиноїдів у міцелії показують значне зростання їхнього вмісту за дії опромінення світлом довжиною хвилі 532 нм. Зокрема, кількість каротиноїдів на середовищі з 10 г/дм³ глюкози зросла на 61,9–66,1 % і складала 7,89±0,19–9,46±0,17 мг/г. А кількість каротиноїдів на середовищі з 8 г/дм³ збільшилася на 37,1–44,8 %, винятком був штам Ls-17, для якого кількість каротиноїдів зросла найбільше – на 62,3 % і склала 7,95±0,18 мг/г.

Використання лазерного опромінення дало змогу значно покращити продуктивність синтезу каротиноїдів штамами гриба *L. sulphureus* навіть на середовищі зі зниженою на 20 % концентрацією глюкози (8 г/дм³). Причому найефективнішим для усіх штамів було використання опромінення довжиною хвилі 532 нм (рис. 7).

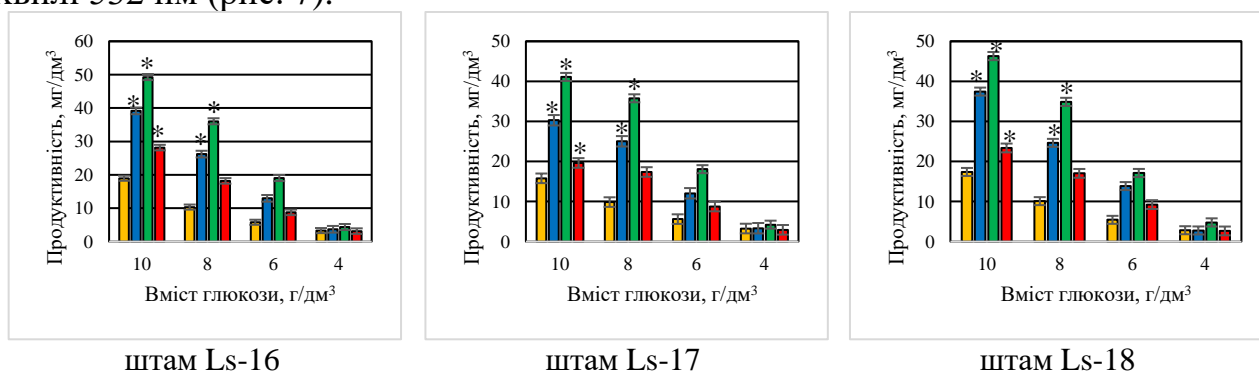


Рис. 7. Вплив концентрації глюкози на продуктивність синтезу каротиноїдів у міцелії штамів гриба *Laetiporus sulphureus* на глюкозо-пептонному середовищі за дії лазерного опромінення. 12 доба поверхневого культивування за температури 26±2 °С. ■ – без опромінення; ■ – 405 нм; ■ – 532 нм; ■ – 635 нм. * – P<0,05, порівняно з контролем.

Зокрема, використання середовища з 10 г/дм³ глюкози в комплексі з лазерним опроміненням дало змогу збільшити продуктивність синтезу каротиноїдів всіма штамами гриба *L. sulphureus* на 159,6–166,3 %. А продуктивність каротиноїдів на середовищі з 8 г/дм³ глюкози за дії опромінення довжиною хвилі 532 нм зростала від 89,9 % до 126,4 %. Крім того, продуктивність синтезу каротиноїдів опроміненого міцелію, порівняно з неопроміненим, на середовищі 8 г/дм³ глюкози зросла на 245,3–262,4 %. Хоча продуктивність на середовищі з 6 г/дм³ глюкози не перевищувала контроль,

проте, порівняно з неопроміненим міцелієм, який культивували на цьому ж середовищі, продуктивність виросла аж на 220–228,5 % (рис. 7).

Вплив лазерного опромінення на кількість білка у міцелії *Pleurotus ostreatus*, *Flammulina velutipes*, *Schizophyllum commune* та *Laetiporus sulphureus*. Нами вперше проведено дослідження впливу опромінення світлом довжиною хвилі 405 нм, 532 нм та 635 нм на кількість білка в міцелії штамів видів *P. ostreatus*, *F. velutipes*, *S. commune* та *L. sulphureus*. Дослідження впливу опромінення показало, що для усіх штамів видів *P. ostreatus*, *L. sulphureus* та *F. velutipes* найефективнішим є використання опромінення довжиною хвилі 532 нм – кількість білка зросла на 24,5–36,3 % (для штамів *P. ostreatus*), для штамів *L. sulphureus* вміст білка міцелію зріс на 11,1–20,2 %, а для штамів *F. velutipes* – на 17,9–28,2 %. На відміну від штамів видів *P. ostreatus*, *F. velutipes* та *L. sulphureus*, для штамів *S. commune* нами отримані результати, які показують, що найефективнішим є опромінення міцелію світлом довжиною хвилі 635 нм – кількість білка в міцелії збільшилася на 19,8–29,4 %. Отже, для збільшення кількості білка міцелію штамів видів *P. ostreatus*, *F. velutipes*, *S. commune* та *L. sulphureus* ефективним є використання опромінення довжиною хвилі 532 нм та 635 нм протягом 10 с.

ФОТОІНТЕНСИФІКАЦІЯ ФЕРМЕНТАТИВНОЇ АКТИВНОСТІ ШТАМІВ ДОСЛІДЖЕНИХ ВИДІВ ГРИБІВ

Каталазна активність штамів досліджених видів грибів за дії лазерного опромінення. За результатами проведених досліджень впливу опромінення довжиною хвилі 405, 532 та 635 нм протягом 10 с на активність каталази штамів видів *P. ostreatus*, *F. velutipes*, *S. commune* та *L. sulphureus* визначено, що опромінення позитивно впливає на активність цього ферменту та сприяє її зростанню. Зокрема, для штамів видів *P. ostreatus* та *F. velutipes* було встановлено найкращу реакцію міцелію на опромінення довжиною хвилі 405 нм. Встановлено зростання активності каталази культурального фільтрату від 11,5 % до 20,1 % та гомогенату міцелію на 25,2–29,6 % (для штамів *P. ostreatus*). Для штамів *F. velutipes* за цих умов активність міцеліальної каталази максимально зросла з $560,11 \pm 13,47$ мкат/г у контролі до $1203,66 \pm 20,31$ мкат/г у досліді, а каталазна активність культурального фільтрату найбільше зросла з $361,16 \pm 17,04$ у контролі до $780,41 \pm 15,46$ мкат/л у досліді. Результати дослідження для штамів *L. sulphureus* були іншими, порівняно з видами *P. ostreatus* та *F. velutipes*. Отже, для *L. sulphureus* найкращий відгук міцелію було визначено на опромінення довжиною хвилі 532 нм – збільшення каталазної активності культурального фільтрату на 108,47 %, а активності каталази гомогенату міцелію – на 112,82 %. На відміну від штамів видів *P. ostreatus*, *F. velutipes* та *L. sulphureus*, для штамів *S. commune* максимальне зростання активності каталази міцеліального гомогенату (на 112,82 %) та культурального фільтрату (на 108,47 %) відбулося за дії опромінення довжиною хвилі 635 нм.

Пероксидазна активність штамів досліджених видів грибів за дії лазерного опромінення. Визначення впливу опромінення світлом довжиною хвилі 405, 532 та 635 нм протягом 10 с на активність пероксидази штамів видів

P. ostreatus, *F. velutipes*, *S. commune* та *L. sulphureus* показує, що опромінення сприяє зростанню пероксидазної активності культурального фільтрату та гомогенату міцелію штамів досліджених видів. Найбільшою реакцією у відповідь на опромінення світлом довжиною хвилі 405 нм характеризувалися штами *P. ostreatus* та *F. velutipes*. Зокрема, показник пероксидазної активності культурального фільтрату максимально зріс на 321,2 %, активність пероксидази міцелію зросла на 373,8 % для штамів *P. ostreatus*. Пероксидазна активність культурального фільтрату для штамів *F. velutipes* найкраще збільшилася на 181,15 %, значення активності пероксидази міцелію найбільше зросло на 231,4 %. Інші результати були для штамів *L. sulphureus*, які демонструють максимальне збільшення пероксидазної активності культурального фільтрату на 371,4 %, міцелію гомогенату – на 375 % за дії опромінення світлом довжиною хвилі 532 нм. Для штамів *S. commune* найефективнішим було використання опромінення світлом довжиною хвилі 635 нм – показники пероксидазної активності культурального фільтрату максимально зросли на 338,2 %, а міцеліального гомогенату – на 317 %.

Отримані нами результати вказують на доцільність використання лазерного опромінення довжиною хвилі 405, 532 та 635 нм для інтенсифікації ферментативної активності штамів видів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune*.

ВИСНОВКИ

1. Дослідження ростових, морфологічних та біосинтетичних особливостей базидієвих грибів *Flammulina velutipes* (5 штамів), *Laetiporus sulphureus* (3 штами), *Pleurotus ostreatus* (6 штамів) та *Schizophyllum commune* (3 штами) за дії опромінення за допомогою LED лазерів світлом довжиною хвилі 405 нм, 532 нм та 635 нм в умовах різних енергетичних доз опромінення (25,05–102,5 мДж/см²) дало змогу отримати нові для науки відомості про реакцію міцелію на використанні джерела світла.

2. Встановлено вплив довжини хвилі світла та енергетичної дози опромінення на радіальну швидкість росту міцелію штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune*. Показники росту міцелію штамів *P. ostreatus*, *S. commune* та *L. sulphureus* під час використання світла довжиною хвилі 532 нм та 635 нм зростали на 47,9–84,3 %. Швидкість росту міцелію штамів *F. velutipes* збільшувалася на 67,6–73,5 % в умовах опромінення довжиною хвилі 405 нм та 532 нм. Енергетична доза опромінення при цьому складала 51,1 мДж/см².

3. Опромінення світлом довжиною хвилі 405 нм, 532 нм та 635 нм міцелію штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune* не впливало на основні морфологічні характеристики колоній на картопляно-глюкозному агаризованому середовищі.

4. Уперше виявлено, що використання фотоактивованого міцелію штамів *P. ostreatus*, *S. commune*, *L. sulphureus* та *F. velutipes* на живильних середовищах зі зниженою концентрацією глюкози (8 г/дм³ та 6 г/дм³) сприяє зростанню фотостимулюючого ефекту – відбувалося значне збільшення швидкості росту

(на 50–130,7 %) опроміненого міцелію, порівняно з неопроміненим.

5. Встановлено вплив довжини хвилі світла на синтез біомаси міцелію штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune*. Під час використання опромінення довжиною хвилі 532 нм кількість біомаси міцелію штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus* та *P. ostreatus* зростала на 71,4–93,6 %. Синтез біомаси штамів *S. commune* зростав на 75,3 % в умовах використання опромінення довжиною хвилі 635 нм. При цьому для усіх видів була використана енергетична доза опромінення 51,1 мДж/см².

6. Визначено, що зменшення кількості внесеного опроміненого інокулюму міцелію штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* та *S. commune* з 8,4 % до 3,6% від об'єму середовища сприяє збільшенню біомаси досліджених штамів при поверхневому культивуванні на 65,5–70,4 %.

7. Виявлено, що зниження фотоіндукованої стимуляції швидкості росту міцелію для усіх досліджених нами штамів проявляється через 24 години. Фотостимулюючий ефект на швидкість росту міцелію видів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune* починає знижуватися до рівня контролю уже під час третього пересіву.

8. Уперше встановлено ефективність використання лазерного опромінення для збільшення кількості білка у міцелії штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune*. В результаті використання опромінення міцелію штамів *F. velutipes*, *L. sulphureus* та *P. ostreatus* довжиною хвилі 532 нм вміст білка збільшився на 20,2–36,3 %. Аналогічний ефект спостерігали для міцелію штамів *S. commune* за опромінення довжиною хвилі 635 нм – вміст білка збільшився на 29,4 %.

9. Уперше проведено дослідження впливу дії лазерного опромінення на синтез екзополісахаридів штамами *S. commune* та ендо- і екзополісахаридів – штамами *F. velutipes* та *P. ostreatus*. Встановлено значне зростання кількості полісахаридів (на 30,5–51,2 %) за дії опромінення міцелію штамів *P. ostreatus* та *F. velutipes* довжиною хвилі 532 нм. Довжина хвилі 635 нм стимулювала синтез екзополісахаридів штамами *S. commune* на 70,7 %.

10. Уперше здійснено дослідження впливу концентрації глюкози на вміст та продуктивність каротиноїдів міцелію *L. sulphureus* за дії лазерного опромінення. Для збільшення вмісту каротиноїдів (на 66,1 %) та продуктивності (на 166,3 %) міцелію *L. sulphureus* ефективним є використання опромінення довжиною хвилі 532 нм.

11. Показано, що лазерне опромінення сприяє зростанню каталазної та пероксидазної активності культурального фільтрату та гомогенату міцелію досліджених штамів. Найбільший приріст обох видів активності у відповідь на опромінення довжиною хвилі 405 нм спостерігали у штамів *P. ostreatus* та *F. velutipes*. Для збільшення каталазної та пероксидазної активності штамів *L. sulphureus* доцільно використовувати опромінення довжиною хвилі 532 нм, для штамів *S. commune* – опромінення довжиною хвилі 635 нм.

СПИСОК РОБІТ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в журналах, що індексуються Web of Science

1. Reshetnyk K., Prysedsy Yu., Yuskov D. The influence of laser irradiation on the development of vegetative micelium *Pleurotus ostreatus*. *Biologija*. 2019. Vol. 65, No 4. P. 243–250. (Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту).

Статті у закордонних наукових виданнях, включених до інших міжнародних наукометричних баз даних

2. Reshetnyk K., Yuskov D. Modification of peroxidase activity of some stains of basidiomycota under the influence of laser radiation. *The scientific heritage. Biological Sciences*. 2019. Vol. 39, No 1. С. 12–14. (Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту).

Статті у наукових фахових виданнях України

3. Решетник К. С. Вплив LED лазерів на ростові процеси макроміцета *Flammulina velutipes* (Curt.:Fr.) Sing. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2019. Вип. 81(5). С. 1–8.

4. Reshetnyk K. The influence of laser irradiation on the content of carotenoids in the mycelium of fungi *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill. *Chornomorski Botanical Journal*. 2020. 16 (4). С. 333–342. doi: 10.32999/ksu1990-553X/2020-16-4-6

5. Reshetnyk K. Analysis of the influence of laser irradiation on the accumulation of biomass and polysaccharides *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. *ScienceRise: Biological Science*. 2020. No 3(24). С. 18–23.

6. Решетник К. С., Юськов Д. С. Каталазна активність макроміцета *Pleurotus ostreatus* (Jacq. Fr) P. Kumm. за дії лазерного опромінення. *ScienceRise: Biological Science*. 2019. Vol. 1. No 16. С. 30–36. (Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту).

7. Решетник К. С., Юськов Д. С. Вплив лазерного опромінення на каталазну активність базидіоміцета *Flammulina velutipes* (Curt.: Fr.) Sing. *Вісник Львівського університету. Серія: Біологічна*. 2019. № 81. С. 3–11. (Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту).

8. Решетник К. С., Юськов Д. С. Інтенсифікація росту базидієвого гриба *Schizophyllum commune* за допомогою лазерного опромінення. *Агроекологічний журнал*. 2020. № 2. С. 106–111. (Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту).

9. Решетник К. С., Приседський Ю. Г. Вплив лазерного опромінення на накопичення біомаси та екзополісахаридів гриба *Schizophyllum commune* Fr. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки*. 2020. 1(389). С. 25–30. (Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної

обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту).

10. Решетник К. С., Приседський Ю. Г. Ріст та культурально-морфологічні особливості деяких штамів *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill за дії лазерного опромінення. *Ukrainian Botanical Journal*. 2020. 77(6). С. 472–479. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.06.472> (Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту).

Матеріали доповідей наукових конференцій

11. Решетник К.С. Дослідження впливу лазерного опромінення на ростові характеристики гриба *Flammulina velutipes* (Curt.: Fr.) Sing. Матеріали наукової конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників і здобувачів наукового ступеня за підсумками науково-дослідної роботи за період 2015–2016 рр. (Вінниця, 15–18 травня 2017 р.): у 2-х т.Т.1. Вінниця, 2017. С.23–24.

12. Решетник К. С. Покращення ростових характеристик гриба *Flammulina velutipes* (Curt.: Fr.) Sing під дією лазерного опромінення. *Екологія Донбасу: уроки історії та виклики сьогодення*. Збірник тез доповідей Першої міжнародної науково-практичної конференції (Донецька область, Волноваський район смт. Графське, 10–11 жовтня 2017 р.). Вінниця: «Нілан – ЛТД», 2017. С. 49–52.

13. Решетник К. С. Дослідження впливу лазерного опромінення на ростові характеристики гриба *Flammulina velutipes* (Curt.: Fr.) Sing. *Актуальні проблеми ботаніки та екології*. Матеріали міжнар. конф. молодих учених (Луцьк, 5–10 вересня 2017 р.). Луцьк, 2017. С. 84.

14. Reshetnyk K. Investigation the effect of laser irradiation on the growth characteristics of *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. *2ND International Conference «Smart Bio»* (Kaunas, 3–5 May 2018). Kaunas, 2018. P. 344.

15. Решетник К. С. Визначення ефективності використання опроміненого посівного міцелію для отримання біомаси грибів. *Актуальні питання розвитку Біології та Екології: VI Міжнародна наукова конференція студентів, аспірантів та молодих вчених*. Вінниця: 21–22 жовтня 2020 р. Вінниця: Твори, 2020. С.59–61.

16. Решетник К. С., Юськов Д. С. Вплив лазерного опромінення на ростові параметри деяких штамів гливи звичайної *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. *Шевченківська весна: досягнення біологічної науки / BioScience Advances*. Збірник тез XVI Міжнародної наукової конференції студентів та молодих вчених (Київ, 24–27 квітня 2018 р.). Київ, 2018. С. 74–75. (Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту).

17. Решетник К. С., Юськов Д. С. Вплив лазерного опромінення на швидкість росту міцелію деяких штамів гливи звичайної *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. *Фундаментальні та прикладні дослідження в біології та екології*. Матеріали V Міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Вінниця, 2018. С. 126–127. (Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту).

Патенти

18. Решетник К. С., Приседський Ю. Г. Спосіб стимулювання росту дикаріотичного міцелію їстівного гриба гливи звичайної (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm): пат. 124287 Україна. № u 201712431, від 14.12.2017, МПК (2018.01), Бюл. № 6, від 26.03.2018. (*Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту*).
19. Решетник К. С., Приседський Ю. Г. Деклараційний патент України на корисну модель № 124286. Спосіб стимулювання росту лікарського гриба *Schizophyllum Commune* Fr. Заявка № u 201712427, від 14.12.2017, МПК (2018.01), Бюл. № 6, від 26.03.2018. (*Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту*).
20. Решетник К. С., Приседський Ю. Г. Деклараційний патент України на корисну модель № 124612. Спосіб стимулювання початкових етапів росту лікарського гриба *Schizophyllum Commune* Fr. Заявка № u 201712432, від 14.12.2017, МПК (2017.01), Бюл. № 7, від 10.04.2018. (*Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту*).
21. Решетник К. С., Приседський Ю. Г. Деклараційний патент України на корисну модель № 124610. Спосіб стимулювання росту їстівного гриба гливи звичайної (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm.). Заявка № u 201712425, від 14.12.2017, МПК (2018.01), Бюл. № 7, від 10.04.2018. (*Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту*).
22. Решетник К. С., Приседський Ю. Г., Юськов Д. С. Деклараційний патент України на корисну модель № 877419. Спосіб інтенсифікації ростових параметрів вищого базидіального гриба *Flammulina velutipes*. Заявка № u 201811990, від 03.12.2018, МПК А01G 18/40 (2018.01), Бюл. № 7, від 09.04.2019. (*Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту*).
23. Решетник К. С., Юськов Д. С. Деклараційний патент України на корисну модель № 996219. Спосіб підвищення активності антиоксидантної системи базидіоміцета *Pleurotus ostreatus*. Заявка № u 201812553, від 17.12.2018, МПК А01G 18/40 (2018.01), Бюл. № 7, від 09.04.2019. (*Особистий внесок дисертанта: проведення експериментальних досліджень, здійснення статистичної обробки результатів, аналіз літературних матеріалів та написання частини тексту*).

АНОТАЦІЯ

Решетник К. С. Вплив лазерного опромінення міцелію на інтенсифікацію ростових параметрів деяких видів Basidiomycota. – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) за спеціальністю **03.00.21 «Мікологія»**. – Донецький національний університет імені Василя Стуса, Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, Київ, 2021.

У дисертації представлені результати дослідження ростових, морфологічних та біосинтетичних процесів штамів видів *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer, *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. та *Schizophyllum commune* Fr. за дії лазерного опромінення довжиною хвилі 405 нм, 532 нм та 635 нм в умовах різних енергетичних доз (25,05–102,5 мДж/см²) та експериментальним шляхом визначено найкращу дозу опромінення (51,1 мДж/см²).

Досліджено вплив лазерного опромінення на швидкість радіального росту та морфологічні особливості міцелію досліджених грибів. У всіх варіантах дослідів з вивчення впливу лазерного опромінення на міцелій підібрані дози світла різних спектрів з однаковою щільністю енергії. Опромінення довжиною хвилі 532 нм та 635 нм виявилось оптимальним для росту міцелію штамів *P. ostreatus*. Крім того, нами вперше виявлено, що 532 нм та 405 нм є оптимальними для росту міцелію штамів *L. sulphureus* та *F. velutipes*, а 635 нм і 405 нм – для *S. commune*. Особливих відмінностей морфологічних характеристик колоній *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune* за дії опромінення нами не було виявлено.

Уперше встановлено ефективність використання лазерного опромінення для збільшення кількості білка у міцелії для видів *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune*. Енергетична доза опромінення в усіх варіантах дослідження впливу світла на кількість білка була однаковою (51,1 мДж/см²). Для *P. ostreatus*, *L. sulphureus* та *F. velutipes* найефективнішим є використання опромінення довжиною хвилі 532 нм, а для *S. commune* – 635 нм, вміст білка збільшився для усіх досліджених нами штамів на 20,2–36,3 %.

Уперше отримано результати дослідження синтезу екзополісахаридів штамами *S. commune* та ендо- і екзополісахаридів штамами *F. velutipes*, *P. ostreatus* за дії лазерного опромінення. Встановлено значне зростання кількості полісахаридів за дії опромінення довжиною хвилі 532 нм для *P. ostreatus*, *F. velutipes* та 635 нм для *S. commune*. Для *P. ostreatus* кількість ендо- та екзополісахаридів збільшилася на 30,5–42 %, для *F. Velutipes* – на 45,2–51,2 %, а для *S. commune* кількість екзополісахаридів зросла на 70,7 %.

Уперше досліджено вплив концентрації глюкози на вміст та продуктивність каротиноїдів у міцелії *L. sulphureus* за дії лазерного опромінення. Для збільшення вмісту та покращення продуктивності каротиноїдів у міцелії *L. sulphureus* опромінення довжиною хвилі 532 нм було кращим, ніж 405 та 635 нм: вміст каротиноїдів у міцелії зріс на 66,1 %, а продуктивність зросла на 166,3 %. Досліджено, що використання фотоактивованого міцелію при культивуванні на середовищі зі зниженою на 20 % концентрацією глюкози сприяє зростанню вмісту каротиноїдів на 62,3 % відносно неопроміненого міцелію на середовищі з концентрацією глюкози 10 г/дм³.

Досліджено, що лазерне опромінення довжиною хвилі 532 нм, 635 нм та 405 нм веде до зростання каталазної та пероксидазної активності культурального фільтрату та гомогенату міцелію досліджених штамів. Найбільшою реакцією у відповідь на опромінення довжиною хвилі 405 нм характеризувалися штами грибів *P. ostreatus* та *F. velutipes*. Для гриба *L. sulphureus* доцільно використовувати опромінення довжиною хвилі 532 нм. Для гриба *S. commune* ефективним є використання опромінення довжиною хвилі 635 нм.

Ключові слова: фотостимуляція, LED лазери, лазерне опромінення, мікологія, полісахариди, *Flammulina velutipes*, *Laetiporus sulphureus*, *Pleurotus ostreatus*, *Schizophyllum commune*, міцелій, культурально-морфологічні особливості, швидкість росту, ферментна активність.

АННОТАЦІЯ

Решетник К. С. Влияние лазерного облучения мицелия на интенсификацию ростовых параметров некоторых видов Basidiomycota. – квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук (доктора философии) по специальности 03.00.21 «Микология». – Донецкий национальный университет имени Василя Стуса, Институт ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины, Киев, 2021.

В диссертации представлены результаты исследования ростовых, морфологических и биосинтетических процессов штаммов видов *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer, *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. и *Schizophyllum commune* Fr. при воздействии лазерного облучения длиной волны 405 нм, 532 нм и 635 нм в условиях различных энергетических доз (25,05–102,5 мДж/см²) и экспериментальным путем определено лучшую дозу облучения (51,1 мДж/см²).

Исследовано влияние лазерного облучения на скорость радиального роста и морфологические особенности мицелия исследованных грибов. Во всех вариантах опытов по изучению влияния лазерного облучения на мицелий подобраны дозы света разных спектров с одинаковой плотностью энергии. Облучение длиной волны 532 нм и 635 нм оказалось оптимальным для роста мицелия штаммов *P. ostreatus*. Кроме того, нами впервые обнаружено, что 532 нм и 405 нм являются оптимальными для роста мицелия штаммов *L. sulphureus* и *F. velutipes*, а 635 нм и 405 нм – для *S. commune*. Особых различий морфологических характеристик колоний *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune* под действием облучения нами не было обнаружено.

Впервые установлена эффективность использования лазерного облучения для увеличения количества белка в мицелии для видов *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune*. Энергетическая доза облучения во всех вариантах исследования влияния света на количество белка была одинаковой (51,1 мДж/см²). Для *P. ostreatus*, *L. sulphureus* и *F. velutipes* эффективным является использование облучения длиной волны 532 нм, а для *S. commune* – 635 нм, содержание белка увеличилось для всех исследованных нами штаммов на 20,2–36,3%.

Впервые получены результаты исследования синтеза экзополисахаридов штаммами *S. commune* и эндо- и экзополисахаридов штаммами *F. velutipes*, *P. ostreatus* под действием лазерного облучения. Установлено значительный рост количества полисахаридов при воздействии облучения длиной волны 532 нм для *P. ostreatus*, *F. velutipes* и 635 нм для *S. commune*. Для *P. ostreatus* количество эндо- и экзополисахаридов увеличилась на 30,5–42%, для *F. velutipes* – на 45,2–51,2 %, а для *S. commune* количество экзополисахаридов выросла на 70,7 %.

Впервые исследовано влияние концентрации глюкозы на содержание и производительность каротиноидов в мицелии *L. sulphureus* при воздействии лазерного облучения. Для увеличения содержания и улучшения производительности каротиноидов в мицелии *L. sulphureus* облучение длиной волны 532 нм было лучше, чем 405 и 635 нм, содержание каротиноидов в мицелии выросло на 66,1 %, а производительность выросла на 166,3 %. Доказано, что использование фотоактивированного мицелия при культивировании в среде с пониженной на 20 % концентрацией глюкозы способствует росту содержания каротиноидов на 62,3 % относительно необлученного мицелия в среде с концентрацией глюкозы 10 г/дм³.

Доказано, что лазерное облучение длиной волны 532 нм, 635 нм и 405 нм ведет к росту каталазной и пероксидазной активности культурального фильтрата и гомогената мицелия исследованных штаммов. Наибольшей реакцией в ответ на облучение длиной волны 405 нм характеризовались штаммы грибов *P. ostreatus* и *F. velutipes*. Для гриба *L. sulphureus* целесообразно использовать облучение длиной волны 532 нм. Для гриба *S. commune* эффективным является использование облучения длиной волны 635 нм.

Ключевые слова: фотостимуляция, LED лазеры, лазерное облучение, микология, полисахариды, *Flammulina velutipes*, *Laetiporus sulphureus*, *Pleurotus ostreatus*, *Schizophyllum commune*, мицелий, культурально-морфологические особенности, скорость роста, ферментная активность.

SUMMARY

Reshetnyk K. S. Influence of laser irradiation of mycelium on intensification of growth parameters of some species of Basidiomycota. – Manuscript.

The PhD thesis, speciality **03.00.21.** – «**Mycology**». – Vasyl’Stus Donetsk National University, M. G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation presents the results of research of growth, morphological and biosynthetic processes of strains of *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer, *Laetiporus sulphureus* (Bull.) Murrill, *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. and *Schizophyllum commune* Fr. under the action of laser irradiation with a wavelength of 405 nm, 532 nm and 635 nm at different energy doses (25.05–102.5 mJ/cm²) and experimentally determined the best radiation dose (51.1 mJ/cm²).

The influence of laser irradiation on the radial growth rate and morphological features of the mycelium of the studied fungi was studied. In all variants of experiments to study the effect of laser radiation on the mycelium selected doses of light of different

spectra with the same energy density. Irradiation with a wavelength of 532 nm and 635 nm was optimal for the growth of mycelium of *P. ostreatus* strains. In addition, we first found that 532 nm and 405 nm are optimal for the growth of mycelium of strains of *L. sulphureus* and *F. velutipes*, and 635 nm and 405 nm – for *S. commune*. We did not find any special differences in the morphological characteristics of the colonies of *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus* and *S. commune* under the action of irradiation.

The effect of glucose source concentration on photoinduced stimulation of mycelial radial growth rate was studied. For species *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune* it was found that the use of photoactivated mycelium when cultured on a medium with low glucose concentration contributes to the growth of the photostimulating effect.

The increase in mycelial biomass under the action of irradiation was studied. Irradiation with a wavelength of 532 nm was optimal for the synthesis of mycelial biomass of strains *F. velutipes*, *L. sulphureus* and *P. ostreatus* (mycelium biomass increased by 71.4–93.6 %), and a wavelength of 635 nm – for *S. commune* (biomass increased by 75.3 %). Moreover, for the species *L. sulphureus* and *S. commune* these results were obtained for the first time.

It has been shown experimentally that the effect of photoinduced stimulation of the mycelium growth rate decreases over time. It was found that the reduction of this photostimulating effect on the mycelium is manifested after 24 hours of storage in species *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune* and *F. velutipes* – in the first 24 hours after irradiation. After 48 hours, the effect of the effects of short-term photostimulation on the mycelium completely disappears, and the growth rate of mycelium in all studied species is reduced to the level of control.

It was found that the increased growth rate of photoactivated mycelium persisted during two reseedings of cultures of *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune* provided that the first reseedling was made within 24 hours after irradiation of the mycelium.

The reduction of the photostimulating effect on the growth rate to the level of control was observed during the third reseedling for all studied species.

Increasing the growth rate of mycelium under the action of irradiation, allowed to reduce the amount of seed mycelium during surface cultivation of the above species of fungi. Thus, for strains of *L. sulphureus* and *S. commune* it was shown for the first time that photoactivation of the mycelium can reduce the amount of inoculum in the environment by 1.4 times.

For the first time the efficiency of using laser irradiation to increase the amount of protein in the mycelium for species *F. velutipes*, *L. sulphureus*, *P. ostreatus*, *S. commune* was established. The energy dose of irradiation in all variants of the study of the effect of light on the amount of protein was the same (51.1 mJ/cm²). For *P. ostreatus*, *L. sulphureus* and *F. velutipes* the most effective is the use of irradiation with a wavelength of 532 nm, and for *S. commune* 635 nm – the protein content increased for all strains studied by 20.2–36.3 %.

For the first time, the results of the study of the synthesis of exopolysaccharides by strains of *S. commune* and endo- and exopolysaccharides by strains of *F. velutipes*, *P. ostreatus* under the action of laser irradiation were obtained. There was a significant increase in the amount of polysaccharides under the action of irradiation with a wavelength of 532 nm for *P. ostreatus*, *F. velutipes* and 635 nm for *S. commune*. For *P. ostreatus* the amount of endo- and exopolysaccharides increased by 30.5–42 %, for *F. velutipes* by 45.2–51.2 %, and for *S. commune* the amount of exopolysaccharides increased by 70.7 %.

The effect of glucose concentration on the content and productivity of carotenoids in the mycelium of *L. sulphureus* under the action of laser irradiation was studied for the first time. To increase the content and improve the performance of carotenoids in the mycelium of *L. sulphureus*, irradiation with a wavelength of 532 nm was better than 405 and 635 nm – the content of carotenoids in the mycelium increased by 66.1 % and productivity increased by 166.3 %.

It was investigated that the use of photoactivated mycelium in cultivation on a medium with a reduced concentration of 20 % glucose contributes to an increase in carotenoid content by 62.3 % compared to non-irradiated mycelium on a medium with a glucose concentration of 10 g/dm³.

It was investigated that laser irradiation with a wavelength of 532 nm, 635 nm and 405 nm leads to an increase in the catalase activity of the culture filtrate and mycelium homogenate of the studied strains. The largest response to irradiation with a wavelength of 405 nm was characterized by strains of the fungus *P. ostreatus* and *F. velutipes* (increase in the catalase activity of the culture filtrate by 20.2–115.8 %, and the catalase activity of the mycelium homogenate by 29.6–123.2 % in accordance). For the fungus *L. sulphureus* it is advisable to use irradiation with a wavelength of 532 nm (increase in the catalase activity of the culture filtrate by 108.47 %, and the catalase activity of the mycelium homogenate by 112.82 %). For the fungus *S. commune*, the use of irradiation with a wavelength of 635 nm is effective – the catalase activity of the culture filtrate increased by 104.6 %, and the catalase activity of the mycelium of the homogenate increased by 117.1 %. Moreover, for the species *L. sulphureus* and *S. commune* the data were obtained by us for the first time.

Data on the effect of laser irradiation on the peroxidase activity of the mycelium and culture filtrate of the studied strains were obtained. For *P. ostreatus* and *F. velutipes* it is advisable to use irradiation with a wavelength of 405 nm – peroxidase activity, depending on the strain increased by 181.1–373.8 %. For the fungus *L. sulphureus*, it is advisable to use irradiation with a wavelength of 532 nm – an increase in peroxidase activity by almost 375 % was recorded. For the fungus *S. commune*, the use of irradiation with a wavelength of 635 nm is effective – peroxidase activity increased in different strains by 317–338.2 %. For *L. sulphureus* and *S. commune*, these data were obtained for the first time.

Key words: photostimulation, LED lasers, laser irradiation, mycology, polysaccharides, *Flammulina velutipes*, *Laetiporus sulphureus*, *Pleurotus ostreatus*, *Schizophyllum commune*, mycelium, cultural and morphological features, growth rate, enzyme activity.

Підписано до друку 01.03.2021 р.

Формат 60×84/16. Папір офсетний.
Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman.

Умов. друк. арк. 1,40. Тираж 100 прим.
Зам. № 348.

Віддруковано з оригіналу макету замовника.
Центр оперативного друку «Документ Принт»
ФОП Кушнір Ю.В.
м. Вінниця, вул. Академіка Янгеля, 4, 1-й поверх, оф. 114.
Тел. 067 390 20 88
