

**Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені С. З. Гжицького**

Факультет харчових технологій та біотехнологій

(повна назва факультету)

Кафедра біотехнологій та радіології

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за ОС «Бакалавр»

на тему: **«Особливості формування врожаю гливи рожевої при використанні доступних видів субстратів»**

Виконала: студентка 4 курсу, групи 1
спеціальності

162 «Біотехнології та біоінженерія»

Ліхван Діана Петрівна

(прізвище та ініціали)

Керівник д.с.-г.н., проф. Буцяк В. І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент д.с.-г.н., проф. Півторак Я. І.

(прізвище та ініціали)

Робота заслухана на засіданні кафедри біотехнології та радіології і
рекомендована до захисту в ЕК, протокол № від червня 2026 р.

Завідувач кафедри біотехнології та радіології,
професор, доктор с.-г. наук

Буцяк В. І.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІОТЕХНОЛОГІЇ КУЛЬТИВУВАННЯ ГРИБІВ РОДУ PLEUROTUS.....	8
1.1. Сучасний стан та перспективи біотехнологічного виробництва грибної продукції.....	8
1.2. Біологічні особливості гливи рожевої (<i>Pleurotus djamor</i>) як об'єкта культивування.....	11
1.3. Наукове обґрунтування вибору субстратних композицій та їх вплив на формування репродуктивних органів грибів.....	15
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1. Характеристика біологічного матеріалу дослідження та використаних видів субстратів.....	20
2.2. Алгоритм підготовки субстратних композицій та технологічні етапи виращування.....	23
2.3. Методики визначення динаміки росту міцелію та показників продуктивності гливи рожевої.....	26
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	30
3.1. Особливості динаміки росту міцелію гливи рожевої на різних видах субстратів.....	30
3.2. Аналіз формування врожаю та якісних характеристик плодових тіл залежно від складу субстрату.....	33
3.3. Рекомендації щодо оптимізації субстратної бази для підвищення ефективності культивування гливи рожевої.....	36
ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43
ДОДАТКИ.....	49

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. Сучасне промислове грибівництво орієнтоване на інтенсивні біотехнології біоконверсії сільськогосподарських відходів. Глива рожева (*Pleurotus djamor*) є перспективним об'єктом культивування завдяки високому нутрицевтичному потенціалу та швидкому циклу розвитку. Оптимізація субстратної бази є ключовим інструментом підвищення рентабельності виробництва. Попри наявні наукові напрацювання (Дж. Раман, А. Елеві, Д. Шпичко, І. Бандура, Ф. Топольний та інші), питання стабільності врожайності на нетрадиційних субстратах потребує подальшого вивчення.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є наукове обґрунтування та розробка оптимізованих субстратних композицій для інтенсифікації культивування гливи рожевої (*Pleurotus djamor*). Для досягнення мети вирішено наступні завдання: проаналізовано стан біотехнології грибівництва; вивчено біологічні особливості *Pleurotus djamor*; обґрунтовано вибір компонентів субстратних композицій; розроблено алгоритм підготовки субстрату та технологічні етапи культивування; досліджено динаміку росту міцелію та продуктивність грибів на основі моніторингу; розроблено практичні рекомендації з оптимізації субстратної бази.

Об'єкт дослідження – процес інтенсивного біотехнологічного культивування гливи рожевої (*Pleurotus djamor*). *Предмет дослідження* – комплекс взаємозв'язків між складом субстратних композицій, динамікою росту міцелію та показниками продуктивності плодових тіл гливи рожевої (*Pleurotus djamor*).

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використано комплекс методів: аналітично-пошуковий (для огляду теорії біотехнології); метод моделювання (для розробки алгоритму підготовки субстратів); експериментальний (для дослідження динаміки росту міцелію); біометричний (для аналізу продуктивності та якості плодових тіл); порівняльний (для зіставлення результатів та обґрунтування рекомендацій).

Практичне значення результатів. Розроблено науково обґрунтовані субстратні композиції для інтенсифікації культивування гливи рожевої (*Pleurotus djamor*). Запропоновані алгоритми підготовки субстрату та оптимізовані параметри вирощування дозволяють мінімізувати витрати, підвищити біологічну ефективність біоконверсії відходів і стабілізувати вихід високоякісної продукції. Розроблені рекомендації можуть бути масштабовані для промислового сектору, сприяючи впровадженню ефективних та екологічно безпечних моделей виробництва.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел із 41 найменування. Робота містить 42 сторінки основного тексту, 6 рисунків та 8 таблиць.

Ключові слова: *Pleurotus djamor*, глива рожева, біотехнологія культивування, субстратні композиції, біоконверсія відходів, інтенсивні технології, продуктивність міцелію, якість продукції, агробіотехнологічний сектор.

ABSTRACT

Relevance of the topic. Modern industrial mushroom cultivation is focused on intensive biotechnologies for the bioconversion of agricultural waste. The pink oyster mushroom (*Pleurotus djamor*) is a promising cultivation object due to its high nutraceutical potential and rapid development cycle. Optimization of the substrate base is a key tool for increasing production profitability. Despite existing research (J. Raman, A. Elevi, D. Shpychko, I. Bandura, F. Topolny, and others), the issue of yield stability on non-traditional substrates requires further study.

Aim and tasks of the research. The aim of the work is to scientifically substantiate and develop optimized substrate compositions for the intensification of *Pleurotus djamor* cultivation. To achieve this aim, the following tasks were accomplished: the state of the industry and biological features of the mushroom were analyzed; the choice of substrate components was justified; an algorithm for their preparation and cultivation stages were developed; mycelium growth dynamics and mushroom productivity were investigated; practical recommendations for optimizing the substrate base were formulated.

Object of research – the process of intensive biotechnological cultivation of the pink oyster mushroom (*Pleurotus djamor*). *Subject of research* – the complex interrelations between the composition of substrate mixtures, mycelium growth dynamics, and productivity indicators of *Pleurotus djamor* fruit bodies.

Research methods. To achieve the goal, a complex of methods was used: analytical-search (for reviewing biotechnology theory); modeling (for developing the substrate preparation algorithm); experimental (for investigating mycelium growth dynamics); biometric (for analyzing fruit body productivity and quality); and comparative (for comparing results and substantiating recommendations).

Practical significance of the results. Scientifically grounded substrate compositions for the intensification of *Pleurotus djamor* cultivation have been developed. The proposed substrate preparation algorithms and optimized cultivation parameters allow for cost minimization, increased biological efficiency of waste bioconversion, and stabilized yields of high-quality products. The developed recommendations can be scaled for the industrial sector, contributing to the implementation of efficient and environmentally safe production models.

Structure of the work. The qualification paper consists of an introduction, three chapters, conclusions, and a list of references containing 41 entries. The work includes 42 pages of main text, 6 figures, and 8 tables.

Keywords: *Pleurotus djamor*, pink oyster mushroom, cultivation biotechnology, substrate compositions, waste bioconversion, intensive technologies, mycelium productivity, product quality, agro-biotechnological sector.

ВСТУП

Актуальність дослідження зумовлена переходом промислового грибівництва до інтенсивних технологій, що базуються на ефективній біоконверсії сільськогосподарських відходів. Глива рожева (*Pleurotus djamor*) є перспективним об'єктом культивування завдяки високому нутрицевтичному потенціалу та швидкому циклу розвитку. Однак для підвищення біологічної ефективності та врожайності необхідна оптимізація субстратної бази, оскільки склад поживного середовища є ключовим інструментом регулювання репродуктивного потенціалу грибів. Наукове обґрунтування збалансованих субстратних композицій дозволяє підвищити рентабельність виробництва та сприяє реалізації принципів сталого розвитку в агробіотехнологічному секторі.

Стан наукової розробки питання. Дослідженням питань вирощування грибів та оптимізації субстратів займалися численні зарубіжні вчені. Зокрема, Дж. Раман та ін. [1] здійснили комплексний огляд поживної цінності видів *Pleurotus*. Проблематику ферментативної активності грибів досліджували Н. Нурфітрі та ін. [3], тоді як питання інтеграції сучасних IoT-технологій та автоматизації в грибівництві успішно впроваджували А. Елеві та ін. [4] та М. Рухіран та ін. [8]. Вагомий внесок у розуміння впливу побічних продуктів переробки на якість та екологічність вирощування зробили А. Дороскі та ін. [29], А. Петкович та ін. [30] та Р. Діаз і Г. Діаз-Годінез [32]. Питання оптимізації процесів пастеризації та стабільності врожаю досліджували Д. Грімм та ін. [38] та Дж. Бермулі та ін. [41].

На вітчизняному просторі питання інтенсифікації виробництва гливи та використання альтернативних субстратів активно вивчали українські науковці. Зокрема, проблеми класифікації ринку грибної продукції аналізував Д. Шпичко [2]. Питання впливу складу субстратів на морфологічні показники плодових тіл детально досліджували І. Бандура та ін. [10, 11]. Окремі аспекти використання добавок для інтенсифікації твердофазного культивування висвітлили К.

Власенко та ін. [22], а особливості застосування біопрепаратів на солом'яних субстратах розкрили С. Вдовенко та О. Полутін [26]. Крім того, перспективні напрями використання відходів тваринництва та аквакультури в технології виробництва досліджували І. Чернишов та В. Гузєєв [28], а вплив ЕМ-препаратів на формування врожайності – Ф. Топольний та М. Ковальов [39].

Попри значний науковий доробок, залишається низка невивчених аспектів, зокрема питання довготривалої стабільності врожайності при використанні нетрадиційних агропромислових відходів. За наявності широкої бази досліджень, існує потреба в подальшому розвитку інтегрованих систем моніторингу, які б поєднували біологічні методи стимуляції росту з енергоефективними технологіями, що забезпечить мінімізацію екологічного навантаження та підвищення рентабельності виробництва.

*Метою дослідження є наукове обґрунтування та розробка оптимізованих субстратних композицій для інтенсифікації культивування гливи рожевої (*Pleurotus djamor*), що дозволить підвищити біологічну ефективність виробництва та якісні характеристики товарної продукції.*

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан та перспективи розвитку біотехнологічного виробництва грибною продукції;
- вивчити біологічні особливості та морфо-фізіологічні вимоги гливи рожевої (*Pleurotus djamor*) як перспективного об'єкта культивування;
- здійснити наукове обґрунтування вибору компонентів для субстратних композицій та оцінити їх вплив на формування репродуктивних органів грибів;
- надати характеристику біологічного матеріалу та використаних видів субстратів, що застосовувалися в експериментальних дослідженнях;
- розробити алгоритм підготовки субстратних композицій та структурувати технологічні етапи вирощування *Pleurotus djamor*;
- встановити особливості динаміки росту міцелію та показники продуктивності гливи рожевої на основі застосування сучасних методик моніторингу;

– опрацювати результати експериментальних досліджень щодо динаміки росту міцелію, формування врожаю та якості плодових тіл для розробки практичних рекомендацій щодо оптимізації субстратної бази.

Об'єкт дослідження: процес інтенсивного біотехнологічного культивування гливи рожевої (*Pleurotus djamor*).

Предмет дослідження: комплекс взаємозв'язків між складом субстратних композицій, динамікою росту міцелію та показниками продуктивності плодових тіл гливи рожевої (*Pleurotus djamor*).

Методи дослідження. Для досягнення мети роботи використано комплекс методів: аналітично-пошуковий метод застосовано для теоретичного аналізу біотехнології культивування гливи рожевої (*Pleurotus djamor*); метод моделювання використано для розробки алгоритму підготовки субстратних композицій; експериментальний метод дозволив встановити динаміку росту міцелію на різних видах субстратів; біометричний метод застосовано для аналізу показників продуктивності та якості плодових тіл; порівняльний метод використано для зіставлення отриманих результатів, що забезпечило обґрунтування практичних рекомендацій щодо оптимізації субстратної бази.

Практичне значення результатів полягає у розробці науково обґрунтованих субстратних композицій для інтенсифікації культивування гливи рожевої (*Pleurotus djamor*), готових до впровадження у господарствах. Запропоновані алгоритми підготовки субстрату та оптимізовані параметри культивування дозволяють мінімізувати витрати, підвищити біологічну ефективність біоконверсії відходів та забезпечити стабільний вихід високоякісної продукції. Розроблені рекомендації можуть бути масштабовані для промислового застосування в агробіотехнологічному секторі, забезпечуючи перехід до ефективних та екологічно безпечних моделей виробництва, що підтверджує прикладну цінність виконаного дослідження.

Структура роботи: кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел із 41 найменування. Робота містить 42 сторінки основного тексту, 6 рисунків та 8 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІОТЕХНОЛОГІЇ КУЛЬТИВУВАННЯ ГРИБІВ РОДУ *PLEUROTUS*

1.1. Сучасний стан та перспективи біотехнологічного виробництва грибною продукції

Сучасний етап розвитку біотехнології культивування грибів характеризується переходом від традиційних методів вирощування до високоефективних промислових технологій, що базуються на принципах керованого біосинтезу. Гриби роду *Pleurotus* (глива) займають одну з лідируючих позицій у світовому виробництві їстівних грибів завдяки високій адаптивності, швидкому росту та значній поживній цінності. Ключовим фактором інтересу до цієї культури є її унікальний нутрицевтичний профіль: гриби містять високу концентрацію β -глюканів, незамінних амінокислот та антиоксидантів, що зумовлює їх високу роль у профілактиці метаболічних порушень [1].

Науковець Д. Шпичко зазначає, що глобальний ринок грибною продукції демонструє стабільне зростання, зумовлене підвищенням споживчого попиту на функціональні продукти харчування та розвитком технологій переробки відходів сільського господарства. Важливим аспектом розвитку галузі є впровадження міжнародних стандартів якості та безпечності, таких як ISO (International Organization for Standardization – Міжнародна організація зі стандартизації) та HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points – Аналіз ризиків і критичні точки контролю), що стає обов'язковою умовою для виходу продукції на зовнішні ринки та гарантування високого рівня довіри з боку споживачів [2].

Дослідник Н. Нурфітрі та співавт. наголошують, що основна увага в індустрії приділяється оптимізації компонентного складу субстратів, що

дозволяє суттєво підвищити біологічну ефективність конверсії рослинної сировини. Ефективність цього процесу безпосередньо залежить від вибору субстратної бази, де використання соломи пшениці, лушпиння соняшника або деревинної тирси вимагає індивідуального підходу до технологічного забезпечення. Оскільки гриби роду *Pleurotus* є сапротрофами, їх фізіологія базується на потужному ферментативному апараті, що дозволяє здійснювати деструкцію складних лігноцелюлозних комплексів. У цьому контексті інженерно-технічні рішення щодо гідротермічної, хімічної або мікробіологічної обробки сировини відіграють вирішальну роль у забезпеченні конкурентоспроможності кінцевого продукту. При цьому критично важливим є належний мікробіологічний контроль, адже впровадження сучасних методів стерилізації або пастеризації є єдиним ефективним інструментом для запобігання поширенню контамінації та збереження чистоти культури [3].

Вчений А. Елеві та співавт. зазначають, що впровадження систем точного землеробства в грибівництві забезпечує автоматичний контроль кліматичних параметрів, таких як концентрація вуглекислого газу, відносна вологість та інтенсивність освітлення. Деталізація цих параметрів, зокрема точне керування температурними градієнтами та швидкістю руху повітряних потоків, є визначальною для формування морфології плодових тіл. Окрім того, гриби роду *Pleurotus* виступають важливим біотехнологічним агентом у циклічній економіці, оскільки вони ефективно перетворюють лігноцелюлозні відходи на високоякісний білок. У цьому процесі варто виділити потенціал інтеграції грибівництва з іншими напрямками аграрного сектору, де відпрацьований субстрат (грибний компост) перетворюється на високоефективне органічне добриво, що дозволяє замикати цикл використання ресурсів у межах одного господарства [4].

Дослідник Л. Янг та співавт. зазначають, що майбутнє цієї галузі пов'язане з виробництвом функціональних продуктів, глибокою переробкою грибної біомаси для потреб фармацевтичної промисловості, а також розробкою біорозкладних матеріалів на основі міцелію. Використання методів генетичної

селекції та молекулярного маркування дозволяє створювати штами з підвищеною стійкістю до патогенів та специфічними властивостями, що відкриває нові можливості для комерційного використання грибів. Додатковим перспективним вектором розвитку є мікоремедіація, де використання культури *Pleurotus* спрямоване на очищення ґрунтів та промислових стоків від важких металів і ксенобіотиків, що розширює роль грибів у вирішенні екологічних проблем [5].

Експерт А. Сантос та співавт. наголошують, що стратегічно важливим для галузі є підвищення економічної ефективності через мінімізацію енерговитрат, що досягається завдяки впровадженню замкнених циклів рекуперації тепла або використанню відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних колекторів для підігріву камер культивування. Варто також зауважити, що реалізація таких масштабних завдань потребує формування кадрового потенціалу, оскільки сучасна галузь потребує фахівців, які поєднують глибокі знання з біології грибів та навички роботи з автоматизованими системами управління біотехнологічними процесами [6].

Нижче у табл. 1.1 наведено порівняльну характеристику основних параметрів розвитку традиційних та сучасних промислових технологій культивування грибів, що дозволяє оцінити рівень технологічного прогресу та виявити ключові вектори оптимізації виробничих процесів.

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика традиційних та сучасних промислових технологій культивування грибів

Параметр розвитку	Традиційний підхід	Сучасні промислові технології
Контроль умов	Екстенсивний та сезонний	Інтенсивний та цілорічний
Субстратна база	Обмежена	Використання вторинних ресурсів
Рівень автоматизації	Низький	Високий (IoT (Internet of Things – Інтернет речей), SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition – Диспетчерське управління та збір даних))
Біологічна ефективність	50–70%	80–120%

Джерело: складено автором на основі [1; 4; 6]

У табл. 1.1 зазначено динамічний перехід до інтегрованих систем управління, які дозволяють ефективно мінімізувати вплив негативних зовнішніх чинників на загальну продуктивність культури. Впровадження таких комплексних технічних рішень забезпечує стабільне та значне підвищення виходу товарної продукції порівняно з використанням класичних екстенсивних методів вирощування. Завдяки таким змінам підприємства отримують можливість контролювати якість вихідної сировини на кожному етапі технологічного циклу, що є критично важливим для забезпечення високої біологічної ефективності [4].

Підсумовуючи, біотехнологія культивування *Pleurotus* еволюціонує до керованих ресурсощадних систем. Інтеграція цифрових технологій та використання вторинної сировини забезпечують стабільну якість продукції з мінімальним впливом на довкілля. Галузь має соціально-економічне значення, сприяючи створенню робочих місць та розвитку локального бізнесу. Грибівництво також допомагає долати продовольчу кризу та зменшувати вуглецевий слід в аграрному секторі. Ці напрацювання створюють фундамент для подальших досліджень з максимізації біологічного потенціалу *Pleurotus* у промислових масштабах.

1.2. Біологічні особливості гливи рожевої (*Pleurotus djamor*) як об'єкта культивування

Глива рожева (*Pleurotus djamor*) є одним із найбільш термофільних та візуально привабливих представників роду *Pleurotus*. Цей вид суттєво відрізняється від традиційної гливи звичайної (*Pleurotus ostreatus*) не лише забарвленням плодових тіл, а й специфічними фізіологічними вимогами до умов розвитку. Висока швидкість росту міцелію та короткий цикл розвитку роблять цей гриб перспективним об'єктом для інтенсивного біотехнологічного

виробництва, особливо в регіонах з теплим кліматом. Порівняно з іншими «кольоровими» видами, такими як *Pleurotus citrinopileatus* (глива лимонна), рожева глива демонструє вищу адаптивність до температурних коливань та унікальну інтенсивність морфогенезу.

Дослідник М. Фонемані та співавт. підкреслюють, що фундаментальною основою успішного культивування є розуміння повного життєвого циклу виду: від проростання базидіоспор, формування дикаріотичного міцелію до утворення базидіокарпу, що вимагає точного дотримання фазових переходів у технологічному процесі. При цьому особливу увагу варто приділяти концепції «міцеліальної архітектури», оскільки щільність гіф міцелію безпосередньо впливає на швидкість колонізації та механічну стабільність субстратного блоку, забезпечуючи оптимальне живлення плодових тіл [7].

Науковець М. Рухіран та співавт. зазначають, що важливою біологічною характеристикою *Pleurotus djamor* є її виражена залежність від високих температур у період інкубації та плодоношення. На відміну від інших видів, рожева глива демонструє найкращу продуктивність при температурах у діапазоні від 24°C до 30°C, що дозволяє використовувати менш енергомісткі системи клімат-контролю в літній період. Однак, паралельно з цією перевагою, вид є більш чутливим до переохолодження, оскільки температури нижче 15°C призводять до зупинки метаболічних процесів та можливого ураження міцелію патогенною мікрофлорою [8].

Дослідник Й. Сонг та співавт. акцентують увагу на тому, що гриб розробив власні адаптивні стратегії виживання: у відповідь на стресові умови, зокрема дефіцит вологи або підвищену концентрацію вуглекислого газу, він здатний корегувати метаболізм міцелію, мінімізуючи активність росту для збереження життєздатності колонії. Також вид демонструє високу екологічну пластичність, успішно витримуючи короточасні коливання рН субстрату, що дозволяє отримувати стабільні врожаї навіть за невеликих відхилень у параметрах підготовки сировини. Фахівці вказують на важливість фітопатологічних ризиків: специфічний термофільний характер культури створює сприятливе середовище

для розвитку конкурентних термофільних плісняв, тому контроль санітарно-гігієнічних умов є першочерговим завданням [9].

Фахівець Дж. Раман та співавт. підкреслюють, що морфологічні особливості плодових тіл *Pleurotus djamor* зумовлюють специфіку післязбиральної обробки. Тонка структура та ніжність капелюшків вимагають обережного поводження та швидкої реалізації, оскільки товарний вигляд продукції втрачається значно швидше порівняно з іншими видами. Особливу увагу приділяють етапам формування примордіїв, оскільки саме на цій стадії закладається щільність та насиченість пігментації капелюшків, що є ключовим індикатором якості. Критичним фактором тут є фотоморфогенез: дослідники констатують, що спектральний склад світла, зокрема переважання синього спектра, суттєво стимулює насиченість рожевого забарвлення, що безпосередньо впливає на комерційну привабливість продукції [1].

Фахівець І. Бандура та співавт. констатують, що *Pleurotus djamor* є цінним функціональним продуктом, оскільки його біохімічний профіль вирізняється високим вмістом специфічних полісахаридів та антиоксидантів, рівень яких перевищує аналогічні показники у багатьох інших їстівних грибів. Дослідники акцентують увагу на вираженому мікохімічному потенціалі цього виду, зокрема наявності природних статинів та ерготіонеїну, що робить його перспективною сировиною не лише для харчової галузі, а й для фармацевтичного сектору. З біотехнологічної точки зору, швидкий життєвий цикл вимагає інтенсивного забезпечення субстрату поживними речовинами. Така динаміка забезпечується потужним ферментативним апаратом гриба: *Pleurotus djamor* володіє високою целюлолітичною та лігнінолітичною активністю, що дозволяє йому ефективно здійснювати деградацію лігноцелюлозних субстратів та швидко нарощувати біомасу [10].

У табл. 1.2 систематизовано основні біологічні вимоги та технологічні особливості культивування *Pleurotus djamor*.

Таблиця 1.2

Біологічні особливості та параметри культивування *Pleurotus djamor*

Параметр культивування	Оптимальні показники	Вплив на розвиток культури
Температурний режим	24–30°C	Забезпечує активний ріст та формування зачатків
Рівень вологості	85–90%	Запобігає деформації та висиханню плодових тіл
Освітленість	500–1000 люкс	Необхідна для коректної морфогенези капелюшків
Тривалість циклу	20–30 діб	Висока швидкість обороту субстратних блоків

Джерело: складено автором на основі [1; 11]

У табл. 1.2 охарактеризовано критичні параметри, які є визначальними для стабільного отримання врожаю в промислових умовах. Дотримання цих значень дозволяє повною мірою реалізувати генетичний потенціал штаму та забезпечити високу якість товарної продукції. Наведені дані слугують базовим орієнтиром для налаштування систем автоматизації та управління виробничим процесом. Отже, дотримання технологічної дисципліни на кожному етапі розвитку гриба гарантує високу біологічну ефективність та стабільність виходу товарної продукції [4].

Отже, біологічні особливості *Pleurotus djamor* відкривають широкі можливості для диверсифікації грибної продукції на ринку. Незважаючи на вимогливість до температурного режиму, здатність цього виду швидко колонізувати субстрат та формувати привабливі плодові тіла робить його ефективним інструментом для підвищення рентабельності виробництва в умовах цілорічного вирощування. Висока швидкість циклу вирощування сприяє інтеграції в концепцію сталого розвитку, забезпечуючи мінімізацію вуглецевого сліду виробництва через інтенсивний оборот ресурсів та енергоощадні режими експлуатації кліматичного обладнання. Наукове обґрунтування цих особливостей дозволяє оптимізувати технологічні інструкції та розробити індивідуальні стратегії управління ростом для даного виду.

1.3. Наукове обґрунтування вибору субстратних композицій та їх вплив на формування репродуктивних органів грибів

Вибір субстратної композиції є фундаментальним етапом у біотехнології культивування грибів, оскільки саме склад поживного середовища визначає швидкість колонізації міцелієм, рівень біологічної ефективності та якісні характеристики плодових тіл. Для *Pleurotus djamor*, враховуючи її інтенсивний метаболізм, критично важливим є забезпечення оптимального співвідношення вуглецю до азоту (C/N), що дозволяє максимально реалізувати ферментативний потенціал гриба у деструкції лігноцелюлозних комплексів [12].

Аналітик Л. Чжан та співавт. наголошують, що якісний склад поживного середовища безпосередньо впливає на активацію генетичних програм, відповідальних за перехід гриба від вегетативного росту до генеративної фази, тобто формування репродуктивних органів. Показники врожайності та морфологічна досконалість плодових тіл у значній мірі детерміновані структурою субстрату, його гідрофільною здатністю та рівнем доступності поживних речовин для міцелярного апарату. Дослідники акцентують увагу на фракційному складі сировини: ступінь подрібнення компонентів безпосередньо впливає на щільність блоку, де надмірно дрібна фракція може призводити до злежування і дефіциту кисню, тоді як занадто груба – до прискореної втрати вологи. Фахівці також виокремлюють важливий аспект екосистемної взаємодії: доведена синергія міцелію з корисною супутньою мікробіотою, яка значно полегшує засвоєння складних нутрієнтів, забезпечуючи прискорений ріст культури [13].

Аналітик Н. Нурфітрі та співавт. акцентують увагу на тому, що критичним фактором при цьому є водно-фізичні властивості субстрату: оптимальна пористість та здатність утримувати вологу забезпечують необхідний газообмін, оскільки надмірна вологість за відсутності належної аерації блокує перехід культури до етапу плодоношення. Крім того, дослідники підкреслюють

важливість динаміки рН у процесі колонізації, адже спрямована ферментативна діяльність міцелію *Pleurotus djamor* суттєво модифікує кислотність середовища, створюючи специфічний мікроклімат всередині субстратного блоку. Високу ефективність процесу забезпечує активний ферментний комплекс гриба (лаккази та пероксидази), який здійснює спрямовану деградацію лігніну, вивільняючи необхідні для росту вуглеводи. Фахівці зазначають, що при виборі сировини необхідно враховувати наявність природних інгібіторів, таких як фенольні сполуки чи дубильні речовини, що здатні пригнічувати розвиток культури; їх технологічна нейтралізація шляхом термохімічної обробки є запорукою успішної колонізації [3].

Дослідник Л. Юріх та співавт. вказують, що використання мультикомпонентних субстратів дозволяє створювати синергетичний ефект, де кожен компонент виконує специфічну роль: основа забезпечує структурний каркас для проникнення гіф, тоді як добавки активізують синтез біополімерів. Розуміння мікробіологічного стану сировини дозволяє здійснювати прецизійне керування репродуктивним потенціалом культури, забезпечуючи формування однорідних за розміром та забарвленням плодових тіл. Фахівці виокремлюють як інноваційний підхід застосування природних стимуляторів росту, таких як екстракти дріжджів чи гумати, що дозволяє значно підвищити інтенсивність плодоношення без використання синтетичних добрив, при цьому оптимізуючи загальну собівартість продукції завдяки вищій біологічній ефективності. Автори також наголошують, що склад субстрату має прямий вплив на сенсорні характеристики грибів: збалансоване харчування гарантує насичений аромат, ніжну текстуру та високу гастрономічну привабливість продукції [14].

Дослідник Н. Нуссбаум та співавт. зазначають, що не менш важливим є явище «субстратної пам'яті», де адаптація посівного міцелію до специфічного складу живильного середовища на етапі розмноження суттєво пришвидшує подальшу ферментацію основного субстрату. Фахівці підкреслюють, що показники біологічної ефективності безпосередньо корелюють з енергетичною цінністю субстратної суміші, що дозволяє прогнозувати масу та кількість хвиль

плодоношення ще на стадії проектування рецептури. Автори констатують, що після завершення виробничого циклу цінність субстрату не втрачається: відпрацьований грибний блок стає високоякісним органічним добривом, що дозволяє реалізувати концепцію замкненого циклу та сталого виробництва у сільському господарстві [15].

У табл. 1.3 систематизовано вплив основних типів субстратних композицій на розвиток репродуктивних органів грибів.

Таблиця 1.3

Вплив компонентного складу субстрату на розвиток *Pleurotus djamor*

Тип субстратної композиції	Показники розвитку	Вплив на формування репродуктивних органів
Солома пшениці (монокомпонент)	Середня швидкість росту	Стандартна врожайність та розмір плодових тіл
Солома + лушпиння соняшника	Висока швидкість росту	Збільшення маси та інтенсивності пігментації
Суміш із добавкою висівок	Інтенсивна колонізація	Формування великих друзоподібних груп тіл
Лігноцелюлозні відходи (тирса)	Повільна колонізація	Формування щільних, але дрібніших плодових тіл

Джерело: складено автором на основі [10; 11; 14]

У табл. 1.3 наведено взаємозв'язок між фізико-хімічними властивостями субстрату та морфологічними ознаками сформованих плодових тіл. Високий вміст лігніну в деревинних рештках потребує тривалішого часу для міцелярного освоєння, проте забезпечує високу міцність плодових тіл. Натомість додавання азотовмісних компонентів, як-от висівки, активізує процеси примордієутворення та сприяє підвищенню загальної врожайності. Наведені дані підкреслюють, що гармонійне поєднання компонентів дозволяє керувати не лише термінами плодоношення, а й товарними якостями кінцевого продукту. Отже, науково обґрунтована рецептура субстрату є ключовим інструментом регулювання репродуктивного потенціалу культури в промислових масштабах [10].

Отже, наукове обґрунтування субстратних композицій базується на принципах оптимізації поживного середовища для стимуляції фізіологічних процесів грибів. Експериментальні дані свідчать, що баланс між

швидкозасвоюваними та важкодоступними вуглеводами, поряд із достатнім рівнем азотного живлення, є вирішальним для формування якісних репродуктивних органів. Впровадження таких комплексних підходів дозволяє значно мінімізувати терміни виробничого циклу та підвищити стабільність отримання врожаю, що є пріоритетним завданням сучасного грибівництва.

Висновки до Розділу 1

Узагальнення теоретичних засад біотехнології культивування грибів роду *Pleurotus* засвідчує стрімку еволюцію галузі від екстенсивних методів до високоефективних, ресурсощадних промислових систем. Перехід до інтенсивних цілорічних технологій став можливим завдяки впровадженню цифрових інструментів моніторингу кліматичних параметрів та застосуванню міжнародних стандартів безпеки, що забезпечує стабільну якість продукції та мінімізацію екологічного навантаження. Застосування грибів у циклічній економіці як агентів біоконверсії лігноцелюлозних відходів не лише підвищує рентабельність грибовництва, а й сприяє вирішенню глобальних екологічних та продовольчих завдань через отримання високоякісного білкового продукту та органічних добрив.

Детальний аналіз біологічних особливостей *Pleurotus djamor* демонструє її значний потенціал як об'єкта інтенсивного виробництва, що зумовлений термофільністю, швидким життєвим циклом та високим нутрицевтичним рівнем. Оптимізація технологічних параметрів, зокрема світлового режиму, температури та вологості, дозволяє ефективно реалізувати генетичний потенціал штаму, забезпечуючи високу якість плодових тіл. Виявлено, що глибоке розуміння морфогенетичних та фізіологічних реакцій рожевої гливи на стресові умови є ключовим фактором у розробці адаптивних стратегій управління ростом, що гарантує конкурентоспроможність продукції на ринку функціонального харчування.

Наукове обґрунтування вибору субстратних композицій довело вирішальний вплив фізико-хімічних характеристик поживного середовища, таких як співвідношення C/N, фракційний склад, пористість та рівень рН, на інтенсивність розвитку репродуктивних органів грибів. Встановлено, що використання мультикомпонентних субстратів із застосуванням природних стимуляторів росту забезпечує синергетичний ефект, активізуючи ферментативні системи гриба та сприяючи формуванню однорідної за товарними якостями біомаси. Таким чином, науково обґрунтована рецептура субстрату виступає головним важелем управління репродуктивним потенціалом культури, що дозволяє мінімізувати тривалість виробничого циклу та досягти стабільних показників біологічної ефективності у промислових масштабах.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Характеристика біологічного матеріалу дослідження та використаних видів субстратів

Експериментальну частину роботи було реалізовано в період із жовтня 2025 року по березень 2026 року на базі приватної біотехнологічної лабораторії, що спеціалізується на розробці новітніх технологій культивування грибів. Умови проведення експерименту включали використання спеціалізованого обладнання для стерилізації субстрату та точного підтримання параметрів мікроклімату, критичних для розвитку *Pleurotus djamor*. Також було забезпечено контроль за чистотою культури, що дозволило виключити ризики контамінації та забезпечити високу якість отриманого біоматеріалу. Додатково, для зволоження компонентів використовували фільтровану воду, показники електропровідності та хімічного складу якої відповідали санітарно-гігієнічним нормам, що унеможливило накопичення небажаних солей у субстратній масі [16].

Об'єктом дослідження обрано гливу рожеву (*Pleurotus djamor*), штам P-12, що характеризується високою швидкістю росту та адаптивністю до субстратів на основі лігноцелюлозних відходів. Культуру підтримували на сусло-агаровому середовищі за температури 25°C. Важливою характеристикою обраного штаму є стабільність морфологічних ознак, що дозволяє отримувати однорідну продукцію під час кожного циклу культивування [17].

Для вивчення впливу складу поживного середовища на біологічну ефективність було використано наступні компоненти субстрату. Солома пшениці слугувала основним джерелом вуглецю, що забезпечує необхідний структурний каркас субстратного блоку. Лушпиння соняшника виступало компонентом з високою енергетичною цінністю, що забезпечує джерело ліпідів

та мінеральних речовин. Пшеничні висівки використовували як джерело азоту та інструмент стимуляції інтенсивної колонізації міцелієм. Тирсу деревини твердих порід додавали як додатковий лігноцелюлозний компонент для підвищення щільності субстрату. Вибір зазначених лігноцелюлозних відходів зумовлений їхньою доступністю в регіоні та високим вмістом біополімерів, що дозволяє реалізувати принципи раціонального природокористування та мінімізувати екологічне навантаження. Додатково, для оптимізації мінерального живлення та підтримки стабільного рівня рН, було впроваджено використання природних добавок. Зокрема, до складу субстратних композицій вводили крейду (кальцію карбонат) у концентрації 1–2%, що дозволяло стабілізувати рівень рН у межах 6,0–6,5, забезпечуючи оптимальні умови для росту міцелію та пригнічення розвитку небажаної мікрофлори [18].

Попередній органолептичний аналіз сировини дозволив відібрати субстратні компоненти без ознак пліснявіння чи сторонніх включень, що є базовою вимогою для попередження розвитку інфекцій під час інкубації. Оцінку якості вихідної сировини проводили шляхом візуального огляду кольору, текстури та перевірки на відсутність специфічних сторонніх запахів, що свідчать про мікробіологічне псування. Такий підхід забезпечив високий рівень чистоти субстратної бази на етапі підготовки до подальшої термічної обробки. Підготовка субстрату включала стадії подрібнення компонентів до фракції 1–3 см, зволоження до рівня 65–70% та подальшу термічну обробку при температурі 80–90°C протягом 2 годин для усунення конкуруючої мікрофлори. Фізико-хімічні показники, зокрема вологість та рівень рН, контролювали згідно із загальноприйнятими лабораторними методиками протягом усього процесу інкубації [19].

На рис. 2.1 проілюстровано зовнішній вигляд та структурні особливості підготовлених інгредієнтів, що дозволяє оцінити ступінь їхньої подрібненості та однорідність, необхідну для забезпечення оптимальної щільності субстратного блоку.



Рис. 2.1. Вихідні компоненти субстратної суміші

Джерело: власне дослідження автора

Застосування фракцій компонентів, відображених на ілюстрації, забезпечує створення оптимальної пористості субстрату, що критично важливо для правильного повітрообміну під час колонізації міцелієм. Завдяки збалансованому співвідношенню структурних та енергетичних інгредієнтів гарантується рівномірне засвоєння поживних речовин, що виключає утворення зон із низькою біологічною активністю. У табл. 2.1 описано особливості використаних компонентів, що впливають на продуктивність обраного штаму.

Таблиця 2.1

Фізико-хімічні та поживні характеристики субстратних компонентів

Компонент	Роль у субстраті	Поживна цінність
Солома пшениці	Структурна основа	Висока (целюлоза)
Лушпиння соняшника	Енергетична база	Висока (ліпіди)
Висівки пшеничні	Азотний стимулятор	Висока (білок)
Тирса	Щільність та лігнін	Середня

Джерело: складено автором на основі [10; 11; 18; 19]

У табл. 2.1 наведено розподіл функціональних ролей кожного компонента, що дозволяє оптимізувати рецептуру середовища для стимуляції фізіологічних процесів грибів. Наукове обґрунтування такого поєднання компонентів дозволяє

мінімізувати терміни виробничого циклу та досягти стабільних показників біологічної ефективності у промислових масштабах. Отримані результати підтверджують доцільність застосування комбінованих субстратів для створення оптимальних умов розвитку *Pleurotus djamor* [18].

Підсумовуючи викладене, слід зазначити, що системний підхід до підбору компонентів субстрату з урахуванням їхніх фізико-хімічних властивостей, а також ретельний контроль технологічних параметрів на етапі підготовки сировини, є визначальними чинниками для забезпечення стабільного розвитку культури *Pleurotus djamor*. Запропонований склад субстратної композиції створює сприятливе поживне середовище, що сприяє інтенсивній біоконверсії лігноцелюлозних матеріалів та дозволяє оптимізувати продуктивність виробничого процесу.

2.2. Алгоритм підготовки субстратних композицій та технологічні етапи вирощування

Процес підготовки субстратних композицій базувався на суворому дотриманні послідовності технологічних етапів, спрямованих на створення поживного середовища з оптимальними фізико-хімічними параметрами. Алгоритм підготовки включав змішування сухих компонентів, зволоження, термічну обробку та подальше формування субстратних блоків.

На початковому етапі проводилося зважування компонентів відповідно до розробленої рецептури. Після цього здійснювалося ретельне перемішування сировини для досягнення однорідності складу, що є критично важливим для забезпечення рівномірного розвитку міцелію. Зволоження проводилося до досягнення вологості субстрату в межах 65–70%. Далі субстратна суміш піддавалася термічній обробці (пастеризації) при температурі 80–90°C протягом 2 годин, що забезпечувало нейтралізацію конкуруючої мікрофлори без

руйнування поживних сполук. Вибір режиму пастеризації зумовлений необхідністю селективного знищення патогенної мікрофлори та спор плісневих грибів при одночасному збереженні структури лігноцелюлозних волокон. Перевищення вказаного температурного діапазону або часу обробки могло б призвести до надмірної деградації полісахаридів субстрату, що негативно вплинуло б на поживну цінність середовища для штаму Р-12.

Після охолодження субстрату до температури 25–28°C проводили інокуляцію міцелієм штаму Р-12. Інокуляцію здійснювали в умовах стерильного середовища з використанням попередньо підготовленого зернового міцелію, який рівномірно розподіляли в об'ємі субстрату, що дозволяло скоротити лаг-фазу розвитку грибниці. Сформовані субстратні блоки щільно пакували у поліетиленові мішки, забезпечуючи рівномірне ущільнення суміші для формування належної структури середовища. Ступінь ущільнення субстрату регулювали таким чином, щоб забезпечити оптимальну шпаристість середовища, необхідну для аеробного дихання міцелію та попередження виникнення анаеробних зон [19].

На рис. 2.2 відображено зовнішній вигляд готових до інокуляції субстратних блоків, що вирізняються високою однорідністю набивки та належною щільністю пакування.



Рис. 2.2. Сформовані субстратні блоки перед етапом інокуляції

Джерело: власне дослідження автора

На ілюстрації продемонстровано завершення етапу підготовки, під час якого досягнуто оптимальної компактності блоків. Завдяки забезпеченню герметичності пакування та дотриманню технологічних параметрів наповнення створюються умови, що сприяють швидкій адаптації та активному розростанню міцеліальної мережі вглиб субстрату. Дані візуальні матеріали підтверджують відповідність отриманих блоків стандартам, необхідним для запобігання розвитку сторонньої мікрофлори в порожнинах субстрату. Отримана структура блоку є технологічним еталоном для подальшого моніторингу стадій колонізації.

У табл. 2.2 наведено систематизовані технологічні параметри, яких необхідно дотримуватися на кожному етапі підготовки субстратної композиції для досягнення максимальної ефективності культивування.

Таблиця 2.2

Технологічні параметри підготовки субстрату

Етап процесу	Параметр контролю	Оптимальне значення
Підготовка сировини	Фракція частинок	1–3 см
Зволоження	Відносна вологість	65–70%
Пастеризація	Температура	80–90°C
Час витримки	Тривалість	2 години
Інкубація	Температура	24–26°C

Джерело: складено автором на основі проведених досліджень

У наведеній табл. 2.2 відображено ключові критерії контролю технологічного процесу, дотримання яких дозволяє мінімізувати варіативність середовища та стабілізувати фізико-хімічні властивості субстрату перед заселенням міцелієм. Використання зазначених значень параметрів забезпечує сприятливе поживне середовище та запобігає виникненню критичних відхилень у розвитку біоматеріалу на початкових стадіях культивування.

Після формування блоки переміщували до інкубаційної камери, де підтримували стабільні параметри мікроклімату: температуру 24–26°C та відносну вологість повітря 70–80%. Для забезпечення стабільності мікроклімату здійснювали моніторинг температури та вологості двічі на добу, а регуляцію параметрів проводили із застосуванням автоматизованих систем, що

мінімізувало температурні коливання в масі субстрату, спричинені екзотермічними процесами росту міцелію. У період інкубації було обмежено освітлення для стимуляції вегетативного росту грибниці [4].

Отже, системний підхід до організації кожного етапу підготовки субстратних композицій – від підбору фракції сировини до контролю кліматичних параметрів в інкубаційній камері – є визначальною умовою для забезпечення високої біологічної ефективності культивування *Pleurotus djamor*. Запропонований технологічний алгоритм мінімізує ризики біологічного забруднення, оптимізує енергетичні витрати на процес культивування та гарантує отримання стабільно якісного біоматеріалу, що є необхідною передумовою для успішного впровадження розроблених технологічних рішень у промислову практику.

2.3. Методики визначення динаміки росту міцелію та показників продуктивності гливи рожевої

Для оцінки розвитку *Pleurotus djamor* на різних субстратних композиціях було застосовано комплекс методів, що дозволяють отримати достовірні дані про динаміку вегетативного росту та продуктивність культури. Вибір штаму Р-12 зумовлений його високою адаптивністю до умов інтенсивного культивування та специфічними вимогами до поживного середовища, що потребувало розробки високочутливих методів моніторингу динаміки розвитку грибниці. Всі вимірювання проводилися з використанням стандартних інструментів, що забезпечило високу точність фіксації показників на кожному етапі експерименту. Застосування такого методичного підходу дозволило мінімізувати похибки при зборі первинної інформації та забезпечити високу відтворюваність результатів дослідження в лабораторних умовах [21].

Визначення динаміки росту міцелію базувалося на методі візуального спостереження та морфометричного аналізу. Через прозору структуру пакувальних матеріалів здійснювалися заміри площі колонізації субстрату, які проводилися з інтервалом у 5 діб до моменту повного заростання блоків. Для отримання порівняльних даних розраховувався відсотковий показник колонізації відносно загальної площі поверхні блоку, що дозволило встановити швидкість поширення грибниці залежно від складу субстрату. Для забезпечення репрезентативності результатів експериментальні дослідження проводилися на рівнозначних групах субстратних блоків. Формування дослідних та контрольних варіантів здійснювалося методом випадкової вибірки, що дозволило нівелювати вплив випадкових чинників на показники росту міцелію та врожайність культури [22, с. 110-113].

Методика визначення продуктивності культури передбачала регулярний збір та зважування плодових тіл протягом кожної хвили плодоношення. Після збору гриби зважували на технічних вагах із точністю до 0,1 г, що дозволило зафіксувати загальну масу врожаю з кожного дослідного зразка. Додатково проводилася органолептична оцінка якості плодових тіл, що включала аналіз їхньої щільності, кольорової насиченості та відсутності деформацій. Така комплексна оцінка дозволила встановити кореляцію між складом субстратної композиції та товарними якістьми отриманої продукції. На основі отриманих даних проводився розрахунок біологічної ефективності (*БЕ*), що є ключовим індикатором якості субстрату, за такою формулою:

$$BE = \frac{Mr}{Mc} * 100\%, \quad (2.1)$$

де M_r – маса свіжих плодових тіл, г;

M_c – маса абсолютно сухого субстрату, г [23].

У табл. 2.3 наведено систематизований перелік основних показників, що підлягали обліку в ході експериментальних досліджень.

Таблиця 2.3

Методичний апарат дослідження показників розвитку культури

Показник	Одиниця виміру	Методика визначення
Динаміка колонізації	%	Візуальний морфометричний аналіз
Загальна врожайність	г/блок	Гравіметричний метод (зважування)
Біологічна ефективність	%	Розрахунковий метод
Тривалість фаз розвитку	доба	Календарний облік етапів

Джерело: складено автором на основі проведених досліджень

У наведеній таблиці відображено ключові методичні підходи, що забезпечили комплексний моніторинг життєвого циклу штаму Р-12. Систематизація даних показників дозволяє провести порівняльний аналіз впливу різних субстратних композицій на інтенсивність розвитку плодових тіл та їхню якісну характеристику.

Для забезпечення наукової обґрунтованості отриманих результатів застосовували методи варіаційної статистики засобами програмного середовища Microsoft Excel. Статистична обробка включала визначення середнього арифметичного значення, середньоквадратичного відхилення та оцінку достовірності різниці між варіантами за критерієм Стьюдента при рівні значущості $p < 0,05$. Для наочної демонстрації застосованого методичного підходу до обробки даних наведено приклад розрахунку в Додатку А. Такий підхід дозволив підтвердити статистичну значущість виявлених закономірностей у динаміці розвитку культури *Pleurotus djamor* та виключити вплив випадкових чинників на кінцеві результати дослідження [24].

Отже, представлені методики дослідження забезпечують об'єктивну оцінку ефективності різних субстратних композицій, дозволяючи на високому науковому рівні інтерпретувати отримані результати. Використання математичного моделювання та статистичних методів контролю гарантує високий ступінь достовірності даних, що є необхідною основою для подальшого аналізу та формування практичних рекомендацій щодо оптимізації вирощування гливи рожевої.

Висновки до Розділу 2

У розділі 2 обґрунтовано вибір об'єкта дослідження – штаму *Pleurotus djamor* P-12, а також визначено ключові компоненти субстратних композицій на основі лігноцелюлозних відходів. Встановлено, що використання раціонального поєднання соломи пшениці, лушпиння соняшника, висівок та деревної тирси з додаванням кальцію карбонату забезпечує створення поживного середовища з оптимальними фізико-хімічними властивостями. Застосування багаторівневої системи контролю якості сировини дозволило виключити використання субстратів із ознаками контамінації, що є фундаментальною передумовою для стабільного розвитку культури в лабораторних умовах.

Розроблений алгоритм підготовки субстратних композицій включає суворе дотримання технологічних параметрів, зокрема подрібнення компонентів до фракції 1–3 см, доведення вологості до 65–70% та проведення пастеризації за температури 80–90°C протягом 2 годин. Сформована технологія інокуляції зерновим міцелієм із забезпеченням герметичності пакування субстратних блоків гарантує оптимальну щільність середовища та належний рівень повітрообміну. Встановлено, що моніторинг мікрокліматичних умов інкубаційної камери, зокрема температури (24–26°C) та відносної вологості (70–80%), є необхідним для мінімізації впливу екзотермічних процесів на розвиток міцеліальної мережі.

Комплекс використаних методик визначення динаміки росту міцелію та продуктивності культури забезпечив можливість отримання достовірних та відтворюваних результатів. Завдяки впровадженню методів візуального морфометричного аналізу, гравіметричного обліку врожаю та розрахунку біологічної ефективності стало можливим проведення порівняльного аналізу впливу різних субстратних сумішей на життєвий цикл *Pleurotus djamor*. Використання методів варіаційної статистики із застосуванням критерію Стьюдента підтвердило високу точність та релевантність отриманих даних, що створює міцну наукову базу для подальшої інтерпретації результатів досліджень та розробки практичних рекомендацій.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

3.1. Особливості динаміки росту міцелію гливи рожевої на різних видах субстратів

У ході експериментальних досліджень було встановлено, що інтенсивність колонізації субстрату міцелієм штаму *Pleurotus djamor* P-12 суттєво варіює залежно від складу використаної поживної композиції. Аналіз динаміки росту дозволив виявити стадії адаптації грибниці та визначити часові інтервали досягнення повного заростання субстратних блоків. Отримані дані свідчать, що використання оптимізованої суміші на основі соломи пшениці, лушпиння соняшника та висівок сприяє прискореному розвитку міцеліальної мережі порівняно з монокомпонентними субстратами. Така висока динаміка росту зумовлена синергетичним ефектом поєднання різнорідних джерел живлення, що забезпечує грибницю як легкодоступними вуглеводами, так і складними полімерами, необхідними для сталого розвитку штаму.

Вибір параметрів моніторингу базувався на необхідності комплексної оцінки фізіологічного стану культури на кожному етапі вегетації. Враховуючи, що швидкість та однорідність заростання є визначальними для запобігання розвитку конкурентної мікрофлори, особлива увага приділялася візуальному контролю морфологічних ознак міцелію. Використання морфометричного аналізу дозволило не лише фіксувати темпи колонізації, а й оцінити здатність міцелію штаму P-12 до ефективного освоєння лігноцелюлозної матриці в умовах різних субстратних композицій [3].

Для ілюстрації початкової фази розвитку на рис. 3.1 представлено фрагмент субстратного блоку, на якому видно процес активного обплетення гіфами міцелію часток лушпиння соняшника.



Рис. 3.1. Початковий етап колонізації субстрату міцелієм *Pleurotus djamor*
Джерело: власне дослідження автора

На рис. 3.1 продемонстровано морфологічні особливості розвитку міцелію на ранніх стадіях: тонкі білі гіфи, що починають обплітати частинки субстрату. Висока щільність первинного розростання підтверджує ефективність обраного режиму зволоження та аерації. Завдяки належній шпаристості субстрату, забезпеченій підбором відповідної фракції компонентів, міцелій рівномірно проникає вглиб блоку, що мінімізує ризики виникнення анаеробних зон та сприяє активній біоконверсії поживних речовин середовища.

Для демонстрації фінального результату вегетативної фази, на рис. 3.2 представлено вигляд блоку на стадії повної колонізації, що характеризується утворенням цілісної міцеліальної мережі.



Рис. 3.2. Завершальна стадія колонізації субстратного блоку
Джерело: власне дослідження автора

На рис. 3.2 відображено стан, при якому міцеліальна мережа стає максимально компактною та суцільною, повністю приховуючи структурні компоненти субстрату. Така щільність міцеліального покриття свідчить про успішну адаптацію штаму P-12 та створення ідеальних умов для переходу до генеративної фази розвитку.

Важливим чинником, що впливає на інтенсивність розростання гіф, виявився контроль екзотермічних процесів. У ході експерименту було зафіксовано, що під час активної колонізації температура всередині блоку підвищувалася на 2–3°C відносно параметрів інкубаційної камери. При цьому було встановлено, що перевищення температурного порогу в 28°C призводило до сповільнення темпів розростання, що вказує на високу термочутливість штаму P-12 [25].

Також підтверджено кореляцію між рівнем рН субстрату та швидкістю колонізації. Застосування кальцію карбонату як буферної добавки дозволило підтримувати кислотність у межах 6,0–6,5, що сприяло формуванню більш щільного міцеліального мату. Натомість варіанти без корекції рН демонстрували локальні зони уповільненого росту, що, ймовірно, пов'язано з накопиченням продуктів метаболізму грибниці [26].

Окрему увагу було приділено аналізу співвідношення вуглецю до азоту (C:N). Найвищі показники швидкості колонізації досягалися при діапазоні C:N від 30:1 до 40:1, забезпеченому додаванням пшеничних висівок. Це підтверджує, що саме збалансоване азотне живлення виступає головним стимулятором переходу міцелію до фази активного вегетативного росту [27].

Порівняльний аналіз показав, що в субстратних варіантах із підвищеним вмістом азотних добавок швидкість проростання міцелію була вищою на 15–20% порівняно з контрольними групами. Це підтверджує позитивний вплив додаткових джерел азоту на стимуляцію вегетативного росту штаму P-12 на початкових етапах культивування. Слід зазначити, що сформована на етапі інокуляції структура блоків дозволила уникнути виникнення сторонньої

мікрофлори, що підтверджується чистотою морфології міцелію, представленою на ілюстраціях [28].

Отже, результати досліджень динаміки колонізації свідчать про те, що правильне співвідношення структурних та поживних компонентів субстрату є ключовим чинником, який визначає швидкість біодеградації лігноцелюлозних відходів. Забезпечення стабільних параметрів мікроклімату та дотримання методики підготовки субстратних блоків гарантує формування розвиненої міцеліальної системи, яка є необхідним фундаментом для отримання високої продуктивності культури на етапі плодоношення.

3.2. Аналіз формування врожаю та якісних характеристик плодових тіл залежно від складу субстрату

Перехід міцелію від стадії активного вегетативного росту до генеративної фази є критичним етапом, що визначає кінцеву біологічну ефективність культивування *Pleurotus djamor*. Експериментальні дані свідчать, що загальна маса сформованих плодових тіл та їх товарні характеристики безпосередньо залежать від нутрієнтного складу субстрату, закладеного на етапі підготовки. Для аналізу було використано серію субстратних композицій із різним співвідношенням базових лігноцелюлозних та азотовмісних компонентів, що дозволило встановити вплив кожного з них на продуктивність штаму. Оптимізація цього складу дозволяє не лише збільшити вихід продукції, а й суттєво покращити органолептичні властивості гливи рожевої [29].

Важливим аспектом дослідження було встановлення залежності між швидкістю ферментативного розщеплення лігноцелюлозних сполук та інтенсивністю закладки примордіїв. Було виявлено, що субстрати з високою часткою лушпиння соняшника, збагачені азотними добавками, забезпечують більш ранній вихід на етап плодоношення, що скорочує загальний цикл

вирощування без втрати товарної якості. Така інтенсифікація процесів обміну речовин дозволяє отримувати більшу кількість хвиль плодоношення протягом одного виробничого циклу, що прямо впливає на економічну ефективність культивування даного штаму [30].

Аналіз врожайності показав, що субстратні композиції на основі лушпиння соняшника та пшеничних висівок забезпечують найбільш стабільні показники виходу продукції. У табл. 3.1 наведено порівняльну характеристику продуктивності штаму P-12 залежно від складу використаних субстратних композицій. Проведені розрахунки дозволяють обґрунтовано визначити найбільш перспективний варіант субстрату для масштабування технології вирощування, при цьому статистичну достовірність отриманих показників врожайності було підтверджено методами варіаційної статистики, методологію яких відображено у Додатку А.

Таблиця 3.1

Порівняльна характеристика врожайності штаму *Pleurotus djamor* P-12 залежно від складу субстрату

Склад субстрату	Швидкість колонізації, днів	Біологічна ефективність, %	Товарні якості продукції
Солома пшениці (контроль)	22–25	18–20	Задовільні
Лушпиння соняшника	18–20	22–25	Високі
Оптимізована суміш (лушпиння + висівки)	14–16	28–35	Відмінні

Джерело: складено автором на основі проведених досліджень

Дані, наведені у табл. 3.1, систематизовано для відображення впливу азотного живлення та структури субстрату на розвиток грибниці, а також вони характеризують підвищення виходу товарної продукції на 15–20% порівняно з контрольними групами. Виявлена динаміка засвідчує, що збалансоване введення поживних добавок є визначальним фактором оптимізації біохімічних процесів, що відбуваються в субстратному блоці. Отримані результати підтверджують високий потенціал штаму P-12 до ефективної біоконверсії лігноцелюлозних компонентів при застосуванні розробленої технологічної схеми.

Для візуалізації результатів успішної генеративної фази на рис. 3.3 представлено вигляд типового кластера *Pleurotus djamor*, сформованого на оптимізованому субстратному блоці.



Рис. 3.3. Формування кластера плодових тіл *Pleurotus djamor* P-12

Джерело: власне дослідження автора

На рис. 3.3 продемонстровано морфологічні особливості плодових тіл: насичений рожевий колір, правильну форму капелюшків та щільну структуру ніжок. Симетрія кластерів свідчить про стабільність мікроклімату та високу поживну цінність субстрату. Отримана якість продукції є результатом успішної колонізації міцелієм, що підтверджує ефективність обраного технологічного алгоритму.

Також варто відзначити, що щільність м'якоті плодових тіл безпосередньо корелює з якістю первинного міцеліального мату, сформованого під час інкубації. Завдяки збалансованому вмісту азоту плодове тіла швидше досягають товарної стиглості, а їх біологічна ефективність зростає на 15–20% порівняно з варіантами без азотних добавок.

Отже, результати досліджень характеризують формування якісного врожаю як комплексний процес, який бере початок від якості підготовки субстрату та точності дотримання параметрів інкубаційного періоду.

Встановлені закономірності дозволяють рекомендувати оптимізовану суміш компонентів як базу для промислового вирощування штаму Р-12, що гарантує високий товарний вигляд та стабільні вихідні показники продукції.

3.3. Рекомендації щодо оптимізації субстратної бази для підвищення ефективності культивування гливи рожевої

На основі проведеного аналізу впливу компонентного складу субстрату на розвиток *Pleurotus djamor* штаму Р-12 розроблено низку практичних рекомендацій, спрямованих на максимізацію біологічної ефективності виробництва. Ці рекомендації базуються на встановлених кореляціях між фізико-хімічними властивостями середовища та інтенсивністю біоконверсії лігноцелюлозних матеріалів, що дозволяє досягти стабільно високих показників товарної продукції у промислових масштабах. Важливим аспектом практичної реалізації отриманих результатів є впровадження науково обґрунтованих норм внесення поживних добавок [31].

Для забезпечення оптимального рівня метаболічних процесів у грибниці необхідно суворо дотримуватися розробленого алгоритму формування субстратної суміші, деталізовані параметри якої наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Рекомендований компонентний склад субстратної суміші для штаму

Pleurotus djamor Р-12

Етап оптимізації	Компонент / Дія	Рекомендований діапазон	Очікуваний результат
Балансування вуглецю	Лушпиння соняшника	60–70% від маси	Збільшення енергетичного потенціалу
Азотна корекція	Пшеничні висівки	10–15% від маси	Інтенсифікація колонізації міцелієм

Продовження табл. 3.2

Структурна підтримка	Солома пшениці	15–20% від маси	Забезпечення належної аерації
Стабілізація середовища	Кальцію карбонат	1–2% від маси	Підтримка рН 6,0–6,5

Джерело: складено автором на основі [27; 32; 33; 34; 35]

У наведеній таблиці проілюстровано переваги використання комбінованих субстратів, де кожен компонент виконує специфічну функцію для оптимізації розвитку культури. Використання лушпиння соняшника як енергетичної бази в поєднанні з висівками пшеничними дозволяє суттєво прискорити процеси колонізації, тоді як додавання кальцію карбонату виступає запобіжником від закислення середовища, що в сукупності створює сприятливі умови для формування стабільних хвиль плодоношення [34].

Для візуалізації оптимізаційного процесу розроблено технологічну схему, наведену на рис. 3.4. На ній відображено послідовність етапів підготовки середовища, де кожен технологічний крок є визначальною умовою для формування поживного середовища з оптимальними фізико-хімічними параметрами.



Рис. 3.4. Технологічна схема оптимізації субстратної бази

Джерело: складено автором на основі [36; 37; 38]

На рис. 3.4 проілюстровано послідовність технологічних операцій: від вибору якісної сировини до формування фінального субстратного блоку. Кожен етап, відображений на схемі, є критично важливим для створення середовища, що сприяє швидкій адаптації та активному розростанню міцеліальної мережі, що в сукупності забезпечує стабільну морфологію плодових тіл та високу однорідність продукції. Додатково, кожен із зазначених етапів схеми дозволяє інтегрувати механізми автоматизованого контролю, що виключає вплив суб'єктивного фактора на якість готового субстрату [4].

Для забезпечення високої результативності запропонованого технологічного алгоритму перед закладкою субстрату необхідно проводити обов'язкову оцінку якості сировини на відсутність патогенної мікрофлори. Це пов'язано з тим, що навіть незначна контамінація вихідних компонентів нівелює позитивний ефект від збагачення субстрату азотними добавками та створює ризики інфекційного ураження блоків [39]. Також важливо дотримуватися режиму зволоження з використанням виключно очищеної води, що дозволяє уникнути накопичення небажаних солей у субстратній масі. Оптимальний рівень вологості сприяє швидшому розвитку міцеліальних гіф, що є критичним для забезпечення високої біологічної ефективності на етапі колонізації [40]. Крім того, необхідно суворо дотримуватися технологічної дисципліни під час пастеризації при температурі 85°C, оскільки перевищення цього температурного порогу призводить до деградації доступних вуглеводів, що прямо корелює зі зниженням поживних властивостей субстрату [41].

Отже, впровадження наведених рекомендацій дозволяє стабілізувати виробничий процес та досягти максимально можливої біологічної ефективності культивування штаму P-12 у промислових масштабах. Застосування даного технологічного алгоритму сприяє мінімізації виробничих втрат та забезпечує високу якість товарної продукції, що підтверджує доцільність використання оптимізованих субстратних композицій для широкого впровадження у біотехнологічну практику, забезпечуючи сталий розвиток галузі та ефективне використання ресурсного потенціалу/

Висновки до Розділу 3

У результаті досліджень встановлено, що динаміка росту міцелію *Pleurotus djamor* штаму Р-12 безпосередньо визначається складом субстрату та мікрокліматом. Використання суміші лушпиння соняшника та соломи пшениці зі збагаченням азотом значно прискорює колонізацію блоків. Оптимальне співвідношення С:N (30:1–40:1), підтримання температури до 28°C та стабілізація рН у межах 6,0–6,5 за допомогою кальцію карбонату забезпечують формування щільної міцеліальної мережі, стійкої до конкурентної мікрофлори.

Аналіз генеративної фази підтвердив пряму залежність між рівнем нутрієнтного забезпечення та врожайністю. Введення пшеничних висівок дозволило скоротити терміни інкубації та підвищити біологічну ефективність до 28–35%, що на 15–20% перевищує контрольні показники. Сформовані за таких умов плодове тіла відзначаються високими товарними характеристиками, що доводить високу результативність біоконверсії лігноцелюлозних матеріалів.

На основі експериментальних даних розроблено практичний алгоритм оптимізації субстрату для промислового культивування. Запропонована композиція (60–70% лушпиння соняшника, 15–20% соломи пшениці, 10–15% висівок, 1–2% кальцію карбонату) у поєднанні з температурним режимом пастеризації при 85°C гарантує стабілізацію виробничого процесу. Впровадження цих рекомендацій мінімізує виробничі втрати, підвищує рентабельність та дозволяє ефективно масштабувати технологію отримання якісної продукції.

ВИСНОВКИ

Результати проведеного дослідження засвідчили досягнення мети, розв'язання поставлених завдань і стали підставою для таких висновків.

1. Проведено аналіз сучасного стану та перспектив розвитку біотехнологічного виробництва грибною продукції, який засвідчив стрімке зростання інтересу до екологічно безпечних методів культивування. У процесі аналізу було виявлено, що галузь потребує впровадження інноваційних технологічних рішень для підвищення рентабельності, а використання локальних агропромислових відходів стає пріоритетним напрямом, що дозволяє суттєво знизити собівартість кінцевого продукту. Такі тенденції підтверджують доцільність розвитку регіональних грибівницьких комплексів як ефективної форми раціонального природокористування.

2. Вивчено біологічні особливості та морфо-фізіологічні вимоги гливи рожевої (*Pleurotus djamor*) як перспективного об'єкта культивування, при цьому особливу увагу приділено специфіці розвитку штаму Р-12. Дослідження підтвердило високу залежність фізіологічних показників штаму від стабільності температурного режиму в межах 24–26°C, порушення якого призводить до деградації міцеліальної мережі та зниження загальної врожайності. Виявлені адаптивні властивості штаму дозволяють прогнозувати його успішну інтродукцію в умовах інтенсивних технологій вирощування.

3. Здійснено наукове обґрунтування вибору компонентів для субстратних композицій та оцінено їх вплив на формування репродуктивних органів грибів, що дозволило виявити переваги використання комбінованих поживних середовищ. Встановлено, що збалансоване введення пшеничних висівок у поєднанні з солом'яно-лушпинною основою стимулює метаболічні процеси, забезпечуючи формування більшої кількості плодових тіл та покращуючи їх щільність і товарний вигляд. Експериментально доведено, що саме таке

співвідношення компонентів мінімізує терміни переходу грибниці до генеративної фази розвитку.

4. Надано характеристику біологічного матеріалу та використаних видів субстратів, що застосовувалися в експериментальних дослідженнях, із застосуванням багаторівневої системи відбору сировини. Було доведено, що попередня органолептична оцінка компонентів та забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов підготовки унеможлиблює розвиток конкуруючих патогенів, гарантуючи чистоту культури на всіх етапах інкубаційного періоду. Використання фільтрованої води для зволоження додатково мінімізувало ризики накопичення небажаних мінеральних сполук у субстратній масі.

5. Розроблено алгоритм підготовки субстратних композицій та структурувати технологічні етапи вирощування *Pleurotus djamor*, який включає оптимізацію фракційного складу та режимів термічної обробки. Впроваджений технологічний цикл забезпечує рівномірну вологість субстрату в межах 65–70%, що сприяє активній колонізації міцелієм та формуванню однорідної структури субстратного блоку, придатної для промислового масштабування. Суворе дотримання температурного режиму пастеризації при 80–90°C дозволило досягти максимальної вибіркості у знищенні конкуруючої мікрофлори без втрати поживних якостей середовища.

6. Встановлено особливості динаміки росту міцелію та показники продуктивності гливи рожевої на основі застосування сучасних методик моніторингу, що дозволило отримати достовірні дані про швидкість біоконверсії лігноцелюлозних матеріалів. Візуальний морфометричний аналіз продемонстрував, що використання оптимізованої суміші сприяє інтенсивному розростанню гіф, скорочуючи загальний час колонізації та забезпечуючи приріст біологічної ефективності на рівні 15–20% порівняно з незбагаченими субстратами. Стабільність отриманих показників засвідчує високу відтворюваність технології в умовах контрольованого лабораторного середовища.

7. Опрацьовано результати експериментальних досліджень щодо динаміки росту міцелію, формування врожаю та якості плодових тіл для розробки практичних рекомендацій щодо оптимізації субстратної бази. Застосування методів варіаційної статистики при аналізі отриманих даних підтвердило їх високу вірогідність, що дозволило сформулювати комплексні рекомендації щодо дозування поживних добавок для досягнення стабільних показників врожайності при культивуванні штаму Р-12. Упровадження цих рекомендацій у виробничу практику гарантує отримання конкурентоспроможної грибною продукції з високими товарними характеристиками.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні асортименту використаних лігноцелюлозних відходів, зокрема шляхом введення до складу субстратів технічних відходів інших галузей переробної промисловості. Доцільним є проведення глибшого аналізу впливу мікробіологічних добавок-стимуляторів на тривалість циклу плодоношення, а також вивчення можливості автоматизації контролю параметрів мікроклімату в інкубаційних камерах для мінімізації впливу екзотермічних процесів на якість біоматеріалу. Отримані результати створюють наукове підґрунтя для розробки інтегрованих систем біотехнологічного виробництва, спрямованих на максимізацію ресурсної ефективності та екологічну безпеку грибівництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Raman J., Jang K. Y., Oh Y. L., Oh M., Im J. H., Lakshmanan H., Sabaratnam V. Cultivation and nutritional value of prominent *Pleurotus* spp.: an overview. *Mycobiology*. 2021. Vol. 49, no. 1. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1080/12298093.2020.1835142>
2. Шпичко Д. Класифікаційні ознаки ринку грибної продукції. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2024. Вип. 104, ч. 2. С. 107–115. URL: <https://www.lib.udau.edu.ua/bitstreams/47c0c256-1f18-4747-b20a-b82d577499b5/download> (дата звернення: 17.06.2026).
3. Nurfitri N., Mangunwardoyo W., Saskiawan I. Lignocellulolytic enzyme activity pattern of three white oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm.) strains during mycelial growth and fruiting body development. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1725, no. 1. P. 012056. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1725/1/012056>
4. Elewi A., Hajhamed A., Khankan R., Duman S., Souag A., Ahmed A. Design and implementation of a cost-aware and smart oyster mushroom cultivation system. *Smart Agricultural Technology*. 2024. Vol. 8. P. 100439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100439>
5. Yang L., Park D., Qin Z. Material Function of Mycelium-Based Bio-Composite: A Review. *Frontiers in Materials*. 2021. Vol. 8. P. 737377. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.737377>
6. Santos A. F., Gaspar P. D., de Souza H. J. Eco-efficiency in mushroom production: a study on hvac equipment to reduce energy consumption and CO2 emissions. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, no. 10. P. 6129. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13106129>
7. Phonemany M., Sysouphanthong P., Rujanapun N. et al. Identification and therapeutic efficacy of *Pleurotus djamor* var *fuscopruinosus*. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. P. 18929. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-02900-4>

8. Rukhiran M., Sutanthavibul C., Boonsong S., Netinant P. IoT-based mushroom cultivation system with solar renewable energy integration: Assessing the sustainable impact of the yield and quality. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, no. 18. P. 13968. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151813968>
9. Song Y., Zheng W., Guo G., Wang M., Luo C., Chen C., Li Z. Research on Energy-Saving Optimization of Mushroom Growing Control Room Based on Neural Network Model Predictive Control. *Energies*. 2025. Vol. 18, no. 20. P. 5550. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18205550>
10. Бандура І., Кулик А., Хареба О., Хареба В., Цизь О., Чаусов С., Макогон С. Вплив складу субстратів на морфологічні та біохімічні показники *Pleurotus citrinopileatus* Singer. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 2. С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202102-02>
11. Бандура І. І. Група VI. Культивовані їстівні гриби. *Малопоширені овочеві рослини та гриби* : навчальний посібник / за ред. О. В. Хареби. 2-ге вид., допов. і перероб. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2021. С. 182–252. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/18211> (дата звернення: 17.06.2026).
12. Волкогон В. Мікроорганізми в процесах трансформації органічної речовини ґрунту. *Вісник аграрної науки*. 2025. № 7. С. 27–38. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202507-03>
13. Zhang L., Zhang Y., Wu Z., Zhao M., Wu X., Huang C. The transcription factor PoMbp1 promotes the growth and development of *Pleurotus ostreatus* by regulating polysaccharide utilisation. *Mycology*. 2025. Vol. 16, no. 4. P. 1781–1796. DOI: <https://doi.org/10.1080/21501203.2025.2467115>
14. Juhrich L. C., Lammersdorf I., Schmitt P., Tasto L., Speer F., Salzig D., Gand M. *Pleurotus djamor* Mycelium: Sustainable Production of a Promising Protein Source from Carrot Side Streams. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2025. Vol. 73, no. 52. P. 33156–33166. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c11223>
15. Nussbaum N., von Wyl T., Gandia A., Romanens E., Rühls P. A., Fischer P. Impact of malt concentration in solid substrate on mycelial growth and network connectivity in *Ganoderma* species. *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13, no. 1. P. 21051.

URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-48203-4> (дата звернення: 17.06.2026).

16. Gundoshmian T. M., Ardabili S., Csaba M., Mosavi A., Gundoshmian T. M., Ardabili S., Mosavi A. Modeling and optimization of the oyster mushroom growth using artificial neural network: Economic and environmental impacts. *Mathematical Biosciences and Engineering*. 2022. Vol. 19, no. 10. P. 9749–9768. DOI: <https://doi.org/10.3934/MBE.2022453>

17. Morales-Flores S., Cepeda-Negrete J., de Oca G. M. M., Ángel-Hernández A., Hernández-Ruiz J., Ruiz-Nieto J. E. In vitro molecular identification and characterization of *Pleurotus* spp. strains in Guanajuato, Mexico. *Agrociencia*. 2022. Vol. 56, no. 4. P. 549–564. URL: <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/2780> (дата звернення: 17.06.2026).

18. da Rocha E. M., Ávila S., de Lima J. J., de Andrade Silva R. S., de Andrade L. E. P., Bacila D. M., Jorge R. M. M. *Araucaria angustifolia* seed coat waste reduction through its utilization in substrate diversification for *Pleurotus djamor* production. *Scientia Horticulturae*. 2024. Vol. 330. P. 113060. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113060>

19. Suwannarach N., Kumla J., Zhao Y., Kakumyan P. Impact of cultivation substrate and microbial community on improving mushroom productivity: A review. *Biology*. 2022. Vol. 11, no. 4. P. 569. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology11040569>

20. Wiesnerová L., Hřebečková T., Jablonský I., Koudela M. Effect of different water contents in the substrate on cultivation of *Pleurotus ostreatus* Jacq. P. Kumm. *Folia Horticulturae*. 2023. Vol. 35, no. 1. P. 25–31. DOI: <https://doi.org/10.2478/fhort-2023-0002>

21. Vega A., de León J. A., Miranda S., Reyes S. M. Agro-industrial waste improves the nutritional and antioxidant profile of *Pleurotus djamor*. *Cleaner Waste Systems*. 2022. Vol. 2. P. 100018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100018>

22. Власенко К. М., Кузнецова О. В., Рябко В. І., Свічкач І. О. Використання добавок до субстрату з метою інтенсифікації процесу твердофазного культивування їстівних грибів. *Природничі науки: проекти,*

дослідження, перспективи : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (м. Миргород, 15–16 грудня 2022 р.). Київ : Талком, 2022. С. 110–113. URL:

https://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/9537/fpn_zb_mater_3michn_konf2022.pdf?isAllowed=y&sequence=1 (дата звернення: 18.06.2026).

23. Dissasa G. Cultivation of different oyster mushroom (*Pleurotus* species) on coffee waste and determination of their relative biological efficiency and pectinase enzyme production, Ethiopia. *International Journal of Microbiology*. 2022. Vol. 2022, no. 1. P. 5219939. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/5219939>

24. Pagano M., Gauvreau K., Mattie H. Principles of biostatistics. Chapman and Hall/CRC, 2022. 584 p. URL: <https://api.taylorfrancis.com/content/books/mono/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/9780429340512&type=googlepdf> (дата звернення: 18.06.2026).

25. Bearzi G., Grassi S., Cappa C., Rollini M., Alamprese C. Innovative monitoring of medicinal mushroom growth on food by-product substrates in solid-state fermentation. *Food Bioscience*. 2026. Vol. 70. P. 108849. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2026.108849>

26. Вдовенко С. А., Полутін О. О. Особливості застосування біопрепаратів за вирощування гливи звичайної на солом'яному субстраті. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 19. С. 196–207. URL: <http://www.vsau.vin.ua/repository/getfile.php/27773.pdf> (дата звернення: 18.06.2026).

27. Elkanah F. A., Oke M. A., Adebayo E. A. Substrate composition effect on the nutritional quality of *Pleurotus ostreatus* (MK751847) fruiting body. *Heliyon*. 2022. Vol. 8, no. 11. P. e11841. URL: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(22\)03129-2](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(22)03129-2) (дата звернення: 18.06.2026).

28. Чернишов І. В., Гузеєв В. В. Використання відходів переробки продукції тваринництва і аквакультури в технології виробництва гливи. URL:

<https://ir.kneu.edu.ua/bitstreams/63839216-38e2-48a6-b7e0-6108fa256dff/download>

(дата звернення: 18.06.2026).

29. Doroški A., Klaus A., Kozarski M., Cvetković S., Nikolić B., Jakovljević D., Djekic I. The influence of grape pomace substrate on quality characterization of *Pleurotus ostreatus*–Total quality index approach. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021. Vol. 45, no. 1. P. e15096. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.15096>

30. Petković A. D., Klaus A., Vunduk J., Cvetković S., Nikolić B., Rabrenović B., Djekic I. *Pleurotus ostreatus* cultivation for more sustainable soybean and sunflower seed waste management. *Scientia Horticulturae*. 2025. Vol. 339. P. 113866. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113866>

31. Nguyen B. T. T., Le V. V., Nguyen H. N., Nguyen H. T. T., Nguyen L. T., Ngo N. X. Cotton waste as an optimal substrate for cultivation of the pink oyster mushroom *Pleurotus djamor*. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. 2025. Vol. 13, no. 1. P. 184–191. DOI: 10.7324/JABB.2024.179930. URL: <https://indianjournals.com/api/article-view/jabb-13-1-020> (дата звернення: 19.06.2026).

32. Díaz R., Díaz-Godínez G. Substrates for mushroom, enzyme and metabolites production: A review. *Journal of Environmental Biology*. 2022. Vol. 43, no. 3. P. 350–359. DOI: <http://doi.org/10.22438/jeb/43/3/MRN-3017>

33. Chowdhury G., Sharma R., Sarkar U. Cultural Studies and Yield Attributes of Pink Oyster Mushroom (*Pleurotus djamor*) in West Bengal. *BioResources*. 2024. Vol. 19, no. 1. P. 1696–1706. DOI: <http://doi.org/10.15376/biores.19.1.1696-1706>

34. Barh A., Kamal S., Kumari B., Annepu S. K., Kumar S., Shirur M., Sharma V. Effects of Nitrogen Supplementation With Wheat Straw on Productivity of *Pleurotus Djamor* (Rumph. Ex FR.) Boedijn. *Bangladesh Journal of Botany*. 2021. Vol. 50, no. 2. P. 227–233. DOI: <https://doi.org/10.3329/bjb.v50i2.54077>

35. Harun H. B. Performance of different supplements and their levels on growth and yield of three oyster mushroom species : master's thesis. Sher-e-Bangla Agricultural University, 2021. URL:

<http://archive.saulibrary.edu.bd:8080/xmlui/handle/123456789/4705>

(дата

звернення: 19.06.2026).

36. Xu S., Li F., Gao J., Zhou X., Li M., Li L., Li C. Low GHG emissions and less nitrogen use in mushroom-based protein production from chitin-containing waste and cottonseed hull with two phase SSF. *Industrial Crops and Products*. 2023. Vol. 201. P. 116970. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116970>.

37. Azizi-Lalabadi M., Moghaddam N. R., Jafari S. M. Pasteurization in the food industry. *Thermal processing of food products by steam and hot water*. Woodhead Publishing, 2023. P. 247–273. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818616-9.00009-2>

38. Grimm D., Sonntag E., Rahmann G. Evaluation of different pasteurization and sterilization methods for oyster mushroom substrates. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. 2024. Vol. 13, no. 5. P. e10428. URL: <https://research.wur.nl/en/publications/evaluation-of-different-pasteurization-and-sterilization-methods-> (дата звернення: 19.06.2026).

39. Топольний Ф., Ковальов М. Формування урожайності екзотичних видів гливи звичайної під впливом ЕМ-препаратів. *Наука – виробництву*. 2021 № 113. С. 55–61. DOI: <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.113.8>

40. Латюк Г. І., Попова Л. М. Грибівництво : практикум для студентів вищих закладів освіти I–IV рівнів акредитації, які навчаються за освітньо-професійними програмами бакалавр і магістр спеціальностей «Агрономія» та «Садівництво і виноградарство». Одеса : Астропринт, 2021. 140 с. URL: http://lib.osau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3615/1/%D0%93%D1%80%D0%B8%D0%B1%D1%96%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%82%D0%B2%D0%BE%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA%D1%83%D0%BC_compressed.pdf (дата звернення: 19.06.2026).

41. Bermuli J. E., Irawati W., Tammu R. M. The effect of pasteurization stage on the production of straw mushroom (*Volvariella volvacea*, Bull. ex. Fr./Sing.). *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*. 2022. Vol. 8, no. 2. P. 242–256. DOI: <https://doi.org/10.31289/biolink.v8i2.6167>

ДОДАТКИ

Додаток А

Статистична обробка результатів врожайності штаму *Pleurotus djamor*

Для підтвердження достовірності отриманих результатів дослідження було застосовано методи варіаційної статистики. Нижче наведено приклад статистичної обробки даних врожайності, що проводилася для оптимізованої субстратної композиції, з отриманням значень у грамах з одного блока для п'яти дослідних зразків однієї серії.

Таблиця А.1

Розрахунок показників врожайності дослідних зразків

№	Врожайність (x _i), г	(x _i -x̄)	(x _i -x̄) ²
1	420	-5	25
2	435	10	100
3	415	-10	100
4	425	0	0
5	430	5	25
Сума (Σ)	2125	-	250

Першим етапом статистичної обробки було визначення середнього арифметичного значення врожайності (\bar{x}), яке розраховується як сума всіх значень варіантів, поділена на кількість вимірювань (n):

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{2125}{5} = 425 \text{ г}$$

Наступним кроком було визначення середньоквадратичного відхилення (s), що характеризує міру розсіювання отриманих даних навколо середнього значення. Розрахунок проводився за формулою вибіркового середньоквадратичного відхилення:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{250}{4}} = \sqrt{62,5} \approx 7,91 \text{ г}$$

Завершальним етапом стала оцінка достовірності результатів за допомогою критерію Стьюдента. При порівнянні отриманих даних із контрольним варіантом, середня врожайність якого становила $\bar{x}_k = 360$ г, було встановлено, що розрахункове значення t перевищує критичне табличне значення при рівні значущості $p < 0,05$. Це свідчить про статистичну значущість підвищення врожайності на оптимізованому субстраті та підтверджує, що виявлена закономірність є не випадковою.