

УДК 615.32:634.6+58:069.029

Оксана МИХАЙЛОВА

кандидат біологічних наук, докторантка кафедри трансляційної медичної біоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського», просп. Берестейський, 37, м. Київ, Україна, 03056; старший науковий співробітник відділу мікології, Інститут ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України, вул. Терещенківська, 2, м. Київ, Україна, 01601 (mikhajlova.ok@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-9212-5094

SCOPUS: 57203947760

Наталія ПОЄДИНОК

доктор біологічних наук, доцент кафедри трансляційної медичної біоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського», просп. Берестейський, 37, м. Київ, Україна, 03056 (nproyedinok@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-6942-2549

SCOPUS: 6505852554

Тетяна ЛУЦЕНКО

кандидат технічних наук, доцент кафедри трансляційної медичної біоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського», просп. Берестейський, 37, м. Київ, Україна, 03056 (tanywalytsenko@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-6023-0428

SCOPUS: 57193403285

Олександр ГАЛКІН

доктор біологічних наук, професор, декан факультету біомедичної інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського», просп. Берестейський, 37, м. Київ, Україна, 03056

ORCID: 0000-0002-5309-6099

SCOPUS: 57194474663

Бібліографічний опис статті: Михайлова О., Поєдинок Н., Луценко Т., Галкін О. (2024). Розробка харчових продуктів для спеціальних медичних цілей на основі їстівних та лікарських грибів. *Фітотерапія. Часопис*, 2, 172–182, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2024-2-172>

РОЗРОБКА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНИХ МЕДИЧНИХ ЦІЛЕЙ НА ОСНОВІ ЇСТИВНИХ ТА ЛІКАРСЬКИХ ГРИБІВ

Актуальність. Їстівні та лікарські макроміцети є джерелом біологічно активних речовин, які містяться в плодових тілах, міцелії та культуральній рідині. Окремі види макроміцетів використовують як дієтичні продукти харчування, харчові добавки, лікарські препарати нового класу – «грибні лікарські препарати», продукти косметики. Створення сучасних мікотехнологій вимагає глибокого вивчення факторів, які регулюють функції грибного організму, що дасть змогу з максимальною ефективністю використовувати їх природний потенціал.

Мета дослідження – розробити методику підвищення біологічної цінності лікарських грибів *Ganoderma lucidum*, *Hericium erinaceus*, *Inonotus obliquus*, *Lentinula edodes* з використанням низькоінтенсивного лазерного опромінення *in vitro*; розробити рецептуру харчових продуктів для спеціальних медичних цілей на основі грибної сировини з підвищеним вмістом біологічно активних сполук.

Матеріали та методи. Під час дослідження використовували традиційні мікологічні методи (культивування макроміцетів *in vitro* та дослідження їх біосинтетичних властивостей) та унікальні фотобіологічні методи (добір енергоефективних джерел штучного світла з контрольованими спектральними, енергетичними характеристиками для активації посівного матеріалу).

Результати дослідження. Установлено ефективні режими опромінення низькоінтенсивного лазерного світла на ростові характеристики та біосинтетичну активність (синтез ендолісахаридів, жирнокислотний склад) біотехнологічно важливих видів макроміцетів за умов глибокого культивування. Підтверджено, що опромінення міцелію досліджених штамів призводить до скорочення лаг-фази та збільшення швидкості росту культур. Найчутливішим до опромінення лазерним світлом у синьому та червоному діапазоні виявився штамі *G. lucidum*, для якого зафіксовано скорочення стаціонарної фази на 4 доби раніше, ніж у контролі. Зелене світло виявилось найменш ефективним для всіх досліджених штамів. За ступенем підвищення ефективності впливу лазерного опромінення на ростові процеси та біосинтетичну активність досліджені культури можна розташувати в ряд: *I. obliquus* < *L. edodes* < *H. erinaceus* < *G. lucidum*. Порівняльний аналіз жирнокислотного

профілю міцелію досліджених видів дав змогу встановити загальну позитивну динаміку змін. За всіх використаних режимів опромінення зафіксовано зменшення вмісту насичених жирних кислот і зростання кількості новоутворених моно- та поліненасичених жирних кислот. На основі культивованої міцеліальної маси розроблено композицію готової форми у вигляді твердих желатинових капсул і напрацьовано дослідну партію. Проведено гігієнічне регламентування показників якості й безпечності та розроблено технічні умови для харчових продуктів для спеціальних медичних цілей.

Висновок. Розроблено вітчизняний харчовий продукт для спеціальних медичних цілей грибного походження з імуномодулювальними та нейропротекторними властивостями грибної сировини.

Ключові слова: лікувальні властивості, біологічно активні сполуки, полісахариди, міцеліальна маса, лазер, *Ganoderma lucidum*, *Hericium erinaceus*, *Inonotus obliquus*, *Lentinula edodes*.

Oksana MYKCHAYLOVA

PhD in biology, doctoral at the Department of Translational Medical Bioengineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Beresteiskyi ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056; Senior Scientist at Department of Mycology, M. G. Kholodny Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine, Tereshchenkivska str., 2, Kyiv, Ukraine, 01601 (mikhajlova.ok@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-9212-5094

SCOPUS: 57203947760

Natalia POYEDINOK

D. Sc. in Biology, Associate Professor at the Department of Translational Medical Bioengineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Beresteiskyi ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056 (npoyedinok@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-6942-2549

SCOPUS: 6505852554

Tetiana LUTSENKO

PhD, Associate Professor at the Department of Translational Medical Bioengineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Beresteiskyi ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056 (tanywalytsenko@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-6023-0428

SCOPUS: 57193403285

Oleksandr GALKIN

D. Sc. in Biology, Professor, Dean of the Faculty of Biomedicine Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Beresteiskyi ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056

ORCID: 0000-0002-5309-6099

SCOPUS: 57194474663

To cite this article: Mykchaylova O., Poyedinok N., Lutsenko T., Galkin O. (2024). Rozrobka kharchovykh produktiv dlia spetsialnykh medychnykh tsilei na osnovi yistivnykh ta likarskykh hrybiv [Development of products for special medical purposes based on edible and medicinal mushrooms]. *Fitoterapiia. Chasopys – Phytotherapy. Journal*, 2, 172–182, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2024-2-172>

DEVELOPMENT OF PRODUCTS FOR SPECIAL MEDICAL PURPOSES BASED ON EDIBLE AND MEDICINAL MUSHROOMS

Actuality. Edible and medicinal mushrooms are a source of biologically active substances contained in fruiting bodies, mycelium, and culture liquid. Currently, certain types of macromycetes are used as dietary food products, food supplements, and medicinal drugs of a new class – “mushroom medicinal”, cosmeceutical products. The creation of modern mycotechnologies requires an in-depth study of the factors that regulate the functions of the fungal organism, which will allow using their natural potential with maximum efficiency.

The aim of the research. To develop methods of increasing the biological value of medicinal mushrooms *Ganoderma lucidum*, *Hericium erinaceus*, *Inonotus obliquus*, *Lentinula edodes* using low-intensity laser irradiation in vitro. Development of the formulation of food products for special medical purposes based on mushroom raw materials, with an increased content of biologically active compounds.

Materials and methods. In the course of the research, traditional mycological methods (cultivation of macromycetes in vitro and study of their biosynthetic properties) and unique photobiological methods (selection of energy-efficient artificial light sources with controlled spectral and energy characteristics for seed activation) were used.

Research results. Effective regimes of low-intensity laser light irradiation on growth characteristics and biosynthetic activity (synthesis of endopolysaccharides, fatty acid composition) of biotechnologically important species of mushrooms under conditions of

submerged cultivation have been established. It has been confirmed that irradiation of the mycelium of the studied strains leads to a shortening of the lag phase and an increase in the growth rate of cultures. The most sensitive to laser light irradiation in the blue and red range was the *G. lucidum* strain, for which a shortening of the stationary phase was recorded 4 days earlier than in the control. The green light was the least effective for all strains tested. According to the degree of improvement of the effectiveness of laser irradiation on growth processes and biosynthetic activity, the investigated cultures can be arranged in the following order: *I. obliquus* < *L. edodes* < *H. erinaceus* < *G. lucidum*. A comparative analysis of the fatty acid profile of the mycelium of the studied species made it possible to establish the general positive dynamics of changes. A decrease in the content of saturated fatty acids and an increase in the amount of newly formed mono- and polyunsaturated fatty acids were recorded for all the irradiation modes used. Based on the cultivated mycelial mass, a composition of the finished form in the form of hard gelatin capsules was developed and an experimental batch was developed. Hygienic regulation of quality and safety indicators was carried out and technical conditions for food products for special medical purposes were developed.

Conclusion. A method of increasing the biological value of cultivated mycelial mass using low-intensity laser irradiation has been developed. A domestic food product for special medical purposes of mushroom origin with immunomodulatory and neuroprotective properties of mushroom raw materials has been developed.

Key words: medicinal properties, biologically active compounds, polysaccharides, mycelial mass, laser, *Ganoderma lucidum*, *Hericium erinaceus*, *Inonotus obliquus*, *Lentinula edodes*.

Вступ. Актуальність. Їстівні та лікарські гриби на рівні з лікарськими рослинами тисячоліттями використовуються в традиційній медицині для лікування й профілактики різних захворювань, а також сприятливого впливу на здоров'я людини (Chang & Wasser, 2018; Lindequist, 2024). У наш час певні види лікарських рослин та грибів зберегли своє значення як біогенні ліки. У деяких регіонах світу вони досі залишаються важливим джерелом медикаментозного лікування (Stabnikova et al., 2024; Lindequist, 2024; Zhang et al., 2019). У сучасному світі постійно зростає потреба у використанні їстівних та лікарських грибів як функціональних харчових продуктів, дієтичних добавок, нутрицевтиків та дизайнерських продуктів (Chang & Wasser, 2018; Golembiovskaya et al., 2019; Ivanov et al., 2021). Одним із важливих аспектів при розробці грибних препаратів є розуміння фармакологічних властивостей грибних компонентів та їх потенційного застосування для підтримки здоров'я, профілактики й лікування різних захворювань. Особливої уваги заслуговує аналіз мікохімічного складу плодових тіл, культивованої міцеліальної маси грибів, визначення механізмів дії грибних метаболітів та можливості їх застосування як допоміжних засобів у традиційних методах лікування (Badalyan & Zambonelli, 2023; Chang & Wasser, 2018; Krupodorova et al., 2021).

Сучасними методами з плодових тіл, міцелію та культуральної рідини грибів ізольовано та ідентифіковано широку низку цінних метаболітів: алкалоїди, полісахариди, білки та їх комплекси, фенольні сполуки, стероїди, нуклеотиди тощо. Дослідженнями *in vitro* та *in vivo* доведено антиоксидантну, протидіабетичну, гепатопротекторну, протипухлинну, імуномодулювальну, протимікробну та противірусну дію певних метаболітів (Chang & Wasser, 2018; Lindequist, 2024).

Попри те що близько 270 видів грибів мають лікувальні властивості, лише деякі з них використовують

у фармакопеї. Найчастіше застосовують такі види грибів з доведеними фармакологічними властивостями: *Ganoderma lucidum* (Curtis) P.Karst., *Inonotus obliquus* (Fr.) Pilát, *Hericium erinaceus* (Bull.) Pers., *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler.

G. lucidum, відомий також під назвою «рейші», у традиційній східній медицині використовують близько 2000 років з різноманітною лікувальною метою, наприклад, як знеболювальний засіб, для зниження температури, покращення травлення, підтримки гомеостазу (Wang et al., 2020). З *G. lucidum* виділено та ідентифіковано понад 350 біоактивних сполук, включно з полісахаридами (α/β -D-глюкани), алкалоїдами, три-терпенами, білками, стероїдами, нуклеотидами, глікопротеїнами, пептидами, стеролами. Доведено, що полісахариди *G. lucidum* виявляють антиоксидантні, імуномодулювальні, антинейро-дегенеративні, антидіабетичні, протизапальні та антибактеріальні властивості (Lee et al., 2019; Wang et al., 2020).

H. erinaceus відомий під назвами «геріцій», «мав'яча голова», «лев'яча грива», «їжовик гребінчастий». Перші відомості про його використання в традиційній медицині датовані понад 1000 років тому. Грибний порошок та екстракти геріція використовують як імуностимулятор та антисептик при лікуванні хронічного гастриту, раку шлунка, для лікування нервової системи, при нейродегенеративних розладах. Плодові тіла та міцеліальна маса геріція містять білки, есенціальні амінокислоти (аргінін, гістидин, лейцин, ізoleyцин, лізин, метіонін, фенілаланін, треонін, валін і триптофан) та жирні кислоти, мінерали (Ca, K, Mg, Mn, P, Zn і Se), вітаміни групи B, D, біологічно активні сполуки (полісахариди, поліфеноли, глікопротеїни) (Friedman et al., 2015). Проте найважливішими для фармакологічного застосування є два класи терпеноїдних сполук – геріцинони та ерінацини, які входять до складу як плодових тіл, так і культивованої біомаси. Експе-

риментально підтверджено, що геріцинони та ерінацини здатні стимулювати синтез нейротрофічного ростового фактору (NGF – nerve growth factor) та нейротрофічного фактору головного мозку (BDNF – brain-derived neurotrophic factor), які відповідають за відновлення неврологічних розладів і можуть допомогти в профілактиці та лікуванні нейродегенеративних захворювань (Badalyan & Zambonelli, 2023; Zhang et al., 2022).

L. edodes, відомий у медичній практиці як «шіїтаке», здавна використовувався в країнах Південно-Східної Азії, деяких країнах Європи та Північної Америки не лише для приготування страв, а й із лікувальною метою. Фармакологічні властивості шіїтаке зумовлені наявністю в його складі широкого спектра біологічно активних речовин. Плодові тіла та культивована біомаса гриба містять білки, есенціальні амінокислоти (аргінін, гістидин, лейцин, ізолейцин, лізин, метіонін, фенілаланін, треонін, валін і триптофан), есенціальні жирні кислоти, мінерали (Ca, K, Mg, Mn, P, Zn і Se), вітаміни групи B, D, C, E, полісахариди, полісахаридпептиди, терпеноїди, лектини, поліфеноли, стерини (Reis et al., 2017). Доведено різноманітні активності, які виявляють біологічно активні сполуки гриба, а саме: протизапальні, антиоксидантні, антимікробні властивості (Li et al., 2022; Lindequist, 2024). Дослідження механізму імуномодулювальної дії полісахаридів *L. edodes* дали змогу припустити, що це складна взаємодія імунологічних, метаболічних та епігенетичних змін (Zhang et al., 2019). Підтверджено, що полісахариди можуть модулювати як вроджені, так й адаптивні імунні відповіді, тому їх варто розглядати як модифікатори біологічної відповіді (BRM) (Friedman, 2015). Полісахарид «лентинан», що міститься в *L. edodes*, схвалений як ад'ювантний терапевтичний препарат при лікуванні різних форм раку (Zhang et al., 2019).

Фармакологічні властивості лікарського гриба *I. obliquus*, відомого в медичній практиці як «чага», зумовлені біологічною активністю комплексу різноманітних сполук, які входять до його складу. З плодових тіл та міцелію *I. obliquus* виокремлено та ідентифіковано понад 250 біоактивних речовин: полісахариди (β-глюкани та гетероглюкани), поліфеноли хромогенного комплексу, меланіни, бетулін, тритерпеноїди ланостанового типу, похідні бензойної кислоти (Chang et al., 2022; Fordjour et al., 2023). Саме завдяки їх комплексній дії грибна сировина та екстракти чаги показали значну імуномодулювальну активність. Водний екстракт чаги є дуже потужним імуномодулятором, який відновлює систему кісткового мозку, пошкоджену хіміотерапією. Лікарська

сировина під назвою «чага» увійшла до державної фармакопеї на початку 60-х років ХХ ст. та використовувалася як тонізувальний та профілактичний засіб, рекомендований при захворюваннях шлунково-кишкового тракту. Пізніше чагу стали вживати як неспецифічний лікарський засіб при лікуванні гастритів, виразки шлунка, поліпозів, передракових захворювань та деяких форм злоякісних пухлин у випадках, коли не показана променева терапія та хірургічне втручання.

Перспективною технологією виробництва грибною сировини й цінних метаболітів з грибів є глибинне культивування. Саме цей спосіб дає змогу отримувати значну кількість міцеліальної маси стандартної якості для виробництва нутрицевтиків, лікарських засобів, харчових добавок. На думку Chang & Buswell (2022), міцеліальні продукти – це «хвиля майбутнього», тому що вони забезпечують стандартизовану якість та безперервне виробництво. Створення таких біотехнологій передбачає глибоке вивчення чинників, які регулюють біосинтетичну активність гриба-продуцента, що дає змогу ефективно використовувати його природний потенціал і забезпечує виробництво продукції необхідної якості в потрібній кількості. Штучне світло є одним з екологічно чистих регуляторів морфогенезу, біосинтетичної та біологічної активності грибів. Розуміння впливу світла та механізмів фоторецепції в грибів є невід'ємним складником фоторегуляції в біотехнологічних процесах, які зосереджені на цілеспрямованому синтезі певних біологічно активних сполук.

Враховуючи унікальний хімічний склад та перспективи використання різноманітних продуктів на основі їстівних та лікарських грибів (нутрицевтиків, дієтичних добавок і фармакологічних препаратів), інтенсифікація процесів глибинного культивування з використанням низькоінтенсивного лазерного світла може мати практичний та науковий інтерес.

Мета дослідження – розробити методику підвищення біологічної цінності їстівних та лікарських грибів *Lentinula edodes*, *Ganoderma lucidum*, *Hericium erinaceus*, *Inonotus obliquus* з використанням низькоінтенсивного лазерного опромінення; розробити рецептуру харчових продуктів для спеціальних медичних цілей на основі грибною сировини з підвищеним вмістом біологічно активних сполук (полісахаридів).

Матеріали та методи дослідження. Об'єктом досліджень були чисті культури біотехнологічно важливих видів їстівних та лікарських макроміцетів *Ganoderma lucidum* ІВК 1904, *Hericium erinaceus* ІВК

977, *Inonotus obliquus* IBK 1877, *Lentinula edodes* IBK 2541. Штами зберігаються в Колекції культур шапинкових грибів Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України (акронім IBK).

Культивування на рідкому живильному середовищі проводили згідно з описаною методикою (Mukchaylova et al., 2023).

Дослідження впливу низькоінтенсивного лазерного опромінення на динаміку росту і біосинтетичну активність культур проводили за розробленою авторами методикою (Poyedinok et al., 2003). Інокулом, вирощений в умовах глибинної культури, опромінювали за різних режимів освітлення. Як джерело когерентного видимого світла використовували газові лазери: гелій-неоновий лазер ЛГН-215 з випромінюванням довжиною хвилі 632,8 нм (червоне світло) та аргонний іонний лазер з випромінюванням з довжиною хвилі 514,5 нм (зелене світло) та 488,0 нм (синє світло). Експозицію вибирали таку, щоб число фотонів, що падають, було майже однаковим при обробці посівного міцелію світлом різної довжини хвилі. Завдяки досить широкій варіації вихідної потужності джерел світла, які ми використовували, експозиція визначалась відповідно до заданої дози і варіювалась у діапазоні від 1 до 5 хв залежно від потужності джерела світла. Неопромінений (контроль) і опромінений міцелій використовували при дослідженні впливу світла на динаміку росту міцеліальної маси, синтезу ендополісахаридів. Після опромінення посівний міцелій у кількості 10 % за об'ємом вносили в колби Ерленмєра та проводили культивування в умовах глибинної культури. Вміст ендополісахаридів у міцеліальній масі визначали за стандартною методикою (Mukchaylova et al., 2023).

Жирнокислотний профіль міцелію аналізували відповідно до ДСТУ ІСО.5508-2001. Метиллові ефіри жирних кислот аналізували за допомогою газового хроматографу 7890 В (Agilent Technologies, США). Зразки були підготовлені відповідно до вищезазначеного стандарту (Mukchaylova et al., 2024).

Результати дослідження та їх обговорення. Встановлено, що опромінення інокулюму досліджених штамів низькоінтенсивним лазерним світлом за умов глибинного культивування призводить до скорочення лаг-фази та збільшення швидкості росту культур. Процес росту міцелію *L. edodes* і *H. erinaceus* досягав стаціонарної фази на 2 доби раніше, ніж у контролі при опроміненні лазерним світлом у червоному та синьому діапазоні. За тих самих режимів опромінення штам *G. lucidum* досягав стаціонарної фази на 4 доби раніше, ніж у контролі. Ростові процеси в культури *I. obliquus* виявилися більш чутливими до синього лазерного світла, опромінення яким

дало змогу отримати найбільший вихід біомаси (6,8 г/л) вже на 9-ту добу культивування, як порівняти з іншими режимами. Використання зеленого світла ($\lambda=514,5$ нм) виявилось найменш ефективним для всіх досліджених штамів.

Отже, світлова обробка інокулюму в синьому та червоному діапазоні дає змогу значно скоротити термін культивування досліджених видів та отримувати більшу кількість міцеліальної маси.

Експериментально встановлено, що синє світло є ключовим сигнальним компонентом, який регулює експресію генів і глобально перебудовує клітинний метаболізм у грибів (Yu & Fischer, 2019). При вирощуванні їстівних макроміцетів для стимуляції росту плодових тіл і підвищення їх харчової та біологічної цінності використовують синє світло (Huang et al., 2017; Nakano et al., 2010).

Встановлено, що опромінення інокулюму досліджених штамів лазерним світлом у всіх діапазонах довжин хвиль викликало збільшення синтезу ендополісахаридів. Спостерігали кореляцію між накопиченням міцеліальної маси та полісахаридів у *G. lucidum*, *L. edodes*, *H. erinaceus* (табл. 1). Опромінення лазерним синім та червоним світлом інокулюму *G. lucidum* індукувало збільшення синтезу ендополісахаридів на 64,0 % та 61,9 % відповідно. Для культури *L. edodes* опромінення в тих же режимах збільшувало кількість полісахаридів у міцеліальній масі на 41,2 % та 37,5 % відповідно. Для штаму *H. erinaceus* синє та червоне лазерне світло також були найефективнішими для стимуляції синтезу ендополісахаридів (табл. 1). Найменший вплив опромінення був зафіксований для культури *I. obliquus*.

Отримані результати дають змогу стверджувати, що низькоінтенсивне лазерне світло у видимій частині спектра може бути використане в біотехнології глибинного культивування всіх досліджених видів як стимулятор біосинтетичної активності, зокрема міцеліальної маси та полісахаридів (табл. 1).

Біофункціональні властивості грибних полісахаридів останнім часом привертають увагу фармакологів. Установлено, що макромолекули полісахаридів мають широкий спектр терапевтичних властивостей, зокрема антиоксидантну, імуномодульовальну, гіпоглікемічну, протизапальну, протиракову, антидеменційовальну, омолоджувальну та гіполіпідемічну дії (Sheng et al., 2021; Shi, 2016; Yu et al., 2023). Саме тому розробка технології збільшення їх кількості у міцеліальній масі значно покращить біологічну цінність кінцевого продукту.

За даними літератури грибні полісахариди, як-от β -глюкани, активують сигнальні шляхи toll-подіб-

Таблиця 1

Вплив низькоінтенсивного лазерного світла на синтез міцеліальної маси та полісахаридів досліджених видів макроміцетів

Вид, (тривіальна назва)	Випромінювання, довжина хвилі, нм	Біомаса, г/л		Ендополісахариди	
		г/л	% зміни	ендо-, %	% зміни
<i>Ganoderma lucidum</i> , рейші	Контроль, без опромінення	6,9±0,2		7,6±0,2	
	Червоне світло (λ=632,8)	12,6±0,4*	82,6	12,3±0,1*	61,9
	Зелене світло (λ=514,5)	9,0±0,2*	30,4	10,1±0,1*	32,9
	Синє світло (λ=488,0)	12,9±0,1*	86,9	12,3±0,3*	64,1
<i>Hericium erinaceus</i> , лев'яча грива	Контроль, без опромінення	10,2±0,1		5,3±0,2	
	Червоне світло (λ=632,8)	15,7±0,3*	53,9	7,9±0,2*	49,1
	Зелене світло (λ=514,5)	10,8±0,3*	5,9	6,2±0,2*	17,0
	Синє світло (λ=488,0)	14,2±0,3*	39,2	8,1±0,2*	52,8
<i>Inonotus obliquus</i> , чага	Контроль, без опромінення	9,2±0,4		7,0±0,2	
	Червоне світло (λ=632,8)	10,6±0,3*	15,2	8,5±0,2*	21,4
	Зелене світло (λ=514,5)	10,1±0,4	9,8	7,8±0,3*	11,4
	Синє світло (λ=488,0)	11,5±0,2*	25,1	10,1±0,2*	44,3
<i>Lentinula edodes</i> , шіїтаке	Контроль, без опромінення	6,3±0,1		7,2±0,1	
	Червоне світло (λ=632,8)	10,8±0,3*	71,4	9,9±0,2*	37,5
	Зелене світло (λ=514,5)	10,4±0,3*	65,1	8,2±0,2*	13,8
	Синє світло (λ=488,0)	11,3±0,4*	79,3	10,2±0,4*	41,2%

Примітка: «*» – позначені статистично достовірні відмінності щодо контролю, (p ≤ 0,05).

них рецепторів на імунних та неімунних клітинах й індукують експресію протизапальних цитокінів та інтерферонів, тим самим усуваючи патогени та модулюючи імунні реакції. На основі полісахаридів з *G. lucidum* та *L. edodes* розроблено комерційні терапевтичні препарати «Ганодеран» та «Лентінан», які застосовують як ад'ювантний терапевтичний препарат при комплексному лікуванні пацієнтів з різними формами раку, які перенесли хіміо- та променеви терапію, з метою покращання якості життя та зменшення побічних ефектів. Крім того, грибні полісахариди здатні змінювати склад кишкової мікробіоти, стимулюючи імунну систему, захищаючи від запалення та підтримуючи здоров'я кишечника. Потрапляючи в кишковий тракт, полісахариди гриба розкладаються й змінюють кислотність середовища та мікробний склад, який сприяє проліферації та росту корисних кишкових бактерій і збільшує концентрацію загальних коротколанцюгових жирних кислот, які відіграють регуляторну роль у кишковому гомеостазі (Wang et al., 2018). Експериментально підтверджено, що полісахариди *G. lucidum* та *L. edodes* здатні позитивно впливати на мікробіоту кишечника, збільшуючи чисельність Bifidobacteriaceae і Lactobacillaceae та зменшуючи кількість Firmicutes, Enterobacteriaceae і Lachnospiraceae (Jin et al., 2017; Xue et al., 2020; Yang et al., 2020).

Отже, проведені дослідження фоточутливості культур грибів до лазерного світла дали змогу вста-

новити загальні закономірності та індивідуальні особливості їх реакцій на світлові впливи й визначити ефективні параметри світлової обробки інкулюму, що дає змогу отримувати найбільшу стимуляцію росту й синтезу ендополісахаридів.

Адаптація мікроорганізмів і грибів до різноманітних екологічних чинників супроводжується відповідними змінами, зокрема й жирнокислотного складу клітинних ліпідів, що зумовлено модифікацією в проникності їхніх мембран, метаболізмі жирних кислот та активності перекисних процесів. Одним із механізмів, який забезпечує здатність грибів до фоторецепції різного типу, є відповідні зміни в їхньому жирнокислотному профілі та ступені ненасиченості клітинних ліпідів. Ненасичені жирні кислоти клітини є одним із важливих компонентів окислювально-відновної системи.

Встановлено вплив лазерного світла на жирнокислотний профіль міцеліальної маси досліджених культур. Порівняльний аналіз ліпідної фракції міцелію дав змогу встановити загальну позитивну динаміку змін у жирнокислотному профілі. За всіх використаних режимів опромінення зафіксовано зменшення вмісту насичених жирних кислот (НЖК) та зростання кількості новоутворених мононенасичених (МНЖК) та поліненасичених (ПНЖК) жирних кислот.

Зміни в кількісному та якісному вмісті НЖК, МНЖК і ПНЖК відбуваються як результат впливу лазерного опромінення, яке індукує ферментативні

реакції. У відповідь на вплив зовнішнього фактору – опромінення – клітини грибів синтезують індукційні ферменти, у цьому разі десатурази, які каталізують перетворення одинарних зв'язків між атомами вуглецю в ацильних ланцюгах (C–C) у подвійні (C=C). Відзначено істотну різницю в якісному складі міцеліальної маси: опромінення червоним світлом індукує коротколанцюгові кислоти C6–C12, а опромінення синім світлом синтез довголанцюгових кислот C20–C24.

За результатами досліджень встановлено ефективні режими опромінення інокулюму для інтенсифікації процесу отримання міцеліальної маси з підвищеним вмістом полісахаридів та ненасичених жирних кислот для кожного виду гриба. Напрацьовано міцеліальну масу лікарських і їстівних грибів (*H. erinaceus*, *L. edodes*, *G. lucidum*, *I. obliquus*) з підвищеною біологічною цінністю для пробної партії харчових продуктів для спеціальних медичних цілей.

З метою практичного впровадження розроблених методів отримання харчових продуктів для спеціальних медичних цілей з підвищеною біологічною активністю розроблено композицію готової форми у вигляді твердих желатинових капсул на основі грибної сировини (табл. 2, табл. 3).

Проведено гігієнічне регламентування показників якості й безпечності та розроблено технічні

умови для харчових продуктів для спеціальних медичних цілей з імуномодулювальними властивостями на основі грибної сировини у формі капсул твердих. Розроблено дослідну технологію одержання готового продукту у вигляді твердих капсул (рис. 1), виготовлено дослідну партію продукту, проект інструкції із застосування.



Рис. 1. Харчові продукти для спеціальних медичних цілей на основі грибної сировини

За результатами державної санітарно-епідеміологічної експертизи, проведеної Львівським національним медичним університетом ім. Данила Галицького, ТУ У 10.8-022070921-001:2023 «Харчові продукти для спеціальних медичних цілей на основі рослинної та грибної сировини» технічні характеристики відповідають вимогам чинного санітарного законо-

Таблиця 2

Рецептура харчових продуктів для спеціальних медичних цілей на основі грибної сировини

Інгредієнти	Масова частка інгредієнтів в одній капсулі, мг		
	«МікоІмун Комплекс»	«МікоІмун Герицій», капсули	«МікоІмун Інонотус»
Активні інгредієнти:			
Висушений подрібнений міцелій <i>L. edodes</i>	150	–	–
Висушений подрібнений міцелій <i>G. lucidum</i>	150	–	–
Висушений подрібнений міцелій <i>H. erinaceus</i>	150	500	–
Висушений подрібнений міцелій <i>I. obliquus</i>	150	–	500
Допоміжні речовини:			
Кальцію стеарат	–	+	+
Лактоза	–	+	+
Мікрокристалічна целюлоза	–	+	+
Маса вмісту капсули, мг	600	600	600

Таблиця 3

Поживна та енергетична цінність на 100 г сухої маси харчового продукту для спеціальних медичних цілей

Компонент	Одиниці	«МікоІмун Комплекс», капсули	«МікоІмун Герицій», капсули	«МікоІмун Інонотус», капсули
Білки	Г	34,8±0,2	31,4±0,2	29,7±0,2
Вуглеводи	Г	55,2±0,2	57,6±0,2	59,6±0,2
Жири	Г	2,15±0,2	3,9±0,2	2,1±0,2
Клітчатка	Г	3,8±0,1	3,4±0,1	4,2±0,1
Бега-глюкани	Г	4,1±0,1	3,7±0,1	4,4±0,1
Енергія	кДж/ккал	1069/112	1107/343	1104/311

давства України. За результатами основних досліджень видано патент (Патент України на корисну модель № 155038).

Розроблений харчовий продукт для спеціальних медичних цілей на основі грибною сировини може використовуватися з профілактичною метою, а також у комплексі терапевтичних заходів при вторинних імунodefіцитних станах (хронічні герпетичні інфекції, стресові ситуації, одужання після гострих інфекційних захворювань, інтоксикацій тощо). Значна частина згаданих патологічних станів супроводжується ураженням нервової системи легкого та помірного ступеня, що може бути скориговано, зокрема, вживанням харчових продуктів для спеціальних медичних цілей.

Висновки.

Отримані результати свідчать про можливість використання низькоінтенсивного лазерного світла для спрямованої регуляції біосинтетичної активності біотехнологічно важливих видів їстівних і лікарських грибів з метою покращення їх споживчих характеристик. Розроблено методику підвищення біологічної цінності досліджених видів їстівних та лікарських грибів з використанням низькоінтенсивного лазерного опромінення. Дібрано режими та дози опромінення лазерним світлом інокулюму грибів за умов глибинного культивування.

Розроблено вітчизняний харчовий продукт для спеціальних медичних цілей грибною походження (на основі *Lentinula edodes*, *Ganoderma lucidum*, *Hericium erinaceus*, *Inonotus obliquus*) з імунomodulatoryними, та нейропротектор-

ними властивостями. Такого роду спеціальний харчовий продукт може використовуватися з профілактичною метою, а також у комплексі терапевтичних заходів при вторинних імунodefіцитних станах. Вживання розробленого вітчизняного харчового продукту для спеціальних медичних цілей може бути актуально під час воєнного стану для військових, для реабілітації поранених і мирного населення, які перебувають в екстремальних умовах.

У контексті глобальних зусиль щодо сталого розвитку їстівні та лікарські гриби стають перспективними продуцентами для створення функціональних харчових продуктів, нутрицевтиків, дієтичних добавок та дизайнерських продуктів харчування. Проте реалізація їх повного потенціалу вимагає розуміння того, як різні фактори, включно зі штучним світлом, впливають на їх характеристики росту та біосинтетичну активність. Продовження досліджень механізмів фотоіндукції в грибах є важливим для відповідального управління ресурсами та захисту навколишнього середовища, сприяння сталим виробничим практикам і забезпеченню довгострокової життєздатності екосистем планети.

Дослідження фінансувалось МОН України в межах виконання державного замовлення на найважливіші науково-технічні (експериментальні) розробки та науково-технічну продукцію у 2022–2023 рр. «Розроблення методів підвищення біологічної активності харчових продуктів для спеціальних медичних цілей», № державної реєстрації 0122U200933.

ЛІТЕРАТУРА

- Badalyan S.M., Zambonelli A. The Potential of Mushrooms in Developing Healthy Food and Biotech Products. *Fungi and Fungal Products in Human Welfare and Biotechnology* / ed. by T. Satyanarayana & S.K. Deshmukh. Singapore, 2023. P. 307–344. Doi 10.1007/978-981-19-885309_11
- Stabnikova O., Viktor Stabnikov V., Paredes-López O. Wild and cultivated mushrooms as food, pharmaceutical and industrial products. *Ukrainian Food Journal*. 2024. Vol. 13. № 1. P. 20–59. Doi 10.24263/2304-974x-2024-13-1-4
- Chang S., Buswell J. Medicinal Mushrooms: Past, Present and Future. *Biochemical Engineering and Biotechnology of Medicinal Mushrooms. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* / ed. by M. Berovic, & J.J Zhong. Singapore, 2022. P. 1–27. Doi 10.1007/10_2021_197
- Chang S.T., Wasser S.P. Current and future research trends in agricultural and biomedical applications of medicinal mushrooms and mushroom products (Review). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2018. Vol. 20. № 12. P. 1121–1133. Doi 10.1615/INTJMEDMUSHROOMS.2018029378
- Chang Y., Bai M., Xue X.B., Zou C.X., Huang X.X., Song S.J. Isolation of chemical compositions as dietary antioxidant supplements and neuroprotectants from Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*). *Food Bioscience*. 2022. Vol. 47. P. 101623. Doi 10.1016/J.FBIO.2022.101623
- Fordjour E., Manful C.F., Javed R., Galagedara L.W., Cuss C. W., Thomas R. Chaga mushroom: a super-fungus with countless facets and untapped potential. *Frontiers in Pharmacology*. 2023. Vol. 14. P. 1273786. Doi 10.3389/FPHAR.2023.1273786/BIBTEX
- Friedman M. Chemistry, nutrition, and health-promoting properties of *Hericium erinaceus* (Lion's Mane) mushroom fruiting bodies and mycelia and their bioactive compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015. Vol. 63. № 32. P. 7108–7123. Doi 10.1021/ACS.JAFC.5B02914

Huang M.Y., Lin K.H., Lu C.C., Chen L.R., Hsiung T. C., Chang W.T. The intensity of blue light-emitting diodes influences the antioxidant properties and sugar content of oyster mushrooms (*Lentinus sajor-caju*). *Scientia Horticulturae*. 2017. Vol. 218. P. 8–13. Doi 10.1016/J.SCIENTA.2017.02.014

Golembiovska O.I., Galkin A.Y., Besarab A.B. Development and validation of a dissolution test for ursodeoxycholic acid and taurine from combined formulation. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. 2019. Vol. 20. № 3. P. 377–394.

Jin M., Zhu Y., Shao D., Zhao K., Xu C., Shi J. Effects of polysaccharide from mycelia of *Ganoderma lucidum* on intestinal barrier functions of rats. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017. Vol. 94. P. 1–9. Doi 10.1016/j.ijbiomac.2016.09099

Ivanov V.M., Shevchenko O., Marynin A., Stabnikov V., Stabnikova E., Gubenia O., Salyuk A. Trends and expected benefits of the breaking edge food technologies in 2021–2030. *Ukrainian Food Journal*. 2021. Vol. 10. № 1. P. 7–36. DOI 10.24263/2304-974X-2021-10-1-3

Lee W., Fujihashi A., Govindarajulu M., Ramesh S., Deruiter J., Dhanasekaran M. Role of mushrooms in neurodegenerative diseases. *Medicinal Mushrooms* / ed. by D. Agrawal & M. Dhanasekaran. Singapore, 2019. P. 223–249. Doi 10.1007/978-981-13-6382-5_8

Li M., Du X., Yuan Z., Cheng M., Dong P., Bai Y. Lentinan triggers oxidative stress-mediated anti-inflammatory responses in lung cancer cells. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 2022. Vol. 477. № 2. P. 469–477. Doi 10.1007/s11010-021-04293-0

Lindequist U. Medicinal mushrooms as multicomponent mixtures – demonstrated with the example of *Lentinula edodes*. *Journal of Fungi*. 2024. Vol. 10. № 2. P. 153. Doi 10.3390/JOF10020153

Михайлова О.Б., Поєдинок Н.Л., Щетинін В. Скринінг перспективних для біотехнологічного використання штамів лікарського гриба *Fomitopsis officinalis* (Vill.) Bondartsev & Singer. *Innovative Biosystems and Bioengineering*. 2022. Vol. 6. № 3–4. P. 110–118. Doi 10.20535/ibb.2022.6.3-4.271383

Mykchaylova O., Dubova H., Lomberg M., Negriyko A., Poyedinok N. Influence of low-intensity light on the biosynthetic activity of the edible medicinal mushroom *Hericium erinaceus* (Bull.: Fr.) Pers. in vitro. *Archives of Biological Sciences*. Vol. 75. № 4. P. 489–501. Doi 10.2298/ABS230821040M

Mykchaylova O., Dubova H., Negriyko A., Lomberg M., Krasinko V., Gregori A., Poyedinok N. Photoregulation of the biosynthetic activity of the edible medicinal mushroom *Lentinula edodes* in vitro. *Photochemistry & Photobiology Science*. 2024. Vol. 23. 435-449. Doi 10.1007/s43630-023-00529-8

Nakano Y., Fujii H., Kojima M. Identification of blue-light photoresponse genes in oyster mushroom mycelia. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 2010. Vol. 74. № 10. P. 2160–2165. Doi 10.1271/BBB.100565

Poyedinok N.L., Buchalo A.S., Negriyko A.M., Potemkina J.V., Mykchaylova O.B. The action of argon and helium-neon laser radiation on growth and fructification of culinary-medicinal mushrooms *Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr.) Kumm., *Lentinula edodes* (Berk.) Singer, and *Hericium erinaceus* (Bull.:Fr.) Pers. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2003. Vol. 5. № 3. P. 8. Doi 10.1615/INTERJMEDICMUSH.V5.13.70

Reis F.S., Martins A., Vasconcelos M.H., Morales P., Ferreira I.C.F.R. Functional foods based on extracts or compounds derived from mushrooms. *Trends in Food Science and Technology*. 2017. Vol. 66. P. 48–62. Doi 10.1016/J.TIFS.2017.05.010

Sheng K., Wang C., Chen B., Kang M., Wang M., Wang, M. Recent advances in polysaccharides from *Lentinula edodes* (Berk.): Isolation, structures and bioactivities. *Food Chemistry*. 2021. Vol. 358. P. 129883. Doi 10.1016/J.FOODCHEM.2021.129883

Shi L. Bioactivities, isolation and purification methods of polysaccharides from natural products: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2016. Vol. 92. P. 37–48. Doi 10.1016/J.IJBIOMAC.2016.06.100

Wang L., Li J.-Q., Zhang J., Li Z.-M., Liu H.-G., Wang Y.-Z. Traditional uses, chemical components and pharmacological activities of the genus *Ganoderma* P. Karst.: a review. *RSC Advances*. 2020. Vol. 10. № 69. P. 42084–42097. Doi 10.1039/d0ra07219b

Wang Y., Huang X., Nie S. Novel prospective of wild mushroom polysaccharides as potential prebiotics. *Biology of Macrofungi. Fungal Biology* / ed by B. Singh & P.A. Lallawmsanga. Singapore, 2018. P. 211–226 Doi 10.1007/978-3-030-02622-6_10

Xue Z., Ma Q., Chen Y., Lu Y., Wang Y., Chen H. Structure characterization of soluble dietary fiber fractions from mushroom *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler and the effects on fermentation and human gut microbiota in vitro. *Food Research International*. 2020. Vol. 129. P. 108870. Doi 10.1016/j.foodres.2019.108870

Yang K., Zhang Y., Cai M., Guan R., Neng J., Sun P. In vitro prebiotic activities of oligosaccharides from the by-products in *Ganoderma lucidum* spore polysaccharide extraction. *RSC Advances*. 2020. Vol. 10. № 25. P. 14794–14802. Doi 10.1039/C9RA10798C

Yu Y., Liu Z., Song K., Li L., Chen M. Medicinal value of edible mushroom polysaccharides: a review. *Journal of Future Foods*, 2023. Vol. 3. № 1. P. 16–23. Doi 10.1016/j.jfutfo.2022.09.003

Yu Z., Fischer R. Light sensing and responses in fungi. *Nature Reviews Microbiology*, 2019. Vol. 17. № 1. P. 25–36. Doi 10.1038/S41579-018-0109-X

Zhang J., Feng N., Liu Y., Zhang H., Yang Y., Liu L., Feng J. Bioactive compounds from medicinal mushrooms. *Biochemical Engineering and Biotechnology of Medicinal Mushrooms. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* / ed. by M. Berovic, & J.J. Zhong. Singapore, 2022. P. 219–268. Doi 10.1007/10_2022_202

Zhang M., Zhang Y., Zhang L., Tian Q. Mushroom polysaccharide lentinan for treating different types of cancers: A review of 12 years clinical studies in China. *Progress in molecular biology and translational science*. 2019. Vol. 163. P. 297-328. Doi 10.1016/BS.PMBTS.2019.02.013

Krupodorova T.A., Barshteyn V.Yu., Sekan A.S. Review of the basic cultivation conditions influence on the growth of basidiomycetes. *Current Research in Environmental & Applied Mycology (Journal of Fungal Biology)*. 2021. Vol. 11. №1. P. 494-531. Doi 10.5943/cream/11/1/34

REFERENCES

Badalyan, S.M., & Zambonelli, A. (2023). The Potential of Mushrooms in Developing Healthy Food and Biotech Products. In: Satyanarayana, T., Deshmukh, S.K. (eds) *Fungi and Fungal Products in Human Welfare and Biotechnology*. Springer, Singapore, P. 307–344. https://doi.org/10.1007/978-981-19-8853-0_11

- Stabnikova, O., Viktor Stabnikov, V., Paredes-López, O. (2024). Wild and cultivated mushrooms as food, pharmaceutical and industrial products. *Ukrainian Food Journal*, 13 (1), 20-59. <https://doi.org/10.24263/2304-974x-2024-13-1-4>
- Chang, S., & Buswell, J. (2022). Medicinal Mushrooms: Past, Present and Future. In: Berovic, M., Zhong, J.J. (eds) *Biochemical Engineering and Biotechnology of Medicinal Mushrooms*. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 184. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/10_2021_197
- Chang, S.T., & Wasser, S.P. (2018). Current and future research trends in agricultural and biomedical applications of medicinal mushrooms and mushroom products (Review). *Int. J. Med. Mushroom*, 20(12), 1121–1133. <https://doi.org/10.1615/INTJMEDMUSHROOMS.2018029378>
- Chang, Y., Bai, M., Xue, X.B., Zou, C.X., Huang, X.X., & Song, S.J. (2022). Isolation of chemical compositions as dietary antioxidant supplements and neuroprotectants from Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*). *Food Bioscience*, 47. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2022.101623>
- Fordjour, E., Manful, C.F., Javed, R., Galagedara, L.W., Cuss, C. W., & Thomas, R. (2023). Chaga mushroom: a super-fungus with countless facets and untapped potential. *Frontiers in Pharmacology*, 14, 1273786. <https://doi.org/10.3389/FPHAR.2023.1273786/BIBTEX>
- Friedman, M. (2015). Chemistry, nutrition, and health-promoting properties of *Herichium erinaceus* (Lion's Mane) mushroom fruiting bodies and mycelia and their bioactive compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(32), 7108–7123. <https://doi.org/10.1021/ACS.JAFC.5B02914>
- Huang, M.Y., Lin, K.H., Lu, C.C., Chen, L.R., Hsiung, T. C., & Chang, W.T. (2017). The intensity of blue light-emitting diodes influences the antioxidant properties and sugar content of oyster mushrooms (*Lentinus sajor-caju*). *Scientia Horticulturae*, 218, 8–13. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2017.02.014>
- Golembiowska, O. I., Galkin, A. Y., & Besarab, A. B. (2019). Development and validation of a dissolution test for ursodeoxycholic acid and taurine from combined formulation. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 20(3), 377–394.
- Jin, M., Zhu, Y., Shao, D., Zhao, K., Xu, C., & Shi, J. (2017). Effects of polysaccharide from mycelia of *Ganoderma lucidum* on intestinal barrier functions of rats. *Int. J. Biol. Macromol.*, 94, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.09.099>
- Ivanov, V. M., Shevchenko, O., Marynin, A., Stabnikov, V., Stabnikova, E., Gubenia, O., ... & Salyuk, A. (2021). Trends and expected benefits of the breaking edge food technologies in 2021–2030. *Ukrainian Food Journal*. 10(1), 7-36. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-1-3>
- Lee, W., Fujihashi, A., Govindarajulu, M., Ramesh, S., Deruiter, J., & Dhanasekaran, M. (2019). Role of mushrooms in neurodegenerative diseases. In: Agrawal, D., Dhanasekaran, M. (eds) *Medicinal Mushrooms*. Springer, Singapore. 223–249. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6382-5_8
- Li, M., Du, X., Yuan, Z., Cheng, M., Dong, P., & Bai, Y. (2022). Lentinan triggers oxidative stress-mediated anti-inflammatory responses in lung cancer cells. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 477(2), 469–477. <https://doi.org/10.1007/s11010-021-04293-0>
- Lindequist, U. (2024). Medicinal mushrooms as multicomponent mixtures – demonstrated with the example of *Lentinula edodes*. *Journal of Fungi*, 10(2), 153. <https://doi.org/10.3390/JOF10020153>
- Mykchaylova, O., Poyedinok, N., & Shchetinin, V. (2022). Skrynihn perspektyvnykh dlia biotekhnolohichnoho vykorystannia shtamiv likarskoho hryba *Fomitopsis officinalis* (Vill.) Bondartsev & Singer [Screening of strains of the medicinal mushroom *Fomitopsis officinalis* (Vill.) Bondartsev & Singer promising for biotechnological use]. *Innov Biosyst Bioeng*, 6(3-4), 110–118. <https://doi.org/10.20535/ibb.2022.6.3-4.271383> [in Ukrainian]
- Mykchaylova, O., Dubova, H., Lomberg, M., Negriyko, A., & Poyedinok, N. (2023). Influence of low-intensity light on the biosynthetic activity of the edible medicinal mushroom *Herichium erinaceus* (Bull.: Fr.) Pers. in vitro. *Archives of Biological Sciences*, 75(4), 489–501. <https://doi.org/10.2298/ABS230821040M>
- Mykchaylova, O., Dubova, H., Negriyko, A., Lomberg, M., Krasinko, V., Gregori, A., & Poyedinok, N. (2024). Photoregulation of the biosynthetic activity of the edible medicinal mushroom *Lentinula edodes* in vitro. *Photochem Photobiol Sci.*, 23, 435-449. <https://doi.org/10.1007/s43630-023-00529-8>
- Nakano, Y., Fujii, H., & Kojima, M. (2010). Identification of blue-light photoresponse genes in oyster mushroom mycelia. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 74(10), 2160–2165. <https://doi.org/10.1271/BBB.100565>
- Poyedinok, N.L., Buchalo, A.S., Negriyko, A.M., Potemkina, J.V., & Mykchaylova, O.B. (2003). The action of argon and helium-neon laser radiation on growth and fructification of culinary-medicinal mushrooms *Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr.) Kumm., *Lentinus edodes* (Berk.) Singer, and *Herichium erinaceus* (Bull.:Fr.) Pers. *Inter. J. Med. Mushrooms*, 5(3), 8. <https://doi.org/10.1615/INTERJ-MEDICMUSH.V5.I3.70>
- Reis, F.S., Martins, A., Vasconcelos, M.H., Morales, P., & Ferreira, I.C.F.R. (2017). Functional foods based on extracts or compounds derived from mushrooms. *Trends in Food Science and Technology*, 66, 48–62. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2017.05.010>
- Sheng, K., Wang, C., Chen, B., Kang, M., Wang, M., & Wang, M. (2021). Recent advances in polysaccharides from *Lentinus edodes* (Berk.): Isolation, structures and bioactivities. *Food Chemistry*, 358, 29883. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.129883>
- Shi, L. (2016). Bioactivities, isolation and purification methods of polysaccharides from natural products: A review. *Int. J. Biol. Macromol.*, 92, 37–48. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2016.06.100>
- Wang, L., Li, J.-Q., Zhang, J., Li, Z.-M., Liu, H.-G., & Wang, Y.-Z. (2020). Traditional uses, chemical components and pharmacological activities of the genus *Ganoderma* P. Karst.: a review. *RSC Advances*, 10(69), 42084–42097. <https://doi.org/10.1039/d0ra07219b>
- Wang, Y., Huang, X., Nie, S. (2018). Novel prospective of wild mushroom polysaccharides as potential prebiotics. In: Singh, B., Lallawmsanga, Passari, A. (eds) *Biology of Macrofungi*. *Fungal Biology*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02622-6_10

Xue, Z., Ma, Q., Chen, Y., Lu, Y., Wang, Y., & Chen, H. (2020). Structure characterization of soluble dietary fiber fractions from mushroom *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler and the effects on fermentation and human gut microbiota in vitro. *Food Research International*, 129, 108870. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108870>

Yang, K., Zhang, Y., Cai, M., Guan, R., Neng, J., & Sun, P. (2020). In vitro prebiotic activities of oligosaccharides from the by-products in *Ganoderma lucidum* spore polysaccharide extraction. *RSC Advances*, 10(25):14794–14802. <https://doi.org/10.1039/C9RA10798C>

Yu, Y., Liu, Z., Song, K., Li, L., & Chen, M. (2023). Medicinal value of edible mushroom polysaccharides: a review. *Journal of Future Foods*, 3(1), 16–23. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2022.09.003>

Yu, Z., & Fischer, R. (2019). Light sensing and responses in fungi. *Nature Reviews Microbiology*, 17(1), 25–36. <https://doi.org/10.1038/S41579-018-0109-X>

Zhang, J., Feng, N., Liu, Y., Zhang, H., Yang, Y., Liu, L., & Feng, J. (2022). Bioactive compounds from medicinal mushrooms. 219–268. https://doi.org/10.1007/10_2022_202

Zhang, M., Zhang, Y., Zhang, L., & Tian, Q. (2019). Mushroom polysaccharide lentinan for treating different types of cancers: A review of 12 years clinical studies in China. *Progress in molecular biology and translational science*. 163. 297–328. <https://doi.org/10.1016/BS.PMBTS.2019.02.013>

Krupodorova, T.A., Barshteyn, V.Yu, Sekan, A.S. (2021). Review of the basic cultivation conditions influence on the growth of basidiomycetes. *Current Research in Environmental & Applied Mycology (Journal of Fungal Biology)*. 11(1), 494–531. <https://doi.org/10.5943/cream/11/1/34>

Стаття надійшла до редакції 01.03.2024.

Стаття прийнята до друку 03.04.2024.

Конфлікт інтересів: Олександр Галкін є членом редакційної колегії журналу «Фітотерапія. Часопис», не брав участі у редакційному оцінюванні та ухваленні рішення про публікацію статті. Інші автори не мають конфліктів інтересів, які слід розкрити.

Внесок авторів:

Михайлова О.Б. – розроблення концепції та дизайну дослідження, аналіз отриманих даних, підготовка тексту;

Поєдинок Н.Л. – розроблення концепції, аналіз отриманих даних;

Луценко Т.М. – розроблення готових капсульованих форм харчових продуктів;

Галкін О.Ю. – аналіз закордонної та вітчизняної літератури, редагування.

Електронна адреса для листування з авторами:

mikhajlova.ok@gmail.com