

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО

**Декан факультету захисту
рослин, біотехнологій та екології**

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри фізіології, біохімії
рослин та біоенергетики

_____ **Юлія КОЛОМІЄЦЬ**
(підпис)

_____ **Світлана ПРИЛУЦЬКА**
(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

« ____ » _____ 20 ____ р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Фітохімічний контроль патогенних бактерій їстівних грибів»

Спеціальність «162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Біотехнології та біоінженерія»

Гарант освітньої програми

кандидат біологічних наук,
доцент

(підпис)

Олена КВАСКО

Керівник бакалаврської

кваліфікаційної роботи

доктор біологічних наук,
доцент

(підпис)

Ольга БОЙКО

Виконала

(підпис)

Олександра ПОНОМАРЕНКО

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри фізіології, біохімії рослин та
біоенергетики
д. б. н., проф. _____ Світлана ПРИЛУЦЬКА
“_____” _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ

Пономаренко Олександрі Олександрівні

Спеціальність **«162 «Біотехнології та біоінженерія»**

Освітньо-професійна програма **«Біотехнології та біоінженерія»**

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: **«Фітохімічний контроль патогенних бактерій їстівних грибів»**

Затверджена наказом ректора НУБіП від 30 жовтня 2025 року № 2596 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 22 травня 2026р.

Вихідні дані до роботи: промислове культивування, плодові тіла печериці двоспорової, бактерії *Pseudomonas tolaasii*, екстракти лікарських рослин.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Огляд літературних джерел щодо фотохімічного контролю патогенних бактерій їстівних грибів
2. Дослідження антибактеріальної активності рослинних екстрактів щодо *Pseudomonas tolaasii*
3. Оцінка впливу рослинних екстрактів на ріст, якість та продуктивність *Agaricus bisporus*

Дата видачі завдання 30 жовтня 2025 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Ольга БОЙКО

**Завдання взяв до
виконання**

(підпис)

Олександра ПОНОМАРЕНКО

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота викладена на 49 сторінках друкованого тексту, складається зі вступу, трьох розділів (огляд літератури, матеріали та методи, результати власних досліджень), висновків, списку використаних джерел (37 найменувань, з яких 34 – латиницею). Робота містить 3 таблиці, 4 рисунка та 1 додаток.

Ключові слова. *AGARICUS BISPORUS*, *PSEUDOMONAS TOLAASII*, ФІТОХІМІЧНИЙ КОНТРОЛЬ, *ALLIUM SATIVUM*, *ARTEMISIA ANNUA*.

Актуальність теми. Грибівництво в Україні останнім часом стає дедалі популярнішим і перетворилося на спеціалізовану сільськогосподарську галузь. Їстівні гриби широко застосовуються не тільки у харчовій промисловості, але й у медицині та біотехнології. Такі види, як *Agaricus bisporus*, є не лише важливим джерелом білка, дієтичних волокон, незамінних амінокислот і біологічно активних речовин, але й дієвим елементом циркулярної біоекономіки.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є наукове обґрунтування застосування водних екстрактів рослин (*Allium sativum*, *Artemisia annua*, *Citrus lemon*) для фітохімічного контролю бактеріального збудника *Pseudomonas tolaasii* при культивуванні печериці двоспорової (*Agaricus bisporus*).

Об'єкт дослідження – взаємодія *Agaricus bisporus* з бактеріальним патогеном *Pseudomonas tolaasii* в умовах промислового культивування.

Предмет дослідження – антибактеріальна активність водних екстрактів *Allium sativum*, *Artemisia annua* та *Citrus lemon* щодо *Pseudomonas tolaasii*, а також їхній вплив на ріст, продуктивність та якість *Agaricus bisporus*. **Основні завдання до виконання:** дослідити вплив двох концентрацій (25,0 г/л та 50,0 г/л) водних екстрактів трьох видів рослин на лінійний ріст та приріст сухої маси *Agaricus bisporus* та *Pseudomonas tolaasii*; визначити діаметр зон інгібування росту бактерій під дією досліджуваних екстрактів; оцінити біологічну ефективність, урожайність та харчову цінність (вміст білків, жирів, вуглеводів) плодових тіл грибів, вирощених на субстраті з додаванням рослинних екстрактів за умов штучного зараження *P. tolaasii*; розробити

практичні рекомендації для виробництва щодо застосування найефективнішого фітопрепарату в технології вирощування *Agaricus bisporus*.

ABSTRACT

The bachelor's thesis is presented on 44 pages of printed text, consists of an introduction, three sections (literature review, materials and methods, results of own research), conclusions, list of sources used (37 names, of which 34 are in Latin). The work contains 4 tables, 5 figures and 1 appendix.

Keywords. *AGARICUS BISPORUS*, *PSEUDOMONAS TOLAASII*, *PHYTOCHEMICAL CONTROL*, *ALLIUM SATIVUM*, *ARTEMISIA ANNUA*.

Relevance of the topic. Mushroom farming in Ukraine has recently become increasingly popular and has turned into a specialized agricultural sector. Edible mushrooms are widely used not only in the food industry, but also in medicine and biotechnology. Species such as *Agaricus bisporus* are not only an important source of protein, dietary fiber, essential amino acids and biologically active substances, but also an effective element of the circular bioeconomy.

Purpose and objectives of the study. The aim of the work is to scientifically substantiate the use of aqueous plant extracts (*Allium sativum*, *Artemisia annua*, *Citrus lemon*) for phytochemical control of the bacterial pathogen *Pseudomonas tolaasii* in the cultivation of the two-spore mushroom (*Agaricus bisporus*).

The object of the study - the interaction of *Agaricus bisporus* with the bacterial pathogen *Pseudomonas tolaasii* under industrial cultivation conditions.

The subject of the study - the antibacterial activity of aqueous extracts of *Allium sativum*, *Artemisia annua* and *Citrus lemon* against *Pseudomonas tolaasii*, as well as their effect on the growth, productivity and quality of *Agaricus bisporus*.

Main tasks to be performed: to investigate the effect of two concentrations (25.0 g/l and 50.0 g/l) of aqueous extracts of three plant species on linear growth and dry mass gain of *Agaricus bisporus* and *Pseudomonas tolaasii*; to determine the diameter of the zones of inhibition of bacterial growth under the action of the studied extracts; to assess the biological efficiency, yield and nutritional value (content of

proteins, fats, carbohydrates) of fruiting bodies of mushrooms grown on a substrate with the addition of plant extracts under conditions of artificial infection with *P. Tolaasii*; to develop practical recommendations for production on the use of the most effective phytopreparation in the technology of growing *Agaricus bisporus*.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	11
1.1. Екологічне, харчове та фармакологічне значення їстівних грибів	11
1.2. Технології вирощування їстівних грибів.....	17
1.3. Найпоширеніші хвороби їстівних грибів	21
1.4. Основні методи боротьби з хворобами їстівних грибів.....	24
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	29
2. 1. Матеріали дослідження	29
2.2. Методи дослідження	34
2.2.1. Метод ідентифікації бактеріальних збудників.....	34
2.2.2. Метод світлової мікроскопії	36
2.2.3. Метод виділення бактерій	36
2.2.4. Метод приготування екстрактів	37
2.2.5. Методи статистичного та бібліометричного аналізу	38
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ	39
3.1. Дослідження впливу різних концентрацій водних екстрактів рослин на лінійний ріст та приріст сухої маси грибів.....	39
3.2. Рекомендації виробництву	41
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРАСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТКИ.....	49

ВСТУП

Актуальність теми. Грибівництво в Україні сьогодні набуло популярності і набуло характеру спеціалізованої галузі сільського господарства. Їстівні гриби набули широкого використання не лише у харчовій промисловості, а й у медицині та біотехнології. Їстівні гриби, як-то *Agaricus bisporus*, є не лише цінним джерелом білка, харчових волокон, незамінних амінокислот та біоактивних сполук, але й ефективним інструментом циркулярної біоекономіки, забезпечуючи переробку сільськогосподарських відходів на поживну продукцію. За прогнозами, світовий ринок їстівних грибів до 2030 року перевищить 80 млрд дол. США, що зумовлено зростанням попиту на альтернативні джерела білка, веганські продукти та екологічно чисті технології.

Маючи значний потенціал, інтенсивне культивування грибів все ж стикається з низкою проблем, серед яких провідне місце посідають бактеріальні хвороби. Збудники роду *Pseudomonas*, зокрема *Pseudomonas tolaasii*, спричиняють буру плямистість та м'яку гниль плодових тіл, що призводить до втрат урожаю до 40–80% та суттєво погіршує товарну якість грибів. Традиційні методи боротьби – хімічна дезінфекція та антибіотики – мають обмежену ефективність, спричиняють резистентність патогенів та негативно впливають на довкілля. У цьому контексті дедалі більшої уваги набуває пошук екологічно безпечних альтернатив, зокрема використання фітохімічних сполук – природних екстрактів рослин з антимікробними властивостями.

Сучасні дослідження показують, що екстракти лікарських рослин, таких як часник (*Allium sativum*), полин (*Artemisia annua*) та лимон (*Citrus lemon*), мають виражену антибактеріальну дію завдяки вмісту флавоноїдів, алкалоїдів, ефірних олій (лімонен, цитраль) та сірковмісних сполук. Однак, більшість робіт зосереджена на медичному застосуванні цих рослин, тоді як їхній потенціал у фітохімічному контролі бактеріозів їстівних грибів залишається маловивченим. Практично відсутні системні дослідження впливу водних екстрактів рослин на ріст *Agaricus bisporus* та його патогена *P. tolaasii* у промислових умовах культивування. Це зумовлює необхідність розробки науково обґрунтованих

рекомендацій для виробництва щодо використання фітопрепаратів як біоконтролюючих агентів.

Бібліометричний пошук у науково метричній базі Scopus за ключовими словами «pathogenic bacteria» та «edible mushrooms» протягом 2020-2026 рр. повернув результат, що містив 87 публікацій. За результатом аналізу ключових слів цих публікацій було побудовано хмару слів, що і визначила напрям дослідження (рис. 1 додатка А).

Результати бібліометричного аналізу вказаних публікацій показують, що найбільший внесок у розв'язання досліджуваної проблеми вніс німецький дослідник Крістіан Гертвек (рис. 2 додатка А). Ним детально вивчені ендосимбіози широкого кола видів, зокрема імплантація бактерій в нитчасті гриби. В основу даної бакалаврської роботи взято дослідження автора про збудників бактеріальної м'якої гнилі [32, 37].

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є наукове обґрунтування застосування водних екстрактів рослин (*Allium sativum*, *Artemisia annua*, *Citrus lemon*) для фітохімічного контролю бактеріального збудника *Pseudomonas tolaasii* при культивуванні печериці двоспорової (*Agaricus bisporus*).

Для досягнення поставленої мети було поставлено наступні **завдання**:

1. Дослідити вплив двох концентрацій (25,0 г/л та 50,0 г/л) водних екстрактів трьох видів рослин на лінійний ріст та приріст сухої маси *Agaricus bisporus* та *Pseudomonas tolaasii*.
2. Визначити діаметр зон інгібування росту бактерій під дією досліджуваних екстрактів.
3. Оцінити біологічну ефективність, урожайність та харчову цінність (вміст білків, жирів, вуглеводів) плодових тіл грибів, вирощених на субстраті з додаванням рослинних екстрактів за умов штучного зараження *P. tolaasii*.
4. Розробити практичні рекомендації для виробництва щодо застосування найефективнішого фітопрепарату в технології вирощування *Agaricus bisporus*.

Об'єктом дослідження є взаємодія *Agaricus bisporus* з бактеріальним патогеном *Pseudomonas tolaasii* в умовах промислового культивування.

Предметом дослідження є антибактеріальна активність водних екстрактів *Allium sativum*, *Artemisia annua* та *Citrus lemon* щодо *Pseudomonas tolaasii*, а також їхній вплив на ріст, продуктивність та якість *Agaricus bisporus*.

У роботі використано комплексний підхід, що включав мікробіологічне виділення та ідентифікацію збудника на поживних середовищах, світлову мікроскопію для оцінки морфологічних змін, фітохімічне екстрагування біоактивних сполук гарячим методом, статистичний аналіз результатів з використанням t-критерію Стюдента та однофакторного дисперсійного аналізу (GraphPad Prism 8.0). Різницю вважали статистично значущою при $p < 0,05$.

Вперше проведено порівняльну оцінку антибактеріальної активності водних екстрактів *A. sativum*, *A. annua* та *C. lemon* безпосередньо на моделі «субстрат – *A. bisporus* – *P. tolaasii*» в умовах, наближених до промислового виробництва. Встановлено, що екстракт *Citrus lemon* у концентрації 50 г/л забезпечує максимальне пригнічення росту бактерій (22,18% від контролю) без істотного негативного впливу на ріст грибів (95,47% від контролю). Доведено, що застосування фітопрепаратів підвищує біологічну ефективність культивування та знижує частоту уражених плодових тіл з 80–87% до 75% (за умов штучної інокуляції патогеном).

Розроблено рекомендації для грибівничих господарств щодо використання водного екстракту *Citrus lemon* (50 г/л, додавання до компосту у співвідношенні 1:10 до сухої маси соломи) як ефективного та екологічно безпечного засобу боротьби з бактеріальною плямистістю, спричиненою *P. tolaasii*. Запропонований метод дозволяє знизити втрати врожаю, покращити харчову цінність грибів (підвищення вмісту білка до 34,0 мг/100 мг порівняно з 26,0 мг/100 мг у контролі) та частково відмовитися від використання хімічних антисептиків і антибіотиків у технологічному циклі.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Екологічне, харчове та фармакологічне значення їстівних грибів

В останні десятиліття грибовництво набуло популярності як спеціалізована галузь сільськогосподарської біотехнології завдяки екологічному, харчовому та фармакологічному значенню грибів. Сьогодні відома їхня роль в екології, харчуванні та традиційній медицині [1].

Їстівні гриби є багатими на білки, харчові волокна, незамінні амінокислоти та різноманітні біоактивні сполуки з імуномодулюючими та антиоксидантними властивостями, вони мають широке коло екологічного та медичного застосування, визнані корисними продуктами харчування [2].

Сучасні тенденції у харчуванні, спрямовані на здоровий спосіб життя, веганство, підвищили обізнаність споживачів про користь їстівних грибів. Це, у свою чергу, спричинило зростання обсягів світового ринку грибів за останні кілька років. З 2021 до 2026 року це обсяг зріс на 25 %, сягнувши значення понад 75 млрд дол. США, до 2030 року прогнозується перевищення позначки у 80 млрд дол. США.

Нутрицевтичний попит на гриби, з-поміж іншого, спричинений зростанням населення світу та перерозподілом структури харчування. Будучи альтернативним джерелом білка, гриби забезпечують ефективний, поживний та екологічно чистий варіант раціону. Це, у свою чергу, трансформує галузь виробництва їстівних грибів, даючи при цьому значні екологічні переваги, зокрема скорочення викидів вуглецю на 65%, зменшення використання води на 75% та зменшення використання земель на 87%. Тому, потенціал вирощування їстівних грибів продовжуватиме зростати, їстівні гриби будуть задовольняти все більше попиту на білкові продукти. Також ефективніше буде застосовуватися унікальна здатність використовувати сільськогосподарські та лісові відходи як сировину, тим самим створюючи ефективний шлях переробки ресурсів для виробництва білка, який відповідає принципам циркулярної економіки [3]. Окрім

свого нутрицевтичного значення, їстівні гриби відіграють важливу екологічну роль завдяки своїй здатності перетворювати сільськогосподарські відходи на поживні харчові продукти. Це, у свою чергу, сприяє розвитку циркулярної біоекономіки – моделі сталого розвитку, що поєднує використання відновлюваних біологічних ресурсів із замкненими циклами виробництва. Циркулярна біоекономіка спрямована на зменшення залежності від викопного палива, перетворення відходів на ресурси, відновлення екосистем та зниження екологічного впливу [4]. Понад 200 млрд тонн органічної речовини щорічно виробляється в результаті фотосинтезу та інших видів агропромислової діяльності, що становить значну екологічну небезпеку. Крім того, спалювання чи розкладання таких відходів посилює деградацію навколишнього середовища. Лише в одному Китаї щорічно виробляється приблизно 855 млн тон соломи сільськогосподарських культур та 3,7 млрд тон гною худоби. Утилізація цих сільськогосподарських відходів стала нагальною проблемою. Традиційні методи компостування страждають від низької ефективності розкладання лігноцелюлози, патогенні бактерії та гени стійкості до антибіотиків при цьому зберігаються. Їстівні гриби ж демонструють унікальні переваги в перетворенні сільськогосподарських відходів на цінні ресурси, що дозволяє ефективно переробляти матеріали. Вирощування *Stropharia rugosoannulata*, наприклад, зазвичай споживає 20 тонн соломи на 0,07 гектара. За таких умов вирощування можна досягти високих врожаїв, одночасно покращуючи здоров'я ґрунту [5]. При рості міцелій їстівних грибів виділяє позаклітинні ферменти – лаккази, ксиланази, що ефективно розщеплюють сільськогосподарські відходи на поживні речовини, необхідні для розвитку грибів. Гній худоби та птиці також служить необхідним компонентом субстрату для вирощування їстівних грибів. У комбінації з сільськогосподарськими відходами – кукурудзяною соломою, рисовою соломою, пшеничною соломою, відходами чайного листя в оптимізованих пропорціях, після мікробної ферментації, суміш перетворюється на багатий на поживні речовини субстрат, що підтримує ріст високоякісних їстівних грибів. Такий підхід є інноваційним, він не лише вирішує проблему

управління сільськогосподарськими відходами, суттєво зменшує забруднення від накопичення та спалювання відходів, але й дозволяє ефективно переробляти поживні речовини шляхом вирощування їстівних грибів. У результаті, він генерує їстівні грибні продукти зі значною економічною цінністю, створюючи самопідтримувальний та економічно вигідний цикл. Це узгоджується з пріоритетом побудови екологічної цивілізації та науковообґрунтованої концепції «Цикл виробництва рослин, тварин та грибів». Така модель ефективно інтегрує принципи кругообігу матеріалів із сучасним розвитком сільського господарства [6]. У цій теорії використовується не двовимірна структура, що складається і рослин та тварин, – до неї включено гриби як незалежний екологічний компонент системи сільськогосподарського виробництва. У цій теорії враховано, що гриби діють як редуценти, що виділяють позаклітинні ферменти для розщеплення складних рослинних та тваринних залишків на менші, легші для засвоєння рослинами молекули, тим самим завершуючи замкнутий матеріальний цикл, де сільськогосподарські побічні продукти та залишки перетворюються на цінні, ресурси, здатні до повторного використання [7]. Водночас, ця теорія вкладається у принципи 3R циркулярної економіки, що полягає у скороченні, повторному використанні та переробці, синергії екологічних та економічних переваг.

Сталому розвитку, економічному зростанню, зміцненню продовольчої безпеки сприяють їстівні гриби, здатні перетворювати сільськогосподарські відходи, включаючи тирсу, пшеничну солому та кукурудзяне лушпиння, на цінні харчові продукти. До таких грибів відносять *Pleurotus ostreatus* та *Lentinula edodes* [8]. Гриби роду *Pleurotus* мають мушлеподібну чи в'ялоподібну форму з широким або плоским капелюшком (шапочною), діаметр якого коливається у діапазоні 5-25 см. Колір капелюшка варіюється залежно від штаму – від відтінків білого і сірого до коричневого, хоча може мати і сині, рожеві, фіолетові чи рожеві відтінки. Поверхня капелюшка гладка і часто оксамитової структури зі зморшками чи ребристістю, суха або ж, за певних умов, дещо слизька. Текстура капелюшка гладка чи злегка зморшкувата (табл.. 1.1).

Таблиця 1.1.

Морфологічний опис роду *Pleurotus*
(адаптовано українською мовою за [9])

№ зп	Морфологічна характеристика	Опис
1.	Форма капелюшка	Мушлеподібної або віялоподібної форми, з широким, опуклим або плоским капелюшком
2.	Розмір капелюшка	Діаметр від 5 до 25 см
3.	Колір капелюшка	Варіюється залежно від штаму, але зазвичай зустрічається у відтінках білого, сірого або коричневого. Також може мати сині, фіолетові, жовті або рожеві відтінки
4.	Поверхня капелюшка	Гладкий і часто оксамитовий, з деякими зморшками або ребрами, також сухий у деяких випадках, але може стати трохи слизьким
5.	Текстура капелюшка	Гладка і часто злегка зморшкувата
6.	Прикріплення зябер	Нижній (стікаючий вниз по стеблу)
7.	Колір зябер	Молодий гриб білий, але з часом стає кремовим до світло-жовтого кольору, також з відтінками рожевого або бузкового
8.	Розташування Гіллса	Щільні або близько розташовані
9.	Стебло	Коротке, обрубане, прикріплене до капелюшка ексцентрично (не від центру)
10.	Розмір стебла	Довжина варіюється від 2 до 10 см, а товщина – від 1 до 5 см.
11.	Колір стебла	Від білого до кремового або блідо-сірого кольору, але з віком можуть з'являтися коричневі плями
12.	Поверхня стебла	Гладка, а іноді волокниста чи шовковиста

13.	Текстура тіла	Товста, тверда та соковита
14.	Колір тіла	Від білого до кремового кольору
15.	Запах	Від легкого до легкого аромату, часто з нотками анісу, солодки або мигдалю
16.	Відбиток спор	Від білого до світло-жовтого або блідо-жовтого
17.	Форма спори	Витягнутої, еліпсоїдної та циліндричної форми
18.	Розмір спор	Приблизно 5–10 мікрон завдовжки
19.	Поверхня спор	Гладка
20.	Хабітат	Сапротроф росте на мертвих або гниючих листяних деревах, колодах або пнях
21.	Клімат	Зустрічається в тропічних, субтропічних та помірних регіонах залежно від виду
22.	Сезон вирощування	Може зустрічатися протягом року залежно від виду
23.	Розповсюдження	Широко поширений по всій земній кулі, особливо в помірних і субтропічних регіонах

У контексті фармакологічного аналізу найчастіше говорять про *Hericiium erinaceus*. Це популярний у харчуванні їстівний гриб. Сучасними дослідженнями встановлено наявність у них танінів, алкалоїдів, стероїдів, терпеноїдів, полісахаридів та фітостеролів, виявлено наявність алканів, алкенів, алкінів, ароматичних сполук, альдегідів, ефірів, спиртів, аліфатичних сполук та первинних амінів. Детально досліджена і цитопротекторна дія – концентрація екстракту 10–25 мкг/мл зберігає 95% життєздатності клітин та має значні антиоксидантні властивості. Для детального аналізу фармакологічних властивостей про *Hericiium erinaceus* застосовують газову хроматографію-спектрометрію. У результаті відомо про 49 компонентів гриба. Сполуки, відфільтровані за критеріями абсорбції, розподілу, метаболізму, екскреції та токсичності (ADMET), були піддані прогнозуванню мішеней та аналізу шляхів, що виявило білок PPAR γ та його сигнальні шляхи як найважливіші мішені. аналіз зв'язків із захворюваннями виявив взаємозв'язки PPAR γ з різними

захворюваннями, при лікуванні яких може бути корисним застосування *H. erinaceus*. Молекулярне добування ($-6,804$ ккал/моль), вільна енергія зв'язування ($-42,05$ ккал/моль) та динамічні симуляції підтвердили сильну взаємодію між PPAR γ та 2-метилгексадекановою кислотою (унікальний ідентифікатор MeSH: C034839, реєстраційний номер: 27147-71-3). Ці результати підкреслюють антиоксидантні та цитопротекторні властивості фітохімічних речовин *H. erinaceus*, а також їх потенційну терапевтичну безпеку та ефективність [10].

З позиції фармакології відомо і про *Sanghuangporus vaninii* (Ljub.) – їстівний і лікарський макроміцет. З плодових тіл *Sanghuangporus vaninii* було виділено двадцять шість сполук (1–26), серед яких п'ять раніше не описаних ергостеролів, названих сангхустеролами А–Е (1–5). Їхні структури були з'ясовані за допомогою спектроскопічних методів та розрахунків електронного циркулярного дихроїзму. Сполуки 1, 15, 17, 21 та 25 проявили потужну інгібуючу активність щодо утворення NO із значенням IC₅₀ 8,3–14,8 мкМ та дозозалежно знижували експресію білків iNOS та COX-2 у клітинах RAW264.7 [11], а дослідження молекулярного докінгу підтвердили здатність сполук 1, 15, 17, 21 та 25 взаємодіяти з білками iNOS (унікальний ідентифікатор MeSH: C496319, реєстраційний номер: EC 1.14.13.39) та COX-2 (унікальний ідентифікатор MeSH: C496540, реєстраційний номер: EC 1.14.99.1) [12]. Загалом, результати вищезгаданих наукових досліджень можуть стати надійною фітохімічною та фармакологічною основою для розробки грибів як потенційних протизапальних засобів.

1.2. Технології вирощування їстівних грибів

Сучасне грибництво часто стикається з низкою проблем, серед яких і технології вирощування та методи селекції. Традиційні методи селекції часто включають схрещування, випадковий мутагенез та морфологічний відбір, що є трудомісткими та довготривалими, і дають при цьому непередбачувано суперечливі результати [13]. Процес культивування вимагає суворого контролю ряду змінних навколишнього середовища – температури, вологості, концентрації CO₂ та складу субстрату. У сучасних умовах цей контроль фермерами здійснюється традиційними методами. Починаючи з 2020 року, для контролю параметрів навколишнього середовища активно використовуються технології штучного інтелекту (ШІ) з різноманітними датчиками мережі Інтернет. Теплиці, інтегровані з мережею Інтернет, контролює параметри середовища, безперервно збираючи дані у реальному часі з великого числа датчиків. Це дані про температуру субстрату, концентрацію CO₂, вологість, рівень освітлення, що фіксуються датчиками та передаються до центрального процесора. Алгоритми ШІ використовують мережі LSTM, тип RNN, для аналізу масивів попередніх даних та даних у реальному часі з метою виявлення тенденцій у навколишньому середовищі. LSTM демонструють високу точність у прогнозуванні добових коливань температури та вологості, що дозволяє операторам вносити вдосконалені зміни у системи вентиляції, зволоження та опалення. Застосування ШІ за вказаних умов зменшило енергоспоживання кондиціонерів більш ніж на 20%, одночасно покращивши ідеальні параметри росту та стабільність врожаю. Подібні технології для культивування їстівних грибів успішно застосовуються для оптимізації розподілу ресурсів, підтримки стабільного мікроклімату та подовження терміну зберігання після збору врожаю на грибних фермах Японії та Китаю [14].

Культивування їстівних грибів служить корисним методом біоконверсії, перетворюючи відходи на потенційно цінні ресурси. З 15 тисяч видів грибів, які відомі у світі, 2 тисячі – використовуються в якості продукту харчування, 700 –

використовуються за їх лікувальними властивостями і менше 100 культивуються комерційно [9]. У культивуванні нині найпоширенішими є гриби роду *Pleurotus*. Вони активно вирощуються у Китаї, Італії, Польщі, Нідерландах, Іспанії, Литві завдяки своїм смаковим якостям, відносну легкість та економічну вигідність вирощування. Рід *Pleurotus* привернув значну увагу дослідників завдяки своїм лігнолітичним властивостям як грибів білої гнилі.

У відповідь на проблеми сучасного грибівництва у світі (низький рівень промислової агломерації, слабка спеціалізація та виражена просторова неоднорідність) сучасними дослідженнями визначено пріоритетність двох взаємодоповнюючих технічних шляхів:

- 1) регіонально-специфічна оптимізація протоколів культивування для вирішення проблеми просторової неоднорідності;
- 2) уточнений контроль попередньої обробки субстрату та параметрів навколишнього середовища для забезпечення ефективного використання відходів.

Активно розробляються локалізовані рамки культивування для вирішення проблеми технічної фрагментації, спричиненої регіональним різноманіттям субстрату та адаптацією до навколишнього середовища, включаючи типи субстрату та кліматичні коливання (вологість й температура).

До них належать регіонально-специфічні рекомендації щодо формулювання субстрату:

- коригування співвідношення соломи та гною сільськогосподарських культур на основі географічного складу відходів;
- вибір штамів-міцелію, придатних для місцевих температурних або рН-умов.

Мінімізувати бар'єри масштабованості вирощування їстівних грибів можна шляхом інтеграції ключових агрономічних факторів території, домінуючих типів ґрунтів, сезонних кліматичних особливостей. Крім цього, існує потреба в попередній обробці субстрату під час мікробної ферментації. Вирішення її заключається у точному контролі факторів навколишнього

середовища – температури, вологості, рівня рН. Досягається це завдяки двох паралельних стратегій. На етапі попередньої обробки цілеспрямований контроль покращує фізико-хімічні властивості за допомогою динамічної оптимізації параметрів, створюючи оптимальне середовище для ефективної колонізації міцелію. Контролюються при критичні показники:

- характеристики частинок субстрату;
- динаміка рН;
- температурні профілі;
- сукцесія мікробної спільноти;
- зміни співвідношення вуглецю до азоту (C/N) для відстеження змін властивостей субстрату під час ферментації.

Такий комплекс контрольних заходів допомагає приймати рішення щодо оптимальної тривалості та кінцевої точки ферментації.

Для масштабнішого культивування середовище росту точно налаштовується відповідно до різноманітних ресурсів відходів. Це включає наступні параметри:

- калібрування постачання кисню за допомогою вентилязованих тунельних систем для аерованого компостування або пасивної аерації в умовах низького рівня ресурсів;
- регулювання рівня вологості шляхом зміни частоти обприскування в регіонах з високою вологістю;
- адаптація інтенсивності освітлення шляхом застосування затінених або відкритих моделей культивування на основі конкретного типу відходів, включаючи субстрати на основі соломи або паперової маси, та місцевих умов навколишнього середовища.

Такий підхід безпосередньо вирішує проблему недостатнього контролю попередньої обробки та мінливості навколишнього середовища, покращуючи якість субстрату та стабільність врожаю грибів.

Для збагачення субстратів, які будуть використовуватися для вирощування грибів, використовують відходи рослинного та тваринного походження. Серед

відходів рослинного походження найчастіше використовують соломі сільськогосподарських культур – рису, кукурудзяну та пшеничну; відходи лісового господарства та товарних культур: гілки, шкірки фруктів, багаса цукрової тростини [15]. Незважаючи на велику кількість таких відходів у сільському господарстві, їхня придатність як субстратів для грибів значно варіюється залежно від ряду факторів:

- лігноцелюлозного складу;
- вмісту золи;
- фізичної структури [3].

Фізична структура є фактором, що часто недостатньо враховується в лабораторних дослідженнях, але критично впливають на колонізацію міцелієм та плодоношення. Наразі відбувається прогрес у застосуванні рослинних відходів як субстратів для їстівних грибів, проте залишається низка викликів та проблем, які ще потрібно вирішити сучасній біології та біотехнології.

Говорячи про відходи тваринного походження, найчастіше йде мова про гній худоби, що є основним джерелом азоту. Це, у свою чергу, дозволяє вирішити проблему «дисбалансу поживних речовин» у субстратах, що складаються виключно з соломи або лісових відходів та мікроелементів [16]. Проте, не всі види гною можуть забезпечити рівномірне збалансоване живлення, адже існують значні відмінності у поживному складі гною птиці, свиней та великої рогатої худоби. А це може призвести до надлишку або дефіциту азоту залежно від джерела та способу переробки. Проте існує ряд проблем безпечного та ефективного використання відходів тваринного походження. Для вирішення такого роду проблем необхідне застосування суворих протоколів попередньої обробки. Гній великої рогатої худоби та птиці часто містить наступні елементи:

- антибіотики: хінолони, тетрацикліни та сульфонаміди;
- важкі метали: Cu, Zn, As, Cr, Cd та Pb;
- бактерії, стійкі до антибіотиків: *Escherichia coli*, *Salmonella*) [17].

Наявність залишків антибіотиків та генів резистентності не тільки становить пряму загрозу для здоров'я грибів та людей, але й може сприяти

поширенню антимікробної резистентності в агроєкосистемах, що недостатньо враховується в більшості оцінок безпеки субстратів. У світі до 73 % усіх антимікробних препаратів використовуються у тварин, що вирощуються для отримання харчових продуктів, причому 30–90 % з них виводяться з сечею та/або фекаліями через низький метаболічний кліренс [17, 18].

Залишки антибіотиків, метаболіти та гени антибіотикорезистентності широко розповсюджені та мають негативний вплив на всі живі організми. Для усунення цих багатогранних небезпек було оптимізовано комплекс технологій попередньої обробки.

1.3. Найпоширеніші хвороби їстівних грибів

Як вказано у підрозділі 1.1., найбільш популярними у сільськогосподарському вирощуванні є гриби роду *Pleurotus*. *Pleurotus eryngii* при цьому, завдяки своїм смаковим якостям, приємній текстурі та високій поживній цінності, є найпопулярнішим [19]. Масштаби культивування *Pleurotus eryngii* обмежують хвороби. І це призводить до значних економічних втрат.

Так, дріжджовий вид *Sporobolomyces symmetricus* викликає хворобу червоної плямистості, бактерія *Pantoea pleuroti* – фітофтору, гриб *Cladobotryum mycophilum* – павутинну хворобу, грамнегативна патогенна бактерія *Erwinia beijingensis* – хворобу м'якої гнилі у *P. eryngii*. Зазвичай саме м'яка гниль спричинює найбільші економічні втрати. Симптоми м'якої гнилі включають жовті плями та ураження, просочені водою, які можуть поширюватися на ніжку та зябра; після цього м'яка гниль досягає плодового тіла, значно пригнічуючи нормальний ріст гриба [19].

Ще одним їстівним грибом, багатим вмістом лізину, аргініну і цинку є *Flammulina velutipes*, що також відомий як зимовий гриб або гриб «золота голка». Він має гарні смакові якості та високу поживну цінність. Він також широко культивується в промислових масштабах. Обмеження масштабуванню

вирощування *Flammulina velutipes* теж пов'язані із хворобами, спричиненими грибками, бактеріями та вірусами. Відомо про захворювання «павутинної гнилі», спричинене грибом *Cladobotryum varium*, захворювання «червоної іржі» – *Acrostalagmus luteo-albus*, захворювання «коричневого знебарвлення» – вірусом коричневого знебарвлення. Бактерії, як виявилось, є основною причиною захворювань плодових тіл *Flammulina velutipe*. Чорна гниль, спричинена *Pseudomonas tolaasii*, коричнева гниль – *Ewingella americana*, жовта липка хвороба – *Cedecia neteri*, рожева хвороба – *Erwinia persicin*, пухлинна хвороба – *Ochrobactrum pseudogrignonense*, призвели до серйозних втрат у виробництві та якості цього гриба і навіть загрожували безпеці харчових продуктів для людини [20].

Нині розкриті механізми взаємодії між грибом *Lecanicillium fungicola* та *A. bisporus*, а також між грибовим вірусом X (MVX) та *A. bisporus*. Бактерії часто завдають шкоди грибам шляхом вироблення антибіотичних сполук, конкуренції за обмежені поживні речовини або мікофагічного впливу. Гриби здатні розпізнавати бактеріальні молекулярні патерни, асоційовані з мікроорганізмами (MAMPs), та ініціювати швидкі транскрипційні реакції або інші вроджені імунні реакції на ранній стадії інфекції. У *A. bisporus* *P. tolaasii* продукував ліпидепсипептидний токсин, який називається толаазин, і індукував активацію мРНК тирозинази хазяїна.

Ліпопептиди *Bacillus subtilis* можуть пригнічувати утворення міросклероцій у *Verticillium dahlia*, а аналіз Gene Ontology виявив значне збагачення генів, пов'язаних з реакцією на стрес, клітинними метаболічними процесами та трансляцією. Ще ліпопептиди можуть пригнічувати експресію генів, пов'язаних з вторинним метаболізмом, катаболізмом білків та сигнальним шляхом гліцерину з високою осмолярністю.

Agaricus bisporus схильний до низки захворювань, зокрема тих, що спричиняються грибками, серед яких найнебезпечнішим є *Lecanicillium fungicola*. Боротьба з цією хворобою має важливе значення для забезпечення врожайності, однак через брак знань про взаємодію між грибками такі заходи є

досить обмеженими. Бактерії часто завдають шкоди грибам шляхом синтезу антибіотиків, конкуренції за обмежені поживні речовини або за допомогою мікофагічних механізмів – пошкодження гіф та вивільнення вмісту грибів. Гриби здатні розпізнавати бактеріальні молекулярні патерни, асоційовані з мікроорганізмами (MAMPs), та ініціювати швидкі транскрипційні реакції або інші реакції вродженого імунітету на ранній стадії інфекції. Так, *A. bisporus* *P. tolaasii* продукував ліпидепсипептидний токсин, який називається толаазин, та індукував активацію мРНК тирозинази хазяїна. Проте, сьогодні проведено досить мало досліджень досліджень того, як плодове тіло гриба реагує на бактерію, що інфікує транскрипційний профіль під час симптоматичної фази. Подальші такі дослідження сприятимуть з'ясуванню фізіологічних та біохімічних станів плодових тіл грибів для керівництва лікування захворювань [21].

A. bisporus – один з ряду найвідоміших їстівних грибів, що культивується в комерційних цілях, з річним світовим виробництвом 4,7 млрд дол. США. У 90-х роках минулого століття була описана хвороба цих грибів, яка отримала назву грибного вірусу Х (MVX). Сьогодні хвороба продовжує наносити серйозної економічної шкоди європейському грибництву. Хвороба пов'язана з наявністю молекул дволанцюгової ДНК (dsRNA). Хвороба проявляє низку симптомів:

- побуріння капелюшків гриба;
- первинне гальмування або затримка росту;
- вади розвитку капелюшків.

Симптоми MVX модифіковані географічно – симптом коричневого кольору спочатку був більш поширений в Ірландії, Нідерландах та Бельгії, тоді як симптом первинного гальмування/затримки частіше реєструвався у Великій Британії. Це є беззаперечним доказом того, що різні збудники спричиняють різні симптоми. Симptom коричневого забарвлення на білих сортах грибів має серйозні економічні наслідки через усунення коричневих грибів ринком через асоціації з низькою якістю, пошкодженнями, віком та/або хворобами.

Забарвлення, пов'язане з Хворобою Ла-Франс (BCMD), світло- або темно-коричневе, загалом рівномірним по всій площі шапки гриба. Це відрізняється від окремих темно-коричневих уражень, викликаних бактеріальною плямистістю, спричиненою *Pseudomonas tolaasii*. Коричневе забарвлення розвивається під час росту грибів або після збору врожаю між фермою та споживачем. До 40 % грибів у врожаї може проявляти коричневий симптом, коли інші, на відстані сантиметрів, можуть залишатися білими, що свідчить про те, що розвиток симптомів захворювання не залежить від повітряного середовища [22].

Загалом, бактерії часто є основними збудниками хвороб багатьох грибів; зокрема, види роду *Pseudomonas*, такі як *P. fluorescent*, *P. putida*, *P. reactans* та *P. tolaasii*, часто викликають коричневу плямистість або м'яку гниль на плодових тілах грибів, зокрема *Agaricus bisporus* та видів роду *Pleurotus*. Окрім перелічених вище бактеріальних збудників *F. velutipes* та *Pseudomonas spp.*, інші бактерії, такі як *Pantoea beijingensis*, *Achromobacter xylosoxidans*, *Cryptococcus pseudolongus*, також пов'язують із м'якою гниллю *Pleurotus nebrodensis*, гниллю ніжки *Coprinus comatus* та бурою гниллю *Lentinula edodes* відповідно [20].

Білий нефритовий гриб *H. marmoreus* є комерційно доступним та особливо популярним завдяки своєму м'якому солодкому та горіховому смаку, хрусткій текстурі та високому вмісту калію, заліза, білків, рибофлавіну, ніацину, вітаміну D та інших фізіологічно корисних компонентів. Ці речовини корисні для здоров'я людини, такі як зниження рівня холестерину, цукру в крові та артеріального тиску. Зазвичай білий *H. marmoreus* вживають свіжим, оскільки його крихка текстура та високий вміст води роблять його сприйнятливим до патогенних бактерій та грибкових інфекцій, що призводить до значного потемніння та псування невдовзі після збору врожаю.

1.4. Основні методи боротьби з хворобами їстівних грибів

Гриб *H. marmoreus* завжди уражався патогенами, з яких було успішно виділено патогенний гриб *Trichoderma spp.* ВВР-6. З навколишнього середовища

було виділено та очищено бактерії *Bacillus* sp. 1–23, що є антагоністами *Trichoderma*. *Bacillus* sp. 1–23 продукували ферменти хітиназу та хітозаназу, які могли безпосередньо пригнічувати *Trichoderma* spp. ВВР-6. Саліцилова кислота може підсилювати цей інгібуючий ефект. Було показано, що інфікування *Trichoderma* spp. ВВР-6 спричиняє сильне потемніння, втрату води та поживних речовин, а також погіршення якості грибів, тоді як окремі або комбіновані обробки *Bacillus* sp. 1–23 та саліциловою кислотою ефективно пригнічували ріст патогенного грибка, зберігали поживні речовини грибів та зменшували утворення, зокрема, малонового альдегіду (МДА), супероксидного аніону та H_2O_2 . Ці обробки ефективно пом'якшували негативні наслідки грибкової хвороби шляхом регулювання рівня вмісту супероксидного аніону (O_2^-) та H_2O_2 . Водночас активність супероксиддисмутази, катіонного транспортеру амінокислот 2, пероксидази, фенілаланін-аміак-ліази, аскорбатпероксидази, глутатіонредуктази та поліфенолоксидаза була приведена до більш стабільного стану, близького до здорового гриба. *Bacillus* sp. 1–23 та саліцилова кислота чинять протидію патогенному *Trichoderma* spp. ВВР-6 у білому *H. marmoreus* шляхом регулювання метаболізму активних форм кисню. Комбінація *Bacillus* sp. 1–23 та саліцилової кислоти використовується для запобігання псуванню грибів та подовження терміну його зберігання [23].

Гриб *Termitomyces striatus* родини *Lyophyllaceae* має корисний вплив на різноманітні біологічні системи. Сьогодні вивчено вплив екстрактів *Termitomyces striatus* на певні штами бактерій, серед яких були *Escherichia coli* та *Pseudomonas aeruginosa*, що представляють грамнегативні бактерії, а також *Bacillus subtilis* та *Staphylococcus aureus*, що представляють грампозитивні бактерії. Антибактеріальну та протигрибкову активність екстракту оцінювали за допомогою методу диско-дифузії. Якісний фітохімічний скринінг водного екстракту виявив наявність алкалоїдів, флавоноїдів, стероїдів, стеролів, сапонінів, фенолів, вуглеводів та білків. Три екстракти показали протигрибкову дію проти *C. albicans*, проте ні метанольний, ні водний екстракти не

пригнічували ріст *S. cerevisiae*. Таким чином, екстракти *T. striatus* є перспективним джерелом нових антимікробних та протигрибкових засобів [24].

Біоактивним потенціалом наділені і екстракти дикорослих грибів, зокрема *B. edulis* та *C. Cibarius*. Це підтверджується комплексною оцінкою їх фенольних профілів, антиоксидантної активності та антимікробних ефектів. Для аналізу біоактивного потенціалу використовують HPLC-DAD-ESI(+)MS – це потужний комбінований метод, що поєднує вискоєфективну рідинну хроматографію, діодну матричну детекцію та мас-спектрометрію з електроспрей-іонізацією в позитивному режимі. Метод чудово підходить для ідентифікації та кількісного визначення полярних, термолабільних та вторинних метаболітів, таких як антоціани, флавоноїди та алкалоїди. Аналіз HPLC-DAD-ESI(+)MS показав, що транс-корична, гідроксибензойна кислоти, особливо галова, 2,3-дигідроксибензойна та гентизинова кислота, переважали в екстракті білого гриба *Boletus edulis* та лисички звичайної *Cantharellus cibarius*. Ці екстракти продемонстрували дозозалежну антибактеріальну активність, причому *Boletus edulis* та *Cantharellus cibarius* показали значне пригнічення росту як грампозитивних, так і грамнегативних бактеріальних штамів, включаючи *S. aureus*, *P. aeruginosa* та *E. coli*. На основі цих даних можна стверджувати, що фенольні кислоти не тільки діють як поглиначі радикалів, але й порушують життєздатність мікробів. [25].

Pseudomonas tolaasii виділяє бактеріальний пептидний токсин – ліпидесипептид толаазин, що викликає хворобу бурої плямистості у культивованих грибах. Хвороба утворює мембранні пори і це руйнує мембранні структури. Харчові миючі засоби, ефіри сахарози жирних кислот та полігліцеринові ефіри жирних кислот можуть ефективно пригнічувати цитотоксичність толаазину. Цю групу речовин називають толаазин-інгібіторними факторами (TIF), свою ефективність вони доводять у діапазоні концентрацій від 10^{-4} до 10^{-6} . Обробка сполукою TIF 16 не виявила жодного негативного впливу на ріст глив, що свідчить про гарну здатність TIF 16 бути хорошим варіантом для біохімічного контролю хвороби бурої плямистості [26].

Зелена пліснява, спричинена *Trichoderma* spp., є однією з серйозних проблем у виробництві грибів «Санхуан» (*Sanghuangporus vaninii*). Уже відомо про ефективність біоконтролю та пов'язані з ним механізми *Bacillus velezensis* HX0039, антагоністичного штаму, раніше виділеного з ґрунту для польового вирощування гриба «Санхуан». Штам HX0039 продемонстрував широкий спектр активності проти 17 грибкових патогенів, особливо *Trichoderma virens* SH4 (високопатогенного штаму, що викликає зелену плісняву «Санхуан»), та збільшив проникність клітинної мембрани *T. virens in vitro*.

«Санхуан» при прицільному застосуванні від зеленої плісняви HX0039 не мав негативного впливу на ріст міцелію або формування плодових тіл грибів та продемонстрував чудову ефективність біоконтролю. Геномний аналіз показав, що HX0039 має кілька генів, які сприяють виробленню антимікробних сполук, а ітурин А, фенгіцин, макролактин А, сурфактин та бациллібактин були виявлені за допомогою UPLC-Q-Exactive-Orbitrap-MS – гібридної мас-спектрометричної техніки високої роздільної здатності, що поєднує ультраефективну рідинну хроматографію з квадрупольно-орбітрапною мас-спектрометрією. Серед цих метаболітів ітурин А може відігравати певну роль у боротьбі з *T. virens* SH4. Гемолітичні тести, клітинні експерименти та дослідження на мишах показали, що HX0039 є біобезпечним штамом. Ці відомості свідчать про протигрибкові механізми *B. velezensis* HX0039 та можливості застосуванню цього штаму як засобу біоконтролю проти зеленої плісняви «Санхуан», індукованої *T. Virens*, у сучасних умовах [20].

Метаболіти грибного походження стали екологічно безпечною альтернативою хімічним пестицидам у боротьбі з хворобами рослин. Такі біоактивні сполуки не тільки підвищують стійкість рослин, а й зменшують негативний вплив на довкілля. Потенційні можливості у боротьбі з хворобами рослин має застосування лентинану, схізофілану, полісахаридів GL та плевротину (метаболіту, що отримується з грибів роду *Pleurotus*). Лентинан, отриманий з *Lentinula edodes*, виявляє значні імуномодуючі властивості, викликаючи системну резистентність рослин до різних патогенів. Він підвищує

вироблення ферментів, пов'язаних із захистом, та вторинних метаболітів, тим самим зміцнюючи вроджений імунітет рослини. Схізофілан, екстрагований із *Schizophyllum commune*, демонструє протигрибкову активність і діє як біостимулятор, зміцнюючи клітинні стінки рослин, що, у свою чергу, перешкоджає колонізації грибів. Полісахариди з *Ganoderma lucidum* привернули увагу завдяки своїй подвійній ролі як біопестицидів та стимуляторів росту. Ці сполуки індукують у рослин системну набуту резистентність (SAR), посилюючи їхню здатність протистояти атакам мікроорганізмів та одночасно підвищуючи врожайність. Аналогічно, метаболіти видів *Pleurotus*, включаючи фенольні сполуки та полісахариди, виявляють антимікробні властивості широкого спектру дії, пригнічуючи ріст як бактеріальних, так і грибових патогенів. Ці метаболіти стимулюють розвиток коренів та поглинання поживних речовин, ще більше посилюючи життєздатність рослин.

Використання метаболітів грибів являє собою зміну парадигми в боротьбі з хворобами рослин, пропонуючи стійке та економічно ефективне рішення для світового сільського господарства. Їхня здатність безперешкодно інтегруватися в існуючі стратегії боротьби зі шкідниками, мінімізуючи при цьому екологічний вплив, підкреслює їхній потенціал як ключових компонентів у розробці біофунгіцидів нового покоління. Використання метаболітів грибів вирішує проблему хімічної залежності у боротьбі з хворобами рослин [34].

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2. 1. Матеріали дослідження

Зразки плодових тіл, міцелію різних штамів *Agaricus*, а також компосту, покривного ґрунту відбирали на підприємствах Києва та Київській області для подальших аналізу: росту і розвитку, урожайності, ураження збудниками хвороб.

Для досліджень була відібрана печериця двоспорова (*Agaricus bisporus*) (рис. 2.1), що також відома як шампіньйон двоспоровий, агарик двоспоровий, біла кнопка.

Відбір зразків проводився під час виїзду на підприємство з вирощування грибів у Київській області.



Рис. 2.1. – Печериця двоспорова (*Agaricus bisporus*) [45]

Agaricus bisporus – це їстівний гриб 2 категорії, у харчуванні використовується після 10-ти хвилинного відварювання, вареним, смаженим, маринованим, соленим.

Agaricus bisporus має довгу історію вирощування, що налічує понад 3 століття, а перше комерційне вирощування було зареєстровано у Франції у 18 столітті.

Продуктивність та якість врожаю *Agaricus bisporus* значно покращилися за останні 30 років, головним чином завдяки вдосконаленню методів вирощування, пакування, умов вирощування, а також механічного розвитку міцелію та збору врожаю. Селекція відіграла дуже незначну роль у цих покращеннях. Були проведені генетичні дослідження та селекційні випробування для створення сучасних сортів щодо кольору капелюшка, стійкості до патогенів, врожайності, скоростиглості, та стійкості до механічних пошкоджень. Однак це ще не призвело до появи комерційних сортів, які б суттєво перевершували перший гібридний штам Horst U1, який був випущений на ринок у 1980 році. Сорти, виведені з 1980 року, були або генетично ідентичними, або дуже схожими на перший гібрид. Основна причина відсутності введення нових сортів полягає в типовому життєвому циклі шампіньйона [29].

Agaricus bisporus зберігає більшу частину своєї гетерозиготності у потомства, обмежуючи рекомбінацію між гомологами кінцями хромосом та поєднуючи несестринські ядра у більшості свого потомства. Генотипи батьківських ядер (A) та гетерокаріотичного ізоляту з однією спорою (B) майже ідентичні, за винятком різного розподілу хромосом по складових ядрах та рекомбінації на кінцях хромосом (C).

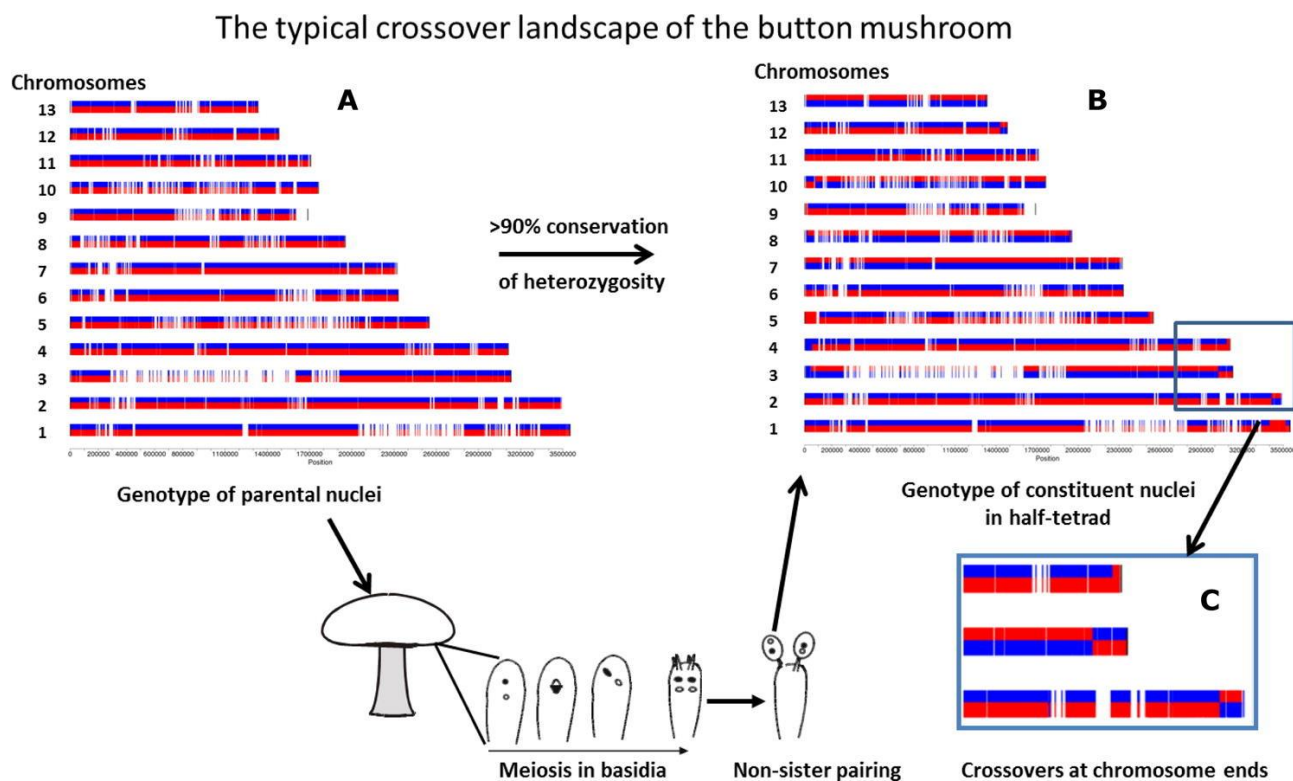


Рис. 2.2. – Гетерозиготність печериці двоспорової (*Agaricus bisporus*) [29]

Зовнішній вигляд печериці двоспорової: капелюшок товстом'ясистий, спочатку напівсферичний, пізніше – випуклий, випукло-розпростертий діаметром 5 – 10 см; поверхня капелюшка притиснуто-волокнисто-шовковиста, притиснуто-пластівчасто-луската, біля країв гола, білувата, сіро-коричнева, бурувато-коричнювата, брудно-коричнева, світліша біля країв, при підсиханні бурувата або коричнева, часто з залишками покривала на краях, в місцях дотику набуває червонуватого забарвлення. *Agaricus bisporus* має пластинчастий гіменофор, густі, тонкі, вільні, спочатку рожевувато-сірі, пізніше темно-коричневі, з світлим стерильним краєм пластинки.

Споровий порошок *Agaricus bisporus* темно-коричневий, спори світло-коричневі розміром 5,5-10×5-6 мкм, широко-яйцевидної або округлої форми, з гладкою поверхнею, з флуоресціюючими каплями.

Ніжка *Agaricus bisporus* циліндрична, рівна, іноді злегка звужена до основи, щільна, спочатку суцільна, пізніше порожниста, з кільцем, білувата, гладка, волокниста, в самій вершині іноді червонувата, нижче кільця покрита

пластівчастим нальотом і має висоту 3-6 см, діаметр 1-2 см. Кільце товсте, вузьке, спочатку білувате, пізніше червонувато-сірувато-коричнювате, борознисте, часто з роздвоєним краєм, нестійке, часто зникаюче.

Agaricus bisporus має щільну, білу м'якоть, що на зрізі злегка червоніє або рожевіє, при підсиханні набуває червонувато-бежевого забарвлення, приємна на смак, з кислуватим грибним запахом [30].

Agaricus bisporus росте з травня до листопада, на гною та окультурених ґрунтах (у які для добрива теж вноситься гній), на вільних від рослинності ділянках, на лугах та пасовищах, в цілих степах, в лісових насадженнях, на узліссях, в житлових зонах, в дворах, на купах перегною, поодинокі та групами, часто. Зустрічається по всій території України. Вирощується штучно на органічних субстратах, в промислових масштабах, по всьому світі.

Штами, що використовувалися у дослідженні, – шампіньон королівський (коричнева форма) та біла форма.

Для приготування субстрату для грибів використовували курячий перегній, CaCO_3 , будівельний гіпс, сечовину. Використовували поліетиленові пакети (25 см x 40 см).

У дослідженні використані *Allium sativum* (*Liliaceae*) та *Artemisia anna* (*Compositae* = *Asteraceae*) та *Citrus lemon*. *Allium sativum* – часник належить до родини лілійних (*Liliaceae*). Рослина відома завдяки використанню у кулінарії, не менш поширеним є її використання у медицині, оскільки тривають дослідження ефективності проти різних патогенних мікроорганізмів. Уже відома його ефективність як протигрибкового, антибактеріального, противірусного та протипаразитарного засобу [35].

Artemisia L. (*Asteraceae*) – надзвичайно різноманітний та економічно й екологічно важливий рід, багато видів якого використовуються як лікарські, технічні, ароматичні, декоративні, кормові та інші корисні рослини. Лікувальні властивості деяких видів. Багато видів здавна використовуються в науковій, народній та традиційній медицині. За даними, принаймні деякі види містять

протівірусні компоненти З поширенням COVID-19 було доведено його потенціал у медицині [36].

Citrus lemon відомий своїми потужними фітонцидними властивостями, які зумовлені високим вмістом ефірних олій, органічних кислот та вітамінів у його м'якоті, шкірці та листі. Основними фітонцидними та антисептичними властивостями лимона є антимікробна дія, оскільки лимон має виражені антисептичні властивості, допомагаючи боротися з патогенними мікроорганізмами. Шкірка плодів містить до 0,6% ефірної олії, головними компонентами якої є терпен лимонен (до 90%) та альдегід цитраль, які мають антисептичні властивості.

Модель експерименту передбачала дві дослідні групи: група А – компост з грибницею + лікарські рослини, Б – компост з грибницею + лікарські рослини + *Pseudomonas tolaasii*, а також контрольну групу (КГ) – компост з грибницею (рис. 2.3).

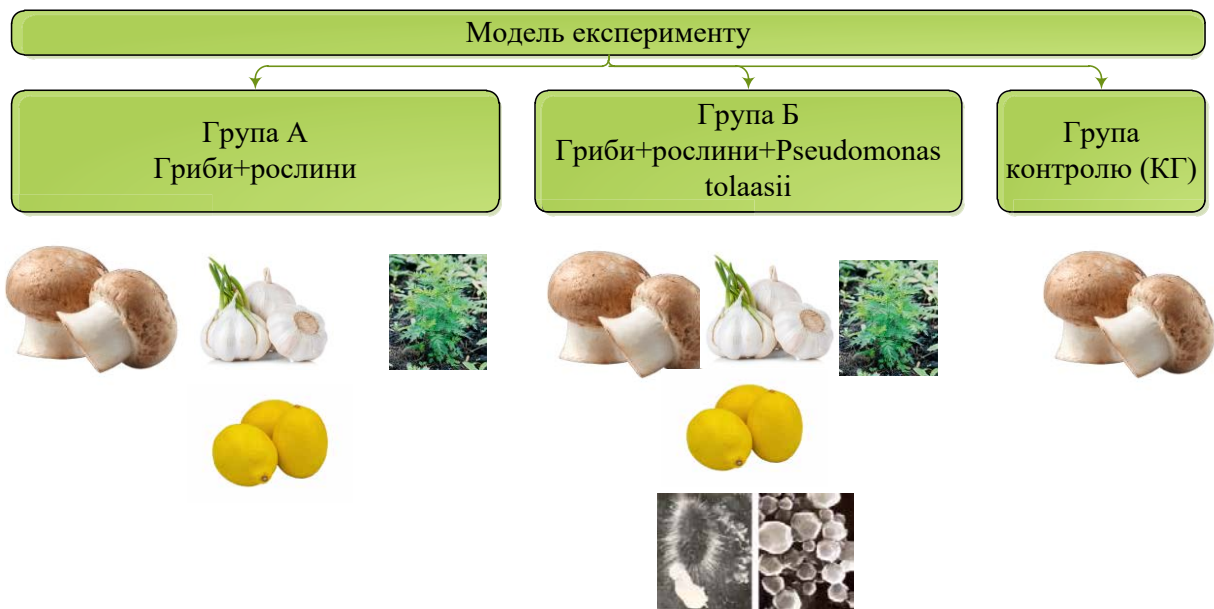


Рис. 2.3. – Модель експерименту

2.2. Методи дослідження

2.2.1. Метод ідентифікації бактеріальних збудників

Бактеріальними збудниками, що уражують *Agaricus bisporus*, є представники роду *Pseudomonas*, які викликають різні типи бактеріальних плямистостей та гнилей [31].

Бактеріальну плямистість (бактеріальний опік) викликає *Pseudomonas tolaasii*. При цьому, на грибах з'являються коричневі, слизькі плями на поверхні капелюшка. Плями можуть швидко поширюватися при високій вологості.

Імбирну плямистість викликає *Pseudomonas gingeri*. Симптомами є утворення плям світло-коричневого або імбирного кольору, часто менш слизьких, ніж при ураженні *P. tolaasii*.

Бактеріальну гниль (бактеріальне в'янення) викликають інші види роду *Pseudomonas* та супутня мікрофлора, що викликають руйнування тканин плодових тіл.

Факторами розвитку бактеріальних хвороб є порушення мікроклімату в культивацийних спорудах – висока вологість повітря, недостатня вентиляція, наявність крапельної вологи на плодових тілах (конденсат) та висока температура.

Поширеним на *Agaricus bisporus* є *Hymomyces perniciosus*, що був зареєстрований як руйнівний патоген гриба. Патогенез може бути спричинений не лише *H. perniciosus*, але й бактеріями. *Hymomyces perniciosus* спричинює хворобу волого-пухирчастого міцелію. *H. perniciosus* не має патогенної активності на міцеліальній стадії *A. bisporus*, але він може знищувати базидіюми *A. bisporus* за відсутності бактерій. Хвороба вологих бульбашок, очевидно, викликається не бактеріями, а грибом, хоча бактерії, ймовірно, беруть участь у захворюванні після вторгнення грибка (рис. 2.4).

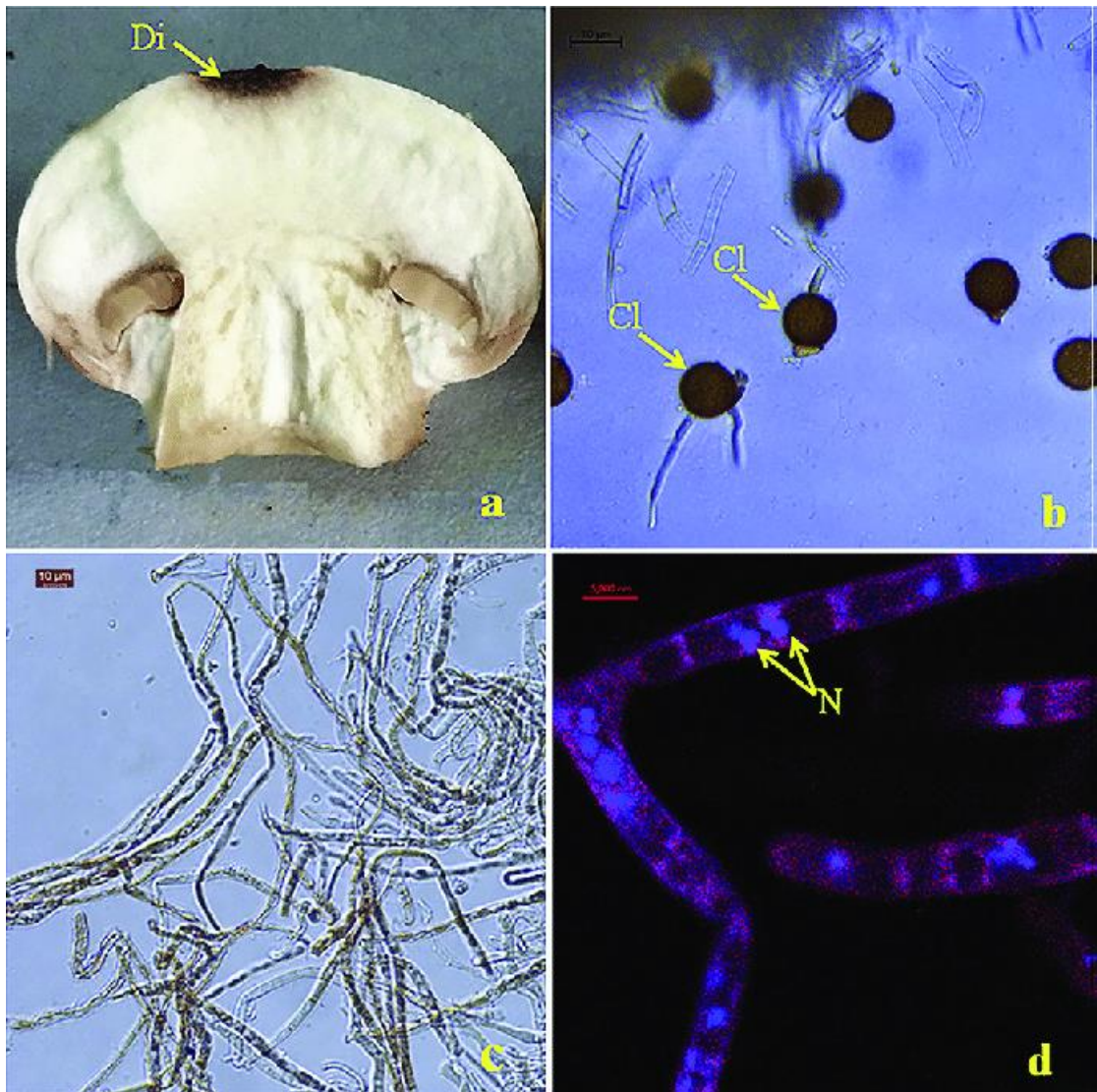


Рис. 2.4. – Інокуляція *Hypomyces perniciosus* на базидіому *Agaricus bisporus** [31]

*Di – коричневий колір; Cl – хламідоспора; N – ядра

Із рисунка 2.3 видно, що інокульована частина базидіоми *A. bisporus* утворила некротичне коричневе ураження. На рис. 2.3 b видно пророслу хламідоспору *H. perniciosus*, на рис. 2.3 c – особливості світлової мікроскопії міцелію поверхні капелюшка некротичного коричневого ураження базидіоми *A. bisporus*, на рис. 2.3 d – зображення лазерного сканування міцелію поверхні капелюшка некротичної коричневої ділянки ураження базидіоми *A. bisporus*.

Характерними симптомами ураження *A. bisporus* *Hypomyces perniciosus* є коричневі плями, зморшкуватість, ділянки білого або жовтувато-коричневого повітряного міцелію, гнильні зміни.

Кольори грибів були описані відповідно до стандартів, встановлених Корнерупом та Ваншером [32].

2.2.2. Метод світлової мікроскопії

Для мікоморфологічного аналізу готували тимчасові мікропрепарати. Невеликий фрагмент плодового тіла (капельюшок, пластинка, ніжка, шкірка) або міцелію поміщали на предметне скло в краплю дистильованої води, 10% гліцерину або 5% КОН (для просвітлення), далі – накривали покривним склом. Тимчасові препарати зберігали у вологій камері при +4°C до 2–3 діб.

Для виявлення загальної структури використовували метиленовий синій (1% водний розчин, 1–2 хв).

Для виявлення спор пластинки переносили у краплю води або 0,5% сафраніну, накривали склом і злегка прогрівали.

Дослідження проводили на мікроскопі зі збільшенням $\times 40$, $\times 100$, $\times 400$, $\times 1000$. Оцінювали морфологію гіф (септовані, товщина, наявність пряжок), форму та розміри базидій, базидіоспор (овальні, гладкі, $6-8 \times 4-5$ мкм), будову пластинок (трама, субгіменій, гіменій), наявність цистид, склероціїв.

Зображення фіксували цифровою камерою на мікроскопі.

Мікроскопічно картина ураження *A. bisporus* *Hypomyces perniciosus* має септовані гіфи, одноклітинні конідії, грушоподібні перитеції можуть з'являтися пізніше.

2.2.3. Метод виділення бактерій

Збір матеріалу плодових тіл *A. bisporus* з характерними симптомами ураження проводили шляхом відбору у стерильні контейнери і транспортували при +4°C не більше ніж за 6–8 годин.

Поверхню плодового тіла стерилізували 70% етанолом і тричі промивали стерильною водою, потім стерильним лезом вирізали фрагменти тканини ($\approx 4 \times 4 \times 4$ мм) на межі ураженої та здорової зони.

Чисту культуру виділяли шляхом гомогенізації зразків у 1 мл стерильної води. Готували серійні десятикратні розведення (10^{-1} – 10^{-6}), аліквоти по 100 мкл із розведень 10^{-3} – 10^{-5} висівали на агаризоване середовище.

Середовищами культивування використовували картопляно-глюкозний агар (КГА, PDA), середовище Чапека-Докса або мальт-екстракт агар (МЕА). Для пригнічення бактеріальної мікрофлори додавали хлорамфенікол (100 мг/л) або стрептоміцин (50 мг/л), інкубували при 25°C з вологістю повітря 70–80%.

N. perniciosus утворює білий пухнастий міцелій (спочатку), який із часом (7–10 діб) стає кремовим, жовтуватим або блідо-жовтогарячим.

Чисті культури зберігали на скошених КГА-пробірках при +4°C.

2.2.4. Метод приготування екстрактів

Сировиною для приготування екстракту були свіжі плодові тіла *A. bisporus*, які очищали від субстрату та забруднень, мили охолодженою дистильованою водою, висушували фільтрувальним папером.

Далі – зразки висушували при 40–45°C до постійної маси, а суху сировину подрібнювали з фракцією 0,5–1 мм у стерильному гомогенізаторі до порошку.

Водну екстракцію проводили за алгоритмом:

- наважку (5 г) заливали 100 мл дистильованої води у співвідношенні 1:20;
- екстрагували гарячим методом 2–4 год на водяній бані при 80–100°C зі зворотним холодильником;
- екстракт фільтрували через ватман №1, центрифугували (10 000 g, 15 хв, 4°C);
- супернатант ліофілізували при 40–50°C на ротаційному випарнику.

Екстракти зберігали при -20°C , перед використанням стерилізували фільтрацією через 0,22-мкм мембранний фільтр.

2.2.5. Методи статистичного та бібліометричного аналізу

Статистичну обробку отриманих результатів проводили з використанням пакетів прикладних програм Microsoft Office Excel 2019 та GraphPad Prism 8.0.

Відмінності між групами визначали з допомогою тестів Стюдента, повторюваного ANOVA.

Відмінності вважали статистично значимими при $p < 0,05$.

Для бібліометричного аналізу використовували наукометричну базу Scopus (<https://www.scopus.com>). Було проведено пошук документів за ключовими словами «pathogenic bacteria AND edible mushrooms» протягом 2020-2026 рр. Результат, пошуку, що склав 87 документів, експортували із усіма метаданими у вигляді файлу *.csv.

Хмару ключових слів за результатом пошуку у наукометричній базі Scopus візуалізували з допомогою Інтернет-ресурсу Wordart (<https://wordart.com/>).

Для візуалізації взаємозв'язків між авторами та ключовими словами, отриманими за результатами пошуку у Scopus, використовували Інтернет-ресурс Vosviewer (<https://app.vosviewer.com/>)

У ході виконання роботи ресурси ШІ не використовувалися.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Дослідження впливу різних концентрацій водних екстрактів рослин на лінійний ріст та приріст сухої маси грибів

Результати експерименту щодо впливу різних концентрацій водних екстрактів рослин (*Allium sativum*, *Artemisia anna* та *Citrus lemon*) на лінійний ріст та приріст сухої маси грибів (*Agaricus bisporus*) та/або інгібуючий ефект та їхні паразитарні бактерії (*Pseudomonas tolaasii*) наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Вплив різних концентрацій водних екстрактів рослин (*Allium sativum*, *Artemisia anna* та *Citrus lemon*) на лінійний ріст та приріст сухої маси грибів (*Agaricus bisporus*) та/або інгібуючий ефект та їхні паразитарні бактерії (*Pseudomonas tolaasii*)

Лікарська рослина	Концентрація екстракту, г/л	Суха маса, мг		Діаметр зони інгібування, см	Лінійний ріст, см
		<i>Pseudomonas tolaasii</i>	<i>Agaricus bisporus</i>		
Allium sativum	25,0	140,22	311,0	1,0	8,2
	50,0	121,12*	300,02	1,6*	5,9*
Artemisia anna	25,0	160,22	362,11	1,85	6,0
	50,0	152,17	350,22*	1,6*	6,1
Citrus lemon	25,0	100,1	640,12	2,6	9,0
	50,0	80,08	602,11	2,8	9,1
КГ	0,0	220,0	640,11	1,0	10,0

*Примітка: статистична різниця встановлена між концентраціями розчину

Із таблиці 3.1. бачимо значне гальмування приросту сухої маси *Pseudomonas tolaasii* у концентрації водного розчину досліджуваних рослин 50,0

г/л. Особливо виражений ефект спостерігається при застосуванні водного розчину екстракту *Citrus lemon*.

У таблиці 3.2 наведено результати експерименту щодо впливу водного екстракту (50 г/л) *Citrus lemon* на ріст, частоту зараження та грибковий метаболізм (*Agaricus bisporus* x25), заражених *Pseudomonas tolaasii*.

Таблиця 3.2.

Результати експерименту щодо впливу водного екстракту (50 г/л) *Citrus lemon* на ріст, частоту зараження та грибковий метаболізм (*Agaricus bisporus*), заражених *Pseudomonas tolaasii*

Рослин а	Бактерія	Кількість рослин, шт./мішок	Кількість здорових рослин	Кількість хворих рослин	% уражених рослин	Вага в свіжому вигляді, г/упаковка	Суша вага, г/мішок
Citrus lemon	<i>Pseudomonas tolaasii</i>	32,0	8,0	24,0	75,0	64,0	6,9
КГ	-	36,0	36,0	-	-	100,0	10,22

При інокуляції патогенними бактеріями спостерігалось значне збільшення кількості уражених грибних плодових тіл *Agaricus bisporus* на субстраті без екстрактів рослин та при інокуляції патогенними бактеріями. Це ураження становило близько 80–87 %.

Із таблиці 3.2 бачимо значне зниження свіжої та сухої маси грибів на мішок у бактерізованому субстраті (за відсутності рослин). Біологічна ефективність значно зростала при додаванні лікарських рослин до компосту (за відсутності або присутності бактерій) (таблиці 3 і 4). І навпаки, зараження компосту бактеріями знижувало біологічну ефективність.

Слід зосередити увагу на показниках енергетичної цінності. При застосуванні *Citrus lemon* на заражених *Pseudomonas tolaasii* печерицях вміст білку становив 34,0 мг/100 мг, вуглеводів – 28,0 мг/100 мг, жирів – 8,3 мг/100 мг,

біологічна ефективність при цьому становила 3,2, енергетична цінність – 324.29 ккал.

У КГ вміст білку становив 26,0 мг/100 мг, вуглеводів – 40,0 мг/100 мг, жирів – 7,4. Встановлена біологічна ефективність на рівні 5,4, енергетична цінність – 429,37 ккал.

Отримані результати підтверджують негативний вплив на *P. tolaasii* під дією водного екстракту *Citrus lemon* у концентрації 50,0 г/л (22,18 % від значення КГ). Зона інгібування під дією *Citrus lemon* встановлена на рівні 2,8 см, суха маса *Agaricus bisporus* була значно вищою за показник КГ – 95,47% за однакових умов обробки. Ймовірно це пов'язано з дією антибактеріальних речовин, що містяться в *Citrus lemon*, таких як ефірна олія, лімонен, α -пінен, β -пінен, цитраль, кумарини та біфлавоноїди.

Можемо стверджувати, що водний екстракт (50,0 г/л) *Citrus lemon* має потенціал для боротьби з *P. tolaasii* на *Agaricus bisporus*.

Значне підвищення біологічної ефективності за наявності рослин, зокрема *Citrus lemon*, зумовлене сприятливим ростом грибів у компості, вільному від патогенних бактерій. Незначні зміни вмісту білків, вуглеводів та жирів зумовлені виключенням хворих рослин із аналізованих зразків.

3.2. Рекомендації виробництву

Для подолання проблем сучасного грибовництва, що полягають у вираженій просторовій неоднорідності, слабкій спеціалізації, виробникам потрібно діяти у напрямках регіонально-специфічної оптимізації протоколів культивування та уточнення контролю попередньої обробки субстрату та параметрів навколишнього середовища.

Для вирішення проблеми технічної фрагментації, спричиненої регіональним різноманіттям субстрату, а саме: проблеми типів субстрату, коливання вологості та температури, рекомендуємо коригувати співвідношення

соломи та гною сільськогосподарських культур відповідно до географічних особливостей; вибирати штами-міцелію, придатні для місцевих температурних або рН-умов.

Задля мінімізації проблем, що не дозволяють масштабувати виробництво їстівних грибів, слід інтегрувати ключові агрономічні фактори території, як-то: домінуючий тип ґрунту, сезонні особливості клімату.

Проблему попередньої обробки субстрату під час мікробної ферментації необхідно вирішувати шляхом точного контролю температури, вологості, рівня рН. Контролю потребують критичні показники колонізації міцелію – характеристики субстрату, зміна рН, сукцесія мікробної спільноти, динаміка C/N.

З метою збільшення масштабу виробництва необхідне точне налаштування середовища росту у частині калібрування постачання кисню, регулювання рівня вологості, адаптації інтенсивності освітлення.

Для збагачення субстратів, які будуть використовуватися для вирощування грибів, необхідна тактика використання відходів рослинного та тваринного походження. Вони, у свою чергу, мають перевірятися на придатність залежно від фізико-хімічних показників складу. Відходи тваринного походження мають перевірятися щодо надлишку або дефіциту азоту, джерела та способу переробки. Необхідне застосування суворих протоколів попередньої обробки. Гній великої рогатої худоби та птиці має перевірятися на наявність важких металів, антибіотиків, бактерій.

Для боротьби з бактеріями, зокрема *P. tolaasii*, у процесі вирощування їстівних грибів рекомендуємо використовувати водні екстракти *Allium sativum*, *Artemisia anna*, *Citrus lemon* у концентраціях 50 г/л у процесі підготовки компосту, додаючи до соломи (1:10 сухої маси). На основі наявних літературних даних та результатів проведеного експерименту, рекомендуємо застосовувати водний екстракт *Citrus lemon* (50 г/л) для фітохімічного контролю патогенних бактерій на *Agaricus bisporus*.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено інгібуючий ефект досліджуваних водних екстрактів рослин (*Allium sativum*, *Artemisia annua*, *Citrus lemon*) у концентрації 50,0 г/л на ріст *Pseudomonas tolaasii*.

2. Водний екстракт *Citrus lemon* демонструє найвищу антибактеріальну активність, знижуючи суху масу бактерій.

3. Водний екстракт *Citrus lemon* демонструє селективність дії фітопрепарату – пригнічення патогена без значного пошкодження культивованого гриба.

4. Додавання водного екстракту *Citrus lemon* (50 г/л) до компосту за умов штучного зараження *P. tolaasii* забезпечило зниження частоти уражених плодових тіл *A. bisporus*.

5. Вирощування *Agaricus bisporus* на субстраті з додаванням екстракту *Citrus lemon* за умов бактеріального зараження збереженню харчової повноцінності продукції за умов фітохімічного захисту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jacob MS, Xu A, Qian K, Qi Z, Li X, Zhang B. Artificial Intelligence in Edible Mushroom Cultivation, Breeding, and Classification: A Comprehensive Review. *J Fungi* (Basel). 2025 Oct 22;11(11):758. doi: 10.3390/jof11110758
2. Jayaraman S., Yadav B.D., Ram C.N., Anandkumar S., Nisant K.R., Srinivasa D. et al. Mushroom farming: A review Focusing on soil health, nutritional security and environmental sustainability. *Farming Syst.* 2024;2:100098. doi: 10.1016/j.farsys.2024.100098
3. Dong HR, Jiang N, Zhang D, Li Y, Zhou F, Li ZP et al. Research Progress and Prospect of Substrate Alternatives for Edible Fungi Based on the "Cycle Production of Plants, Animals, and Fungi". *J Fungi* (Basel). 2025 Nov 5;11(11):790. doi: 10.3390/jof11110790.
4. Pathak M.P., Pathak K., Saikia R., Gogoi U., Ahmad M.Z., Patowary P. et al. Immunomodulatory effect of mushrooms and their bioactive compounds in cancer: A comprehensive review. *Biomed. Pharm.* 2022;149:112901. doi: 10.1016/j.biopha.2022.112901.
5. Liu J.-J., Yan X.-B., Zhang M.-Y., Liu T.-S., Sun Z.-M. Analysis of yield distribution and utilization of crop straw resources in China. *J. Agric. Resour. Environ.* 2025;42:751–760. doi: 10.13254/j.jare.2024.0184.
6. Li Y. The Role of Edible Fungi in Buiding the Overall Situation of Food Security. *Anhui Rural. Revital. Stud.* 2022;5:5–12. doi: 10.13454/j.issn.2097-1931.2022.02.001.
7. Dagevos H., Lauwere C.D. Circular Business Models and Circular Agriculture: Perceptions and Practices of Dutch Farmers. *Sustainability.* 2021;13:1282. doi: 10.3390/su13031282.
8. Aravindhaa V., Sanjanaa R.J., Raaj A.T., Rani C., Kumar M.R. Advancing Sustainability in Mushroom Cultivation by leveraging IoT and ML Techniques; Proceedings of the 2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence for Internet of Things (AIIoT); Vallore, India. 2 July 2024.

9. Aditya Neeraj, Jarial RS, Jarial K, Bhatia JN. Comprehensive review on oyster mushroom species (Agaricomycetes): Morphology, nutrition, cultivation and future aspects. *Heliyon*. 2024 Feb 19;10(5):e26539. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26539.

10. Mahema S, Roshni J, Janakiraman V, Ahmad SF, Attia SM, Ahmed SSSJ. Bioactives of Lion's Mane Medicinal Mushroom *Hericium erinaceus* (Agaricomycetes) Targeting PPAR Signaling Pathway: An Experimental and In Silico Investigation. *Int J Med Mushrooms*. 2026;28(4):21-39. doi: 10.1615/IntJMedMushrooms.2025062333.

11. The National Center for Biotechnology Information. Электронный ресурс / режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/clinvar/variation/843423/?term=RAW264.7>.

12. Gao YX, Zhu YT, Sheikho A, Zhao QY, Wang YR, Wang YH et al. Ergosteroid and Phenolic Constituents from the Mushroom *Sanghuangporus vaninii* with Anti-Inflammatory Activity. *Int J Mol Sci*. 2026 Apr 7;27(7):3315. doi: 10.3390/ijms27073315.

13. Jacob MS, Xu A, Qian K, Qi Z, Li X, Zhang B. Artificial Intelligence in Edible Mushroom Cultivation, Breeding, and Classification: A Comprehensive Review. *J Fungi (Basel)*. 2025 Oct 22;11(11):758. doi: 10.3390/jof11110758.

14. Rathod P.L., Gohokar R.T., Parthatay S.S. Cultivation of *Pleurotus florida* on various substrate. *J. Mycol. Plant Pathol*. 2002;32:375.

15. Yan F. Agricultural Biomass Wastes and Their Resource Utilization Technologies: A Review. *Biomass Bioenergy*. 2025;203:108291. doi: 10.1016/j.biombioe.2025.108291.

16. Carrasco J., Zied D.C., Pardo J.E., Preston G.M., Pardo-Giménez A. Supplementation in Mushroom Crops and Its Impact on Yield and Quality. *AMB Express*. 2018;8:146. doi: 10.1186/s13568-018-0678-0.

17. Wang L., Wang J., Wang J., Zhu L., Yang L., Yang R. Distribution Characteristics of Antibiotic Resistant Bacteria and Genes in Fresh and Composted Manures of Livestock Farms. *Sci. Total Environ*. 2019;695:133781. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.133781

18. Sarmah A.K., Meyer M.T., Boxall A.B.A. A Global Perspective on the Use, Sales, Exposure Pathways, Occurrence, Fate and Effects of Veterinary Antibiotics (VAs) in the Environment. *Chemosphere*. 2006;65:725–759. doi: 10.1016/j.chemosphere.2006.03.026
19. Zhao S, Gao Q, Rong C, Wang S, Zhao Z, Liu Y et al. Immunomodulatory Effects of Edible and Medicinal Mushrooms and Their Bioactive Immunoregulatory Products. *J Fungi (Basel)*. 2020 Nov 8;6(4):269. doi: 10.3390/jof6040269.
20. Wang Q, Guo M, Xu R, Zhang J, Bian Y, Xiao Y. Transcriptional Changes on Blight Fruiting Body of *Flammulina velutipes* Caused by Two New Bacterial Pathogens. *Front Microbiol*. 2019 Dec 11;10:2845. doi: 10.3389/fmicb.2019.02845
21. Bailey AM, Collopy PD, Thomas DJ, Sergeant MR, Costa AM, Barker GL et al. Transcriptomic analysis of the interactions between *Agaricus bisporus* and *Lecanicillium fungicola*. *Fungal Genet Biol*. 2013 Jun;55:67-76. doi: 10.1016/j.fgb.2013.04.010.
22. Eastwood D, Green J, Grogan H, Burton K. Viral Agents Causing Brown Cap Mushroom Disease of *Agaricus bisporus*. *Appl Environ Microbiol*. 2015 Oct;81(20):7125-34. doi: 10.1128/AEM.01093-15
23. Yang X, Li T, Liu Y, Gu Y, Li J, Wang C et al. *Bacillus* sp. alone or combined with salicylic acid inhibited *Trichoderma* spp. infection on harvested white *Hypsizygus marmoreus*. *Front Microbiol*. 2024 Mar 18;15:1324833. doi: 10.3389/fmicb.2024.1324833.
24. Sitati CNW, Ogila KO, Waihenya RW, Ochola LA. Phytochemical Profile and Antimicrobial Activities of Edible Mushroom *Termitomyces striatus*. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2021 Oct 19;2021:3025848. doi: 10.1155/2021/3025848
25. Puia A, Pandrea SL, Cruceru J, Puia IC, Chedea VS, Ciont C et al. Phenolic Compounds with Antimicrobial Properties in Mushrooms Frequently Encountered in Temperate Deciduous Forests. *Life (Basel)*. 2025 Oct 23;15(11):1653. doi: 10.3390/life15111653.

26. Yun YB, Cho KH, Kim YK. Inhibition of Tolaasin Cytotoxicity Causing Brown Blotch Disease in Cultivated Mushrooms Using Tolaasin Inhibitory Factors. *Toxins (Basel)*. 2023 Jan 12;15(1):66. doi: 10.3390/toxins15010066

27. Raj Amrith, Gangadharan Heera. A Paradigm Shift in Agriculture: Using Mushroom Metabolites for Sustainable Plant Disease Control and Crop Health. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*. 2025; 28:598-612. 10.9734/jabb/2025/v28i82733

28. *Agaricus bisporus* [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/search/all/?term=Agaricus%20bisporus>

29. Sonnenberg AS, Gao W, Lavrijssen B, Hendrickx P, Sedaghat-Tellgerd N, Foulongne-Oriol M, Kong WS, Schijlen EG, Baars JJ, Visser RG. A detailed analysis of the recombination landscape of the button mushroom *Agaricus bisporus* var. *bisporus*. *Fungal Genet Biol*. 2016 Aug;93:35-45. doi: 10.1016/j.fgb.2016.06.001.

30. Печериця садова (*Agaricus bisporus*) [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://vlisi.com.ua/agaricus-bisporus/>

31. Wein P, Dornblut K, Herkersdorf S, Krüger T, Molloy EM, Brakhage AA, Hoffmeister D, Hertweck C. Bacterial secretion systems contribute to rapid tissue decay in button mushroom soft rot disease. *mBio*. 2023 Aug 31;14(4):e0078723. doi: 10.1128/mbio.00787-23

32. Kornerup, A. & Wanscher, J. H. *Methuen Handbook of Colour* 3rd edn. (Eyre Methuen, 1978).

33. Raj Amrith, Gangadharan Heera. A Paradigm Shift in Agriculture: Using Mushroom Metabolites for Sustainable Plant Disease Control and Crop Health. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*. 2025; 28:598-612. 10.9734/jabb/2025/v28i82733

34. Antimicrobial activity of garlic (*Allium sativum* ,Liliaceae) in nature and aqueous extract against *Candida albicans*, *Staphylococcus aureus* and *Streptococcus pyogenes*. *RSD [Internet]*. 2021 Jun. 15 [cited 2026 May 21];10(7):e10610716206. Available from: <https://rsdjournal.org/rsd/article/view/16206>

35. Boiko G.V., Antonenko S.I., Mosyakin S.L. The genus *Artemisia* (Asteraceae) in the historical collection of W.S.J.G. Besser (KW-BESS) at the National Herbarium of Ukraine (KW). *Ukrainian Botanical Journal*. 2023; 80 (6):439-452

36. Giger GH, Ernst C, Richter I, Gassler T, Field CM, Sintsova A, Kiefer P, Gäbelein CG, Guillaume-Gentil O, Scherlach K, Bortfeld-Miller M, Zambelli T, Sunagawa S, Künzler M, Hertweck C, Vorholt JA. Inducing novel endosymbioses by implanting bacteria in fungi. *Nature*. 2024 Nov;635(8038):415-422. doi: 10.1038/s41586-024-08010-x. Epub 2024 Oct 2.

ДОДАТКИ

Додаток А

Результати бібліометричного аналізу за темою роботи

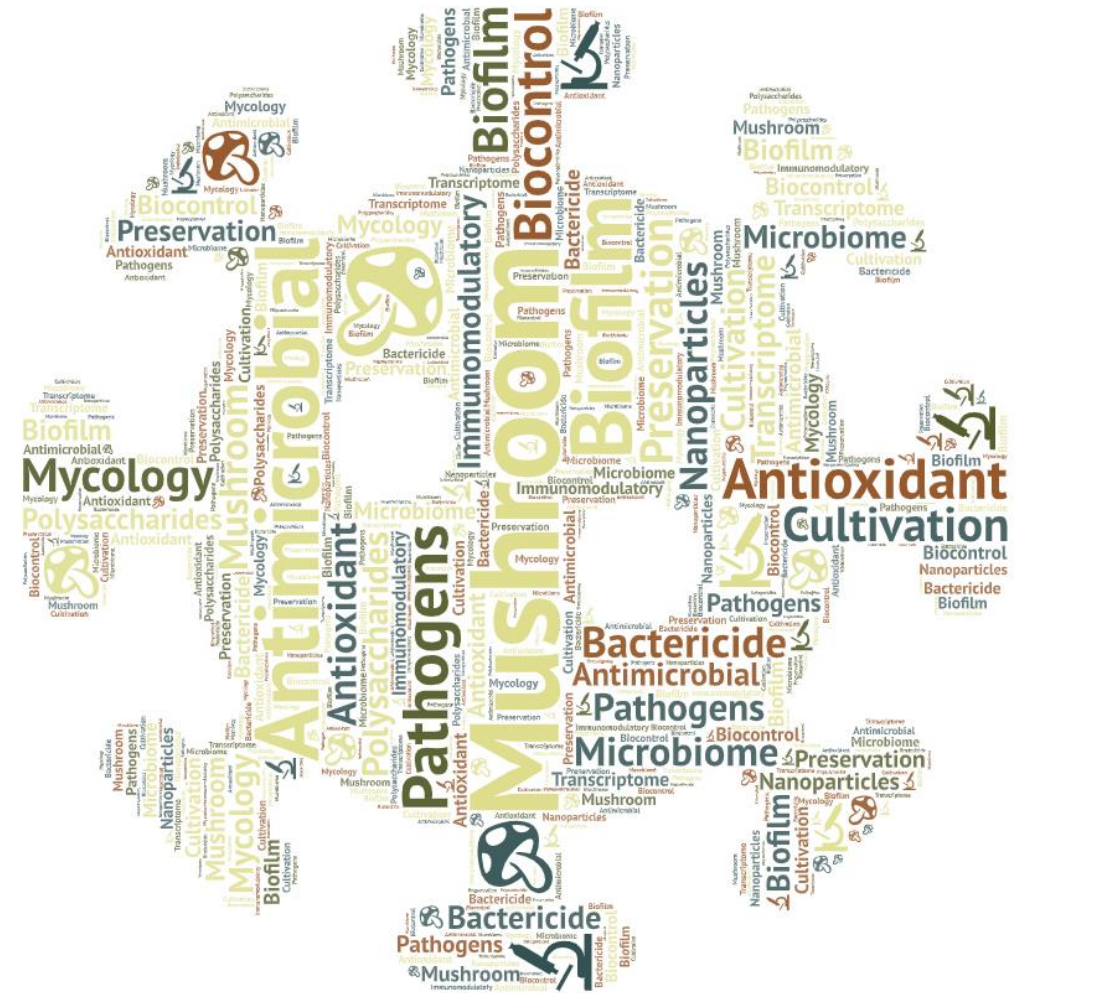


Рис. 1. – Хмара слів за темою роботи

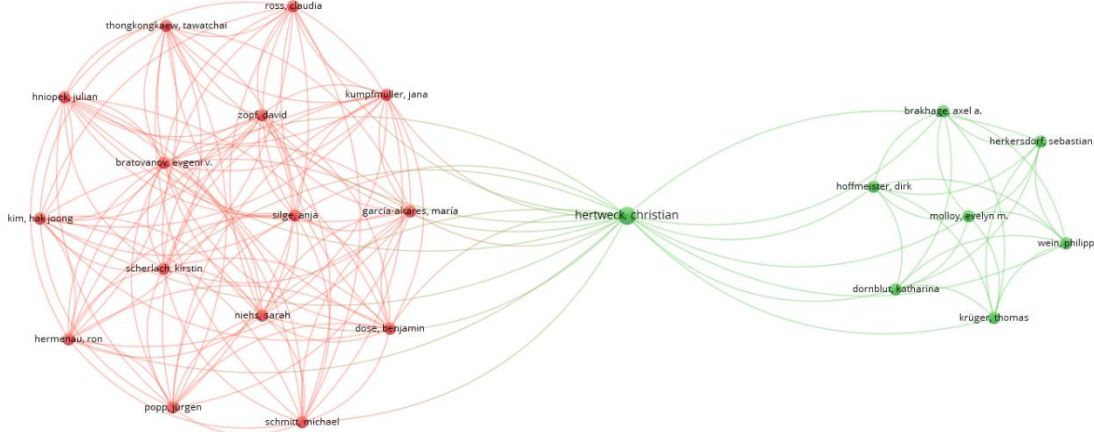


Рис. 2. – Бібліометричний аналіз за авторами публікацій