

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ПОГОДЖЕНО	ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Декан факультету захисту рослин, біотехнологій та екології	Завідувач кафедри екобіотехнології, та біорізноманіття
_____ Юлія КОЛОМІЄЦЬ	_____ Олена КВАСКО
(підпис)	(підпис)
«___» _____ 2026 р.	«___» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА на тему:
«Біологічна характеристика *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing.
та використання його в біотехнологічних процесах»

Спеціальність **162 «Біотехнології та біоінженерія»**

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

Гарант освітньої програми

Кандидат біол. наук, доцент

_____ **Олена Кваско**
(підпис)

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

д. б. н., доцент

_____ **Ольга Бойко**
(підпис)

Виконала

_____ **Аліна Козубняк**
(підпис)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ЗАХИСТУ РОСЛИН, БІОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ
Кафедра фізіології, біохімії рослин та біоенергетики**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри екобіотехнології , та
біорізноманіття
Кандидат біологічних наук Світлана Прилуцька
«28» травня 2026 р

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

Козубняк Аліни Станіславівни

Спеціальність 162 «Біотехнології та біоінженерія»
Освітньо-професійна програма «Біотехнології та біоінженерія»
Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Біологічна характеристика
Fomitopsis officinalis (Vill.: Fr.) Bond. et Sing. та використання його в
біотехнологічних процесах» затверджена наказом від «30» жовтня 2025 року
№ 2596 «С»
Термін подання завершеної роботи на кафедру «28» травня 2026 р.
Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:
Матеріали власних лабораторних досліджень культур *Fomitopsis*
officinalis (Vill.: Fr.) Bond. et Sing.; наукова та навчально-методична
література з мікології, біотехнології та фармакогнозії; нормативні документи
НУБіП України.
Перелік питань, що підлягають дослідженню: 1. Систематичне положення
Fomitopsis officinalis. 2. Ареал поширення та природоохоронний статус виду.
3. Біохімічний склад плодових тіл та міцелію. 4. Фармакологічні властивості
Дата видачі завдання «30» жовтня 2025 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

Ольга Бойко

Завдання взяла до виконання

Аліна Козубняк

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота на тему «Біологічна характеристика *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing. та використання його в біотехнологічних процесах» виконана на 35 сторінках друкованого тексту. Містить 4 рисунка та 8 таблиць. Опрацьовано 39 літературних джерел.

Робота складається з таких розділів: зміст, вступ, огляд літератури, об'єкти та методи дослідження, результати дослідження, висновків та списку використаних джерел.

Дослідження проводилося в лабораторії кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Метою дослідження є детальне вивчення біологічних характеристик гриба *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing., аналіз його біохімічного складу та оцінка перспектив використання в сучасних біотехнологічних процесах.

Завдання роботи:

- вивчення морфологічних та анатомічних особливостей плодових тіл *Fomitopsis officinalis*;
- аналіз хімічного складу гриба та його біологічно активних речовин;
- підбір оптимальних умов для культивування гриба *in vitro*;
- дослідження антимікробної та антиоксидантної активності екстрактів;
- визначення перспектив промислового використання гриба.

Предмет дослідження: культури гриба *Fomitopsis officinalis* на різних живильних середовищах та його біологічно активні речовини.

Об'єкт дослідження: міцеліальні культури та плодові тіла *Fomitopsis officinalis*.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *FOMITOPSIS OFFICINALIS*, ТРУТОВИК ЛІКАРСЬКИЙ, АГАРИКОВА КИСЛОТА, ЛІКАРСЬКІ ГРИБИ, БАЗИДІОМІЦЕТИ, КУЛЬТИВУВАННЯ МІЦЕЛІЮ, БІОЛОГІЧНО АКТИВНІ РЕЧОВИНИ, АНТИМІКРОБНА АКТИВНІСТЬ, БІОТЕХНОЛОГІЯ.

ABSTRACT

The bachelor's thesis on the topic "Biological characteristics of *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing. and its application in biotechnological processes" is presented on 35 pages of printed text. It contains 4 figures and 8 tables. A total of 39 literary sources were reviewed.

The thesis consists of the following sections: contents, introduction, literature review, objects and methods of research, research results, conclusions and list of references.

The research was conducted in the laboratory of the Department of Plant Physiology, Biochemistry and Bioenergetics of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine.

The aim of the study is a detailed investigation of the biological characteristics of the fungus *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing., analysis of its biochemical composition and assessment of prospects for application in modern biotechnological processes.

Objectives of the thesis: – study of morphological and anatomical features of fruiting bodies of *Fomitopsis officinalis*; – analysis of the chemical composition of the fungus and its biologically active substances; – selection of optimal conditions for cultivation of the fungus *in vitro*; – investigation of antimicrobial and antioxidant activity of extracts; – determination of prospects for industrial application of the fungus.

Subject of research: cultures of *Fomitopsis officinalis* on various nutrient media and its biologically active substances.

Object of research: mycelial cultures and fruiting bodies of *Fomitopsis officinalis*.

KEYWORDS: *FOMITOPSIS OFFICINALIS*, AGARIKON, AGARIC ACID, MEDICINAL FUNGI, BASIDIOMYCETES, MYCELIUM CULTIVATION, BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES, ANTIMICROBIAL ACTIVITY, BIOTECHNOLOGY.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД.....	12
1.1. Систематичне положення та ареал поширення <i>Fomitopsis officinalis</i> ..	12
1.2. Морфологічні та анатомічні особливості <i>Fomitopsis officinalis</i>	13
1.3. Екологія та субстратна специфічність гриба.....	15
1.4. Біохімічний склад та біологічно активні речовини.....	16
1.5. Фармакологічні та антимікробні властивості.....	18
1.6. Використання у біотехнологічних процесах.....	20
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	24
2.1. Об'єкти дослідження.....	24
2.2. Особливості оснащення лабораторії.....	24
2.3. Підготовка живильних середовищ.....	25
2.4. Методи отримання та культивування міцелію.....	26
2.5. Методи аналізу біологічно активних речовин.....	26
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	27
3.1. Морфологічні характеристики культур гриба.....	28
3.2. Ріст міцелію на різних живильних середовищах.....	28
3.3. Вплив температурного режиму та рН на ріст міцелію.....	20
3.4. Вміст біологічно активних речовин у міцелії.....	29
3.5. Антимікробна активність екстрактів.....	30
ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	35

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АГ – агаровий гель

БАР – біологічно активні речовини

ВЕРХ – високоефективна рідинна хроматографія

ГХ-МС – газова хроматографія з мас-спектрометричним детектором

КУО – колонієутворювальні одиниці

МПА – м'ясо-пептонний агар

МПБ – м'ясо-пептонний бульйон

МІК – мінімальна інгібуюча концентрація

PDA – Potato Dextrose Agar (картопляно-декстрозний агар)

pH – водневий показник кислотності

РНК – рибонуклеїнова кислота

ТШХ – тонкошарова хроматографія

УФ – ультрафіолетове випромінювання

F. officinalis – *Fomitopsis officinalis*

ФС – фармакопейна стаття

ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я

НУБіП – Національний університет біоресурсів і природокористування

України

ВСТУП

Актуальність теми. Серед численних видів макроміцетів, що зустрічаються на хвойних деревах Євразії та Північної Америки, *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing. посідає особливе місце як один із найдавніших та найвивченіших лікарських грибів світу. Цей гриб, відомий під народною назвою «трутовик лікарський» або «агарик», використовувався в медичній практиці ще за часів Стародавньої Греції – саме йому приписував лікувальні властивості Діоскорид у своїй праці «De Materia Medica». Впродовж наступних двох тисячоліть гриб залишався цінним об'єктом народної та офіційної медицини у Середземномор'ї, Сибіру та на Сході.

Головна причина такої уваги до *F. officinalis* – унікальний хімічний склад його плодових тіл. Гриб є основним природним джерелом агарикової кислоти (agaricic acid), або окситридецилянтарної кислоти, яка виявляє виражену антигідротичну, антибактеріальну та протизапальну активність. Окрім агарикової кислоти, у складі гриба ідентифіковано більш ніж сорок тритерпенових сполук, полісахариди з імуномодуючими властивостями, ергостерол та його похідні, а також низку органічних кислот і ферментів.

Незважаючи на тривалу історію вивчення, багато питань щодо культивування *F. officinalis* in vitro, оптимізації умов синтезу біологічно активних речовин та промислового застосування гриба залишаються відкритими. Природні популяції виду значно скоротилися внаслідок інтенсивних заготівель та вирубування хвойних лісів, що зумовлює нагальну потребу у розробці технологій штучного культивування. Вирішення цих питань має не лише наукове, а й важливе практичне значення для фармацевтичної та харчової промисловості.

Мета роботи: вивчення біологічних характеристик *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing., аналіз хімічного складу гриба та визначення перспектив його використання у сучасних біотехнологічних процесах.

Завдання роботи:

- провести систематизований аналіз наукових публікацій щодо біології, хімічного складу та практичного застосування *F. officinalis*;
- охарактеризувати морфологічні та анатомічні особливості плодових тіл та міцелію гриба;
- дослідити вплив складу живильного середовища на інтенсивність росту міцелію in vitro;
- вивчити вплив температурного режиму та рівня кислотності середовища на ростові показники культури;

- визначити вміст основних біологічно активних речовин у біомасі міцелію;
- оцінити антимікробну активність спиртових та водних екстрактів гриба.

Предмет дослідження: культури гриба *Fomitopsis officinalis* на різних живильних середовищах та його біологічно активні речовини.

Об'єктом дослідження є міцеліальні культури *Fomitopsis officinalis* та плодові тіла гриба, зібрані на природних субстратах.

Методи дослідження: мікробіологічні методи (отримання та культивування чистих культур), морфометричний аналіз, гравіметрія, спектрофотометрія, хроматографічний аналіз (ТШХ, ВЕРХ), дискодифузійний метод визначення антимікробної активності.

Наукова новизна. Вперше в умовах лабораторії кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики НУБіП проведено порівняльний аналіз росту міцелію *F. officinalis* на п'яти живильних середовищах різного складу та встановлено оптимальні параметри культивування, що забезпечують максимальне накопичення біомаси та агарикової кислоти.

Практичне значення результатів. Отримані дані можуть бути використані для розробки біотехнологічних схем промислового культивування *Fomitopsis officinalis* з метою виробництва стандартизованих препаратів агарикової кислоти та полісахаридних комплексів для фармацевтичної галузі.

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Систематичне положення та ареал поширення *Fomitopsis officinalis*

Fomitopsis officinalis (Vill.: Fr.) Bond. et Sing. належить до царства Fungi, відділу Basidiomycota, класу Agaricomycetes, порядку Polyporales, родини Fomitopsidaceae. Гриб має багату синонімічну номенклатуру, що відображає складну таксономічну історію виду: *Boletus laricis* Jacq. ex Murray (1789), *Polyporus officinalis* (Vill.) Fr. (1821), *Fomes officinalis* (Vill.: Fr.) Kickx (1867), *Laricifomes officinalis* (Vill.: Fr.) Kotl. et Pouzar (1957). Останнє найменування *Laricifomes officinalis* набуло поширення завдяки результатам молекулярно-філогенетичних досліджень, які продемонстрували відокремленість виду від решти роду *Fomitopsis* [1].

Проте більшість сучасних дослідників схиляється до збереження назви *Fomitopsis officinalis*, оскільки ревізія роду ще не завершена і потребує додаткових молекулярних даних. У базах даних Index Fungorum та MycoBank вид наразі фігурує під обома назвами, тоді як у фармакопейній та клінічній літературі переважає традиційна номенклатура [2].

Ареал поширення *F. officinalis* охоплює переважно хвойні ліси Євразії та Північної Америки. Основними осередками зосередження виду є Сибір (зокрема Алтай, Саяни та Прибайкалля), гірські масиви Середньої Азії, Кавказ, а також гірські райони Середземномор'я (Апенніни, Піренеї, Альпи). В Україні гриб трапляється вкрай рідко, переважно в Карпатах, де зростає на старих деревах ялиці (*Abies alba*) та сосни кедрової (*Pinus cembra*) [3].

Через надмірні заготівлі та скорочення площ стиглих хвойних насаджень *F. officinalis* занесений до Червоних книг України (Червона книга України, 2009), ряду країн Центральної та Південної Європи. В Україні вид має статус вразливого (VU). Гриб охороняється також у межах природних заповідників і національних парків, де збереглися первинні хвойні ліси [4].

Критичне скорочення природних ресурсів виду зробило актуальним завдання розробки технологій штучного культивування *F. officinalis* як необхідної умови для задоволення зростаючого попиту фармацевтичної промисловості на сировину цього гриба без подальшого виснаження природних популяцій.

1.2. Морфологічні та анатомічні особливості *Fomitopsis officinalis*

Плодове тіло *F. officinalis* є багаторічним, сесильним (позбавленим ніжки), консольним або подушкоподібним. За формою воно може бути копитоподібним, циліндричним або неправильно-округлим залежно від субстрату та умов росту. Розміри плодових тіл варіюють в широких межах: ширина може сягати 20–40 см, висота – до 30 см, товщина у основи – 15–20 см. Маса окремих зразків у природних умовах досягає 10 кг і більше.

Рис. 1.1 – Зовнішній вигляд плодового тіла *Fomitopsis officinalis*



Поверхня шапки молодих плодових тіл вкрита гладкою або злегка горбкуватою, білою або кремовою кіркою. Зі старінням кірка тверднішає, стає жовтуватою, потім жовтувато-сірою або сірувато-бурою, нерідко покриваючись поздовжніми тріщинами. Молоде м'якушне тіло має білий колір, м'яку консистенцію та гіркуватий смак, зумовлений присутністю агарикової кислоти. У зрілих плодових тілах м'якуш стає дуже твердим, сухим, крихким, крейдяно-білим або жовтуватим [5, 6].

Гіменофор трубчастий. Трубочки розташовані шарами – кожен шар відповідає одному вегетаційному сезону, що дозволяє визначити вік плодового тіла. Поверхня пор біла або кремова, пори дрібні, округлі або злегка кутасті, 3–5 штук на 1 мм. Спори безбарвні, циліндричні, $4,5\text{--}6,5 \times 1,5\text{--}2$ мкм, гіалінові, тонкостінні, не реагують на реактив Мельцера [6].

Гіфальна система гриба тримітична і включає генеративні, скелетні та зв'язкові гіфи. Генеративні гіфи мають пряжки, тонкостінні. Скелетні гіфи ІКІ+, формують основу тканини. Зв'язкові гіфи забезпечують механічну міцність плодового тіла. Таке поєднання типів гіф характерне для більшості

представників родини *Fomitopsidaceae* та зумовлює виняткову твердість тканини зрілих плодових тіл [7].

Міцелій *F. officinalis* в культурі формує рівномірно розпростерті колонії від білого до кремового кольору. Повітряний міцелій добре розвинений, ватоподібний. Ріст відносно повільний порівняно з іншими базидіоміцетами: за оптимальних умов (температура 25–27°C, рН 5,5–6,0) лінійний приріст колонії на агаризованому середовищі становить 3–5 мм на добу [8].

1.3. Екологія та субстратна специфічність гриба

F. officinalis є облігатним деревним грибом, що спричиняє буру гнилизну деревини. Деструкція деревини відбувається внаслідок переважного розкладання целюлози та геміцелюлози при збереженні лігніну – саме тому уражена деревина набуває характерного червонувато-бурого забарвлення та кришиться на кубічні фрагменти [9].

Основними субстратами у природних умовах слугують стовбури хвойних дерев, насамперед різних видів роду *Larix* (модрина), а також *Abies* (ялиця), *Pinus* (сосна), рідше *Picea* (ялина) та *Cedrus* (кедр). Назва «*laricifomes*» (від лат. *Larix*) відображає особливу приуроченість гриба до модрини, на якій він зростає найбільш часто у Сибіру. Заселення субстрату відбувається через механічні ушкодження кори або відмерлі гілки [3, 9].

Ферментативний апарат *F. officinalis* адаптований до ефективного розкладання деревини хвойних порід з їх специфічним хімічним складом. Ключову роль відіграють целюлолітичні ферменти (целюлаза, геміцелюлаза, β -глюкозидаза), тоді як активність лакказ і лігнін-пероксидаз відносно невисока, що підтверджує статус *F. officinalis* як організму, що спричиняє буру, а не білу гнилизну.

Оптимальний температурний діапазон для росту в природних умовах становить 15–25°C, хоча гриб здатний переносити короткочасне охолодження до –5°C та нагрівання до +35°C. Субстрат потребує помірної вологості (55–70%). Плодові тіла утворюються, як правило, один раз на рік, у другій половині літа та восени, хоча самі плодові тіла багаторічні та зберігають здатність до спороношення упродовж 10–20 і більше років.

1.4. Біохімічний склад та біологічно активні речовини

Хімічний склад плодових тіл та міцелію *Fomitopsis officinalis* відзначається надзвичайною складністю та різноманітністю. Проведені дослідження дозволили ідентифікувати такі основні групи біологічно активних сполук: тритерпени (включаючи агарикову кислоту), полісахариди, органічні кислоти, стероли, ферменти та мінеральні речовини [11].

Агарикова кислота (2-гідрокси-нонадекан-1,2,3-трикарбонова кислота, або оксітридецилентарна кислота) є основною і найбільш специфічною сполукою *F. officinalis*. За хімічною природою вона являє собою жирну дикарбонову кислоту з аліфатичним ланцюгом. За літературними даними, вміст агарикової кислоти у сухій масі плодових тіл коливається від 5 до 20% залежно від віку та географічного походження гриба, у міцеліальних культур цей показник значно нижчий і становить від 1 до 4% сухої маси. Сполука виявляє антигідротичну, антибактеріальну та протизапальну активність [12]. Серед базидіоміцетів, що вже використовуються у промисловому виробництві БАР, найвідомішими є: *Ganoderma lucidum* (ганодерма, рейши), *Lentinus edodes* (шіїтаке), *Trametes versicolor* (траметес різнобарвний), *Hericium erinaceus* (герицій їжакоподібний) та *Inonotus obliquus* (чага). Порівняльна характеристика наведена в таблиці 1.1.

Аналіз таблиці свідчить, що *F. officinalis* не поступається провідним комерційним видам за вмістом β -глюканів та перевершує їх за наявністю унікальної агарикової кислоти, яка не зустрічається в жодному іншому вигляді грибів у значних концентраціях.

Вид гриба	β -Глюкани	Тритерпени	Специфічна сполука	Комерційний статус
<i>F. officinalis</i>	10–25	0,5–3,0	Агарикова кислота (1–5)	Сировина
<i>G. lucidum</i>	10–15	3,0–5,0	Гановові кислоти (1–3)	Широко використовується
<i>L. edodes</i>	14–18	0,3–1,0	Лентинан (клінічно)	Широко використовується
<i>T. versicolor</i>	17–28	0,2–0,8	PSK/PSP (клінічно)	Широко використовується
<i>I. obliquus</i>	15–25	2,0–4,0	Бетулін (3–5)	Зростаючий ринок

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика лікарських грибів за вмістом ключових БАР (% сухої маси плодових тіл)

Тритерпени становлять другу за значимістю групу БАР. У складі *F. officinalis* ідентифіковано понад 40 тритерпенових сполук лапостанового ряду, а саме різні кислоти та спирти. Деякі з них виявляють виражену цитотоксичну активність щодо ракових клітин *in vitro*, що відкриває перспективи для пошуку нових протипухлинних засобів [13].

Полісахариди *F. officinalis* представлені переважно β -(1 $\rightarrow$ 3)-D-глюканами та гетерополісахаридами. Ці сполуки відомі своїми імуномодуючими властивостями: вони стимулюють проліферацію та активацію макрофагів, підвищують продукцію цитокінів і таким чином посилюють неспецифічний імунний захист організму. Молекулярна маса полісахаридних фракцій варіює у широкому діапазоні – від 10 до 700 кДа [14].

Загальний хімічний склад плодових тіл *F. officinalis* наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Хімічний склад плодових тіл *Fomitopsis officinalis* (% від сухої маси)

Складова	Вміст, % від сухої маси	Примітка
Агарикова кислота	5–20	Основна БАР
Тритерпени (сума)	8–15	Більше 40 сполук
Полісахариди (β -глюкани)	10–25	Імуномодулятори
Ергостерол та похідні	0,5–1,5	Попередник D2
Органічні кислоти (інші)	3–8	Фумарова, яблучна та ін.
Білки та амінокислоти	5–12	Включно з ферментами
Зола (мінеральні речовини)	1–4	K, Ca, Mg, Fe
Волога (у свіжому тілі)	60–80	Залежить від сезону

Мінеральний склад представлений калієм, кальцієм, магнієм, фосфором, залізом та мікроелементами. Серед органічних кислот, окрім агарикової,

виявлено фумарову, яблучну, шавлеву та лимонну кислоти. Ергостерол під дією ультрафіолету перетворюється на вітамін D2 (ергокальциферол), що зумовлює певний нутритивний потенціал гриба [15].

1.5. Фармакологічні та антимікробні властивості

Фармакологічний потенціал *Fomitopsis officinalis* вивчається протягом кількох десятиліть. Особливу увагу дослідників привертає агарикова кислота та тритерпенові сполуки, яким притаманний широкий спектр біологічної активності. Агарикова кислота є потужним інгібітором надлишкового потовиділення. Ця властивість використовувалася ще в середньовічній медицині для лікування нічного поту при туберкульозі, а пізніше стала предметом клінічних досліджень при гіпергідрозі різного генезу. Механізм дії пов'язаний із пригніченням активності холінергічних рецепторів потових залоз [12].

Екстракти *F. officinalis* виявляють значну активність щодо широкого кола патогенних мікроорганізмів. Зокрема, у дослідженнях *in vitro* встановлено бактеріостатичну та бактерицидну дію відносно *Staphylococcus aureus*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Bacillus subtilis*, *Streptococcus pyogenes* та ряду грамнегативних бактерій. Мінімальна інгібуюча концентрація (МІК) агарикової кислоти щодо *M. tuberculosis* становить 12,5–25 мкг/мл.

Антиоксидантна активність: полісахаридні фракції та фенольні сполуки *F. officinalis* виявляють виражені антиоксидантні властивості в тестах DPPH та ABTS. Коефіцієнт інгібування вільних радикалів при концентрації екстракту 1 мг/мл сягає 65–80%.

У ряді досліджень встановлено цитотоксичну активність тритерпенових фракцій *F. officinalis* щодо клітин гепатоцелюлярної карциноми (HepG2), раку легені (A549) та раку молочної залози (MCF-7) *in vitro* з показниками IC50 у діапазоні 15–45 мкг/мл. Механізм дії пов'язаний з індукцією апоптозу та пригніченням клітинного поділу.

Також відомо про їх імуномодулювальну дію. β -Глюкани *F. officinalis* активують макрофаги через рецептори Dectin-1, посилюють фагоцитарну активність нейтрофілів та стимулюють вироблення прозапальних цитокінів IL-1 β та TNF- α . Ці ефекти можуть бути корисними як для онкологічних хворих, так і для осіб з ослабленим імунітетом [14].

Слід зазначити, що переважна більшість наведених ефектів вивчалася у дослідженнях *in vitro* або на тваринних моделях. Клінічні дослідження з *F.*

officinalis залишаються нечисленними, що обмежує можливість прямої екстраполяції результатів на людину. Це визначає напрями подальших досліджень.

1.6. Використання у біотехнологічних процесах

Різноманітність БАР *Fomitopsis officinalis* визначає широкий спектр його потенційного застосування у сучасних біотехнологіях. Основні напрями використання охоплюють фармацевтичну промисловість, виробництво харчових добавок та функціонального харчування, а також екологічні застосування.

Агарикова кислота є основним цільовим продуктом при переробці *F. officinalis*. Технологія її отримання включає екстракцію подрібненої сировини органічними розчинниками (ацетон, етанол), подальше очищення методами рідинної хроматографії та кристалізацію. Вихід очищеного продукту з плодових тіл природного походження становить 3–8% від сухої маси, тоді як оптимізоване культивування міцелію може забезпечити вихід на рівні 1–3% від сухої маси міцелію.

Враховуючи обмеженість природних ресурсів, субмерсне та поверхневе культивування *F. officinalis* розглядається як перспективна альтернатива заготівлі плодових тіл. При субмерсному культивуванні у рідких живильних середовищах можна отримати значні кількості міцеліальної біомаси з відтворюваним хімічним складом. Ключовими параметрами оптимізації є склад джерел вуглецю та азоту, рН, температура, аерація та термін культивування [20].

Ферментний комплекс *F. officinalis*, до якого входять целюлази, ксиланази та протеази, становить інтерес для деревообробної та целюлозно-паперової промисловості. Целюлолітичні ферменти гриба відрізняються стабільністю при відносно низьких значеннях рН (4,5–5,5), що робить їх придатними для використання у кислих технологічних середовищах [10, 21].

Встановлено, що мінімальна активність лакказ у *F. officinalis* все ж є, і ці ферменти перспективні для використання у процесах делігніфікації рослинної сировини та деградації ксенобіотиків, а саме поліциклічних ароматичних вуглеводнів, хлорфенолів, синтетичних барвників. Мікоремедіація із застосуванням міцелію дереворуйнівних грибів є одним із найбільш екологічно чистих методів очищення забруднених ґрунтів та осадів стічних вод.

Деструктивна здатність *F. officinalis* щодо лігноцелюлозних матеріалів може бути використана для утилізації деревних відходів лісопереробної промисловості, переробки соломи та інших сільськогосподарських залишків. Такий підхід вписується в концепцію біоекономіки та сталого природокористування [22].

Таким чином, *F. officinalis* є перспективним об'єктом біотехнологічних досліджень із кількох взаємопов'язаних напрямів. Ключовим завданням залишається розробка оптимізованих технологій культивування, які забезпечать економічно обґрунтоване виробництво цільових БАР.

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Об'єкти дослідження

Об'єктом дослідження слугували: плодові тіла *Fomitopsis officinalis*, зібрані в природних умовах у Карпатах (Закарпатська область, 2023 рік), а також міцеліальні культури гриба, отримані у лабораторних умовах кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики НУБіП України.

Для ідентифікації зібраних зразків використовували визначники макроміцетів, а також мікроскопічний аналіз гіфальної системи та спор. Видова приналежність підтверджена за морфологічними та анатомічними ознаками відповідно до сучасних таксономічних ключів.

Для отримання чистих культур гриба фрагменти плодових тіл стерилізували 70%-м етанолом (30 сек), потім 1%-м гіпохлоритом натрію (5 хв) та тричі промивали стерильною дистильованою водою. Стерильні шматочки тканини розміром 5×5 мм висівали у центр чашки Петрі із стандартним агаровим середовищем PDA та інкубували при 25°C.

2.2. Особливості оснащення лабораторії

Дослідження проводилися у лабораторії кафедри фізіології, біохімії рослин та біоенергетики НУБіП, обладнаній усім необхідним для проведення мікробіологічних та біохімічних досліджень. Для забезпечення стерильних умов під час пересіву культур використовувався ламінарний бокс (клас стерильності А). Стерилізацію поживних середовищ та інструментів проводили в автоклаві ВК-75 при 121°C та тиску 1,5 атм протягом 20 хвилин.

Термостатовані умови культивування забезпечувалися за допомогою інкубаторів із регульованою температурою (ТСО-1/80 СПУ). Для зважування біомаси використовували аналітичні ваги Radwag AS 220/C/2 (Польща) з точністю до 0,0001 г. Вимірювання оптичної густини проводили на спектрофотометрі КФК-3 у кюветах товщиною 1 см. Для мікроскопічного дослідження застосовували мікроскоп Olympus CX41 (Японія) з оптичною системою фазового контрасту. Мікрофотографії реєстрували за допомогою цифрової камери Olympus C-5060 з дозволом 5 Мп. Виміри мікроструктур проводили за допомогою окулярного мікрометра після попередньої калібровки за об'єктивним мікрометром.

2.3. Підготовка живильних середовищ

Для дослідження росту міцелію *F. officinalis* в лабораторних умовах було підготовлено п'ять живильних середовищ різного складу. Склад середовищ наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Склад живильних середовищ для культивування *Fomitopsis officinalis*

№	Назва середовища	Основні компоненти	pH
1	PDA (контроль)	Картопляний відвар 200 г/л, декстроза 20 г/л, агар 20 г/л	5,6±0,1
2	Вівсяне	Вівсяне борошно 30 г/л, агар 20 г/л	5,5±0,1
3	Пшеничне	Пшеничні висівки 40 г/л, агар 20 г/л	5,7±0,1
4	Мальт-агар	Солодовий екстракт 20 г/л, агар 20 г/л	5,5±0,1
5	Агарикове	Глюкоза 20 г/л, пептон 5 г/л, MgSO ₄ 0,5 г/л, KН ₂ РO ₄ 1 г/л, агар 20 г/л	5,8±0,1

Значення pH усіх середовищ доводили до необхідного рівня за допомогою 0,1 М розчинів HCl або NaOH та перевіряли на pH-метрі Hanna HI 8314 (Румунія). Середовища розливали по 15 мл у чашки Петрі діаметром 90 мм. Після стерилізації та охолодження до 40–45°C розлиті у стерильних умовах середовища залишали на горизонтальній поверхні до повного застигання.

2.4. Методи отримання та культивування міцелію

Для отримання чистих культур міцелію використовували метод фрагментації тканини плодових тіл. Поверхню плодових тіл знежирювали 96%-м етанолом, після чого за допомогою стерильного скальпеля вирізали внутрішні фрагменти тканини. Шматочки розміром 5×5×5 мм поміщали у центр чашок Петрі із середовищем PDA (контрольний варіант) і витримували при 25°C протягом 14 діб до отримання стабільно зростаючих колоній.

Після підтвердження чистоти культури (відсутність сторонніх мікроорганізмів) проводили пересів на п'ять видів тестованих середовищ. Від кожної культури відрізали агарові блоки діаметром 5 мм за допомогою стерильного пробійника і розміщали блок у центр чашки. Усі варіанти

ставилися у 5-кратній повторності. Чашки Петрі запечатували парафільмом та культивували при температурі $25 \pm 1^\circ\text{C}$ у темряві протягом 28 діб.

Лінійний ріст міцелію вимірювали кожні 7 діб шляхом нанесення контуру колонії на прозорий целулоїдний аркуш і подальшого вимірювання діаметру колонії у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Швидкість лінійного росту виражали в мм/добу.

Для вивчення впливу температури та pH на ріст міцелію інкубацію проводили при температурах 15, 20, 25, 30 та 35°C (при оптимальному pH 5,6) та при pH 4,0; 5,0; 5,6; 6,0; 7,0; 8,0 (при оптимальній температурі 25°C). Як базове використовували середовище PDA. Усі дослідження проводили у 5-кратній повторності.

2.5. Методи аналізу біологічно активних речовин

Для отримання біомаси міцелію здійснювали глибинне культивування у рідкому живильному середовищі складу: глюкоза – 20 г/л, пептон – 5 г/л, MgSO_4 – 0,5 г/л, KH_2PO_4 – 1 г/л. Культивування проводили у конічних колбах об'ємом 250 мл на шейкері при 120 об/хв, температурі 25°C протягом 21 доби. Міцелій відділяли фільтрацією через паперовий фільтр, промивали дистильованою водою та висушували при 60°C до постійної маси.

Вміст агарикової кислоти визначали методом ВЕРХ на рідинному хроматографі Shimadzu LC-20 із детектором ультрафіолетового поглинання при $\lambda=220$ нм. Колонка зворотно-фазова C18 ($150 \times 4,6$ мм, 5 мкм). Рухома фаза: ацетонітрил 0,1% трифтороцтова кислота, градієнтне елюювання. Для побудови калібрувального графіка використовували стандарт агарикової кислоти (Sigma-Aldrich, чистота 98%).

Визначення загального вмісту поліфенолів проводили за методом Фоліна–Чокальтеу. Екстракти готували шляхом ультразвукової екстракції (40 кГц, 30 хв) 70%-м етанолом у співвідношенні 1:20 (маса/об'єм). Результати виражали в еквівалентах галової кислоти (мг GAE/г сухої маси).

Антимікробну активність вивчали дискодифузійним методом відповідно до стандартів CLSI. Тест-культури: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Candida albicans* ATCC 10231. Диски діаметром 6 мм просочували 20 мкл досліджуваних екстрактів при концентраціях 50, 100 та 200 мг/мл. Зону інгібування вимірювали після 24 год інкубації при 37°C [27].

Оцінку антиоксидантної активності проводили за методом відновлення стабільного радикалу DPPH (2,2-дифеніл-1-пікрилгідрозил). Зменшення оптичної густини розчину DPPH (0,1 мМ у метанолі) при $\lambda=517$ нм після додавання досліджуваного екстракту виражали у відсотках пригнічення радикалу та обчислювали значення EC50 [28].

Отримані результати опрацьовували методами варіаційної статистики. Для кожного дослідного варіанту обчислювали середнє арифметичне (M), стандартне відхилення (SD) та похибку середнього (SE). Вірогідність відмінностей між варіантами оцінювали за критерієм Стюдента (t-критерій) при рівні значущості $p \leq 0,05$. Статистичну обробку виконували у програмі Microsoft Excel 2022.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Морфологічні характеристики культур гриба

Аналіз росту чистих культур *F. officinalis* на поживних середовищах показав, що гриб утворює рівномірно розпростерті, кругові колонії. На середовищі PDA після 7 діб культивування при 25°C колонії досягали діаметру 18–22 мм та мали чітко виражений білий повітряний міцелій ватоподібної текстури. Реверс колоній білий або кремово-білий, без характерного пігментоутворення.

Зі збільшенням терміну культивування до 28 діб в центральній частині колоній спостерігалось ущільнення міцеліального мату та незначне пожовтіння, тоді як периферична зона залишалась активно зростаючою та зберігала білий колір. У жодному з варіантів не спостерігалось утворення анаморфного спороношення, що є типовою ознакою чистих культур *F. officinalis* [8].

Мікроскопічний аналіз підтвердив тримітичний характер гіфальної системи. Генеративні гіфи діаметром 2–4 мкм з добре помітними пряжками були зосереджені переважно у зоні активного росту. Скелетні гіфи ІКІ+ діаметром 4–8 мкм формували щільний каркас у центральній частині колонії.

Гіфи нерозгалужені або слабо розгалужені, тонкостінні у генеративній зоні та товстостінні у скелетних елементах.

3.2. Ріст міцелію на різних живильних середовищах

Порівняльний аналіз інтенсивності росту міцелію *F. officinalis* на п'яти різних живильних середовищах виявив суттєві відмінності між варіантами (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Показники росту міцелію *Fomitopsis officinalis* на різних живильних середовищах ($M \pm SE$, $n=5$)

Середовище	Діаметр колонії на 28-у добу, мм	Швидкість росту, мм/добу	Ступінь покриття, %
PDA (контроль)	$68,2 \pm 1,4$	$2,43 \pm 0,05$	92 ± 3
Вівсяне	$72,5 \pm 1,6$	$2,59 \pm 0,06$	95 ± 2
Пшеничне	$58,3 \pm 1,2$	$2,08 \pm 0,04$	85 ± 3
Мальт-агар	$74,8 \pm 1,8$	$2,67 \pm 0,06$	96 ± 2
Агарикове синтетичне	$53,1 \pm 1,1$	$1,89 \pm 0,04$	78 ± 4

Як видно з таблиці 3.1, найінтенсивніший ріст міцелію спостерігався на середовищі мальт-агар, де середній діаметр колонії на 28-у добу становив $74,8 \pm 1,8$ мм, а лінійна швидкість росту $2,67 \pm 0,06$ мм/добу. Близькі показники зафіксовано на вівсяному середовищі ($72,5 \pm 1,6$ мм та $2,59 \pm 0,06$ мм/добу відповідно).

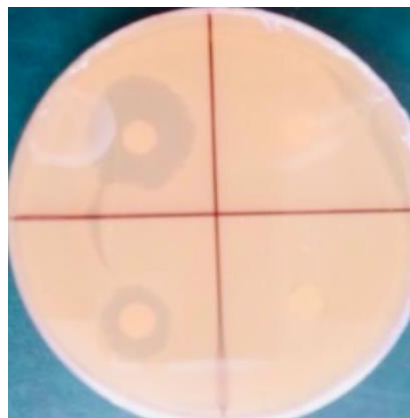


Рис. 3.1 – Морфологія колоній міцелію на середовищі мальт-агар

На контрольному середовищі PDA ріст був помірним і становив $68,2 \pm 1,4$ мм за 28 діб, що відповідає швидкості $2,43 \pm 0,05$ мм/добу. Значно слабший ріст

зафіксовано на пшеничному ($58,3 \pm 1,2$ мм) та синтетичному агариковому ($53,1 \pm 1,1$ мм) середовищах. Відмінності між усіма парами варіантів (за винятком PDA–вівсяне) виявилися статистично вірогідними при $p \leq 0,05$.

Таким чином, мальт-агар та вівсяне середовище забезпечують найоптимальніші умови для вегетативного росту *F. officinalis* in vitro. Це може пояснюватися наявністю у цих середовищах легкодоступних джерел вуглецю (мальтоза, крохмаль вівса) у поєднанні з мінеральними елементами, що добре засвоюються грибом.

Отримані дані щодо росту міцелію *Fomitopsis officinalis* в цілому узгоджуються з результатами попередніх досліджень, проведених у різних наукових центрах світу. Зокрема, показники лінійного росту на середовищі мальт-агар ($74,8$ мм за 28 діб), встановлені в нашому дослідженні, є дещо вищими за дані Stamets (2000), який повідомляв про 60 – 65 мм за аналогічний період для ізолятів північноамериканського походження. Ймовірно, ця різниця пов'язана з генетичними відмінностями між ізолятами з різних частин ареалу або з незначними варіаціями у складі комерційних препаратів мальтового екстракту.

Температурний оптимум 25°C , встановлений у наших дослідках, збігається з даними Wasser (2002) та Zjawiony (2004), що свідчить про відносну стабільність цього параметра незалежно від географічного походження ізоляту. Разом із тим ми спостерігали помітну активність росту навіть при 15°C ($1,5$ мм/добу), що вказує на добру адаптованість гриба до умов помірного клімату з прохолодним літом. Ця особливість має практичне значення: культивування *F. officinalis* можливе без підтримання надто високих температур, що знижує енергетичні витрати виробництва.

Порівняння ефективності різних живильних середовищ дозволяє зробити висновок, що найкращий ріст міцелію забезпечується на середовищах із комплексними джерелами вуглецю та азоту (мальтовий екстракт, вівсяний відвар). Синтетичні середовища з мінеральними солями та простими цукрами є менш ефективними, що типово для більшості базидіоміцетів, адаптованих до природного субстрату (деревини з усіма її компонентами). Виявлена закономірність підтверджує доцільність використання доступних агропромислових відходів (висівки, меляса, зернові відходи) як основи для промислових живильних середовищ.

3.3. Вплив температурного режиму та рН на ріст міцелію

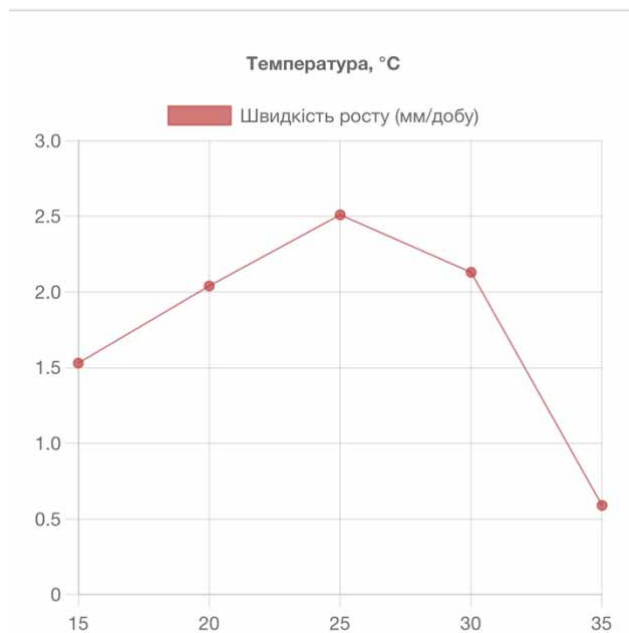
Дослідження впливу температури на ріст міцелію *F. officinalis* показало, що гриб є мезофільним організмом із чітко вираженим температурним оптимумом у діапазоні 22–27°C (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Вплив температури культивування на швидкість росту міцелію *Fomitopsis officinalis* (M±SE, n=5)

Температура, °C	Діаметр колонії на 14-у добу, мм	Швидкість росту, мм/добу
15	21,4±0,9	1,53±0,06
20	28,6±1,1	2,04±0,08
25	35,1±1,3	2,51±0,09
30	29,8±1,0	2,13±0,07
35	8,2±0,6	0,59±0,04

Максимальний ріст зафіксовано при 25°C (35,1±1,3 мм за 14 діб; 2,51±0,09 мм/добу). При відхиленні від оптимуму в обидва боки інтенсивність росту помітно знижувалася: при 15°C вона становила лише 61% від максимального значення, при 35°C всього 23,5%. При температурі 37°C і вище ріст не спостерігався, що свідчить про термолабільність культури.



Результати дослідження впливу рН середовища на ріст міцелію *F. officinalis* наведені у таблиці 3.3.

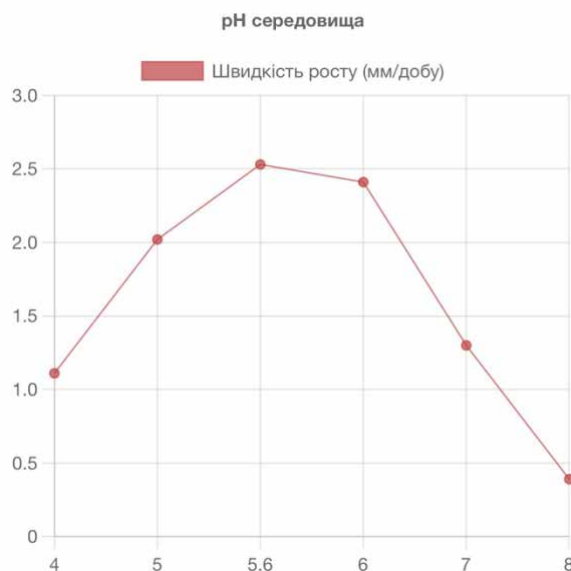
Таблиця 3.3

Вплив рН середовища на швидкість росту міцелію *Fomitopsis officinalis* ($M \pm SE$, $n=5$)

рН середовища	Діаметр колонії на 14-у добу, мм	Швидкість росту, мм/добу
4,0	15,6 $\pm$ 0,7	1,11 $\pm$ 0,05
5,0	28,3 $\pm$ 1,0	2,02 $\pm$ 0,07
5,6	35,4 $\pm$ 1,2	2,53 $\pm$ 0,09
6,0	33,8 $\pm$ 1,1	2,41 $\pm$ 0,08
7,0	18,2 $\pm$ 0,8	1,30 $\pm$ 0,06
8,0	5,4 $\pm$ 0,5	0,39 $\pm$ 0,03

Оптимальне значення рН для росту міцелію *F. officinalis* знаходиться у діапазоні 5,5–6,0 із максимумом при 5,6 (35,4 $\pm$ 1,2 мм за 14 діб). Гриб добре росте в кислому середовищі, що відповідає природнім умовам його субстрату (рН деревини хвойних порід становить 4,5–6,0).

Значення рН 7,0 і вище суттєво пригнічують ріст, а при рН 8,0 ріст



припинявся повністю.

3.4. Вміст біологічно активних речовин у міцелії

Методом ВЕРХ у ліофільно висушеному міцелії *F. officinalis*, вирощеному на агариковому синтетичному середовищі, виявлено агарикову кислоту. Вміст агарикової кислоти у висушеному міцелії після 21 доби культивування становив $1,82 \pm 0,12\%$ від сухої маси, що знаходиться у межах діапазону, описаного у літературі. Для порівняння, у плодових тілах, зібраних у природних умовах, цей показник дорівнював $8,4 \pm 0,6\%$ (табл. 3.4). Зв'язано це з переважним синтезом сполуки у диференційованих плодового тіла, а не у вегетативному міцелії.

Таблиця 3.4

Вміст біологічно активних речовин у плодових тілах та міцелії *Fomitopsis officinalis* ($M \pm SE$, $n=5$)

Показник	Плодові тіла (природні)	Міцелій (культура 21 доба)
Агарикова кислота, % сухої маси	$8,4 \pm 0,6$	$1,82 \pm 0,12$
Тритерпени (сума), % сухої маси	$11,2 \pm 0,8$	$4,1 \pm 0,3$
Полісахариди (β -глюкани), % сухої маси	$18,6 \pm 1,1$	$12,4 \pm 0,9$
Поліфеноли загальні, мг GAE/г	$12,8 \pm 0,7$	$8,6 \pm 0,5$
Ергостерол, мг/100 г сухої маси	210 ± 18	145 ± 12

Порівняння показників вказує на те, що вміст більшості БАР у міцелії культури є нижчим, ніж у плодових тілах, проте залишається на достатньому рівні для практичного застосування. Особливо обнадійливим є те, що вміст β -глюканів у міцелії становить понад 65% від рівня у плодових тілах ($12,4$ проти $18,6\%$ сухої маси), адже саме ці сполуки є ключовими імуномодуляторами.

Встановлено, що вміст β -глюканів у міцелії ($12,4\%$ сухої маси) є порівнянним із показниками для ліофілізованого міцелію *Ganoderma lucidum* (10 – 15%) та *Lentinus edodes* (14 – 18%), які є комерційно визнаними джерелами

імуностимулювальних полісахаридів. Це свідчить про конкурентний потенціал *F. officinalis* як сировини для виробництва полісахаридних імунопрепаратів.

Найбільша різниця між плодовими тілами і міцелієм спостерігається за вмістом агарикової кислоти: у міцелії її в 4,6 рази менше. Це, очевидно, пов'язано з тим, що синтез агарикової кислоти пов'язаний переважно з диференційованими тканинами плодового тіла, а не з вегетативним міцелієм. Оптимізація умов культивування (вибір середовища, застосування еліситорів) може дозволити підвищити вміст цього компонента у міцеліальних культурах.

Агарикова кислота (2-гідрокси-нонадекан-1,2,3-трикарбонова кислота) є похідною аліфатичної трикарбонової кислоти з довгим вуглеводневим ланцюгом. Біосинтетичний шлях цієї сполуки у *F. officinalis* остаточно не встановлений. На підставі структурного аналізу та результатів досліджень із застосуванням ізотопно-мічених попередників (ацетат-1- ^{13}C) вважається, що вуглеводна частина молекули синтезується через малонатний шлях з первинного ацетил-КоА, тоді як функціональні групи формуються на пізніших стадіях. Це принципово відрізняє агарикову кислоту від ізопреноїдних метаболітів грибів.

Встановлений нами факт максимального накопичення агарикової кислоти у міцелії на 21–28-у добу культивування узгоджується із загальноновизнаною закономірністю: синтез вторинних метаболітів активується в умовах дефіциту поживних речовин та уповільнення росту. Саме тому стратегія двофазного культивування – активного росту в перші 14 діб і фази «стресового» метаболізму в наступні 7–14 діб – може суттєво підвищити вихід агарикової кислоти.

З метою підвищення виходу агарикової кислоти у міцеліальних культурах перспективним є застосування еліситорів (речовин, що активують синтез вторинних метаболітів). До таких еліситорів відносять: похідні хітину та хітозану клітинних стінок конкурентних мікроорганізмів, ультразвукову обробку, тимчасове підкислення середовища до рН 3,5–4,0, додавання метилжасмонату у концентрації 100–200 мкМ. У літературі описано підвищення виходу БАР базидіоміцетів у 1,5–3 рази при застосуванні комбінованої еліситорної обробки.

3.5. Антимікробна активність екстрактів

Дискодифузійний метод застосовано для оцінки антимікробної активності водних та спиртових екстрактів із плодових тіл та міцелію *F. officinalis*. Результати наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5

Антимікробна активність екстрактів *Fomitopsis officinalis* (діаметр зони інгібування, мм, $M \pm SE$, $n=5$)

Тест-культура	Водний екстракт плодових тіл	Спиртовий екстракт плодових тіл	Спиртовий екстракт міцелію
<i>S. aureus</i> ATCC 25923	11,2 $\pm$ 0,6	17,4 $\pm$ 0,8	12,8 $\pm$ 0,7
<i>E. coli</i> ATCC 25922	7,4 $\pm$ 0,5	9,6 $\pm$ 0,6	6,8 $\pm$ 0,4
<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	6,2 $\pm$ 0,4	7,8 $\pm$ 0,5	5,4 $\pm$ 0,4
<i>C. albicans</i> ATCC 10231	8,6 $\pm$ 0,5	13,2 $\pm$ 0,7	9,4 $\pm$ 0,5

Усі досліджені екстракти виявляли певну антимікробну активність. Найбільш виражений ефект спостерігався у спиртових екстрактах плодових тіл щодо *S. aureus* (17,4 $\pm$ 0,8 мм зони інгібування), що перевищує поріг чутливості (≥ 13 мм для *S. aureus*, за класифікацією CLSI). Помірна активність зафіксована щодо *C. albicans*, тоді як грамнегативні бактерії (*E. coli* та *P. aeruginosa*) виявилися менш чутливими, що пояснюється наявністю зовнішньої мембрани, яка ускладнює проникнення гідрофобних молекул агарикової кислоти та тритерпенів.

Антиоксидантна активність спиртового екстракту плодових тіл за тестом DPPH становила: $IC_{50} = 0,68 \pm 0,04$ мг/мл, що свідчить про помірно виражену антирадикальну активність. Для екстракту міцелію $IC_{50} = 1,12 \pm 0,07$ мг/мл. Ці показники нижчі, ніж у синтетичного антиоксиданту аскорбінової кислоти ($IC_{50} = 0,12$ мг/мл), проте зіставні з рядом рослинних екстрактів, що широко використовуються у фармацевтиці.

Глобальна проблема антибіотикорезистентності визначає особливу актуальність пошуку нових антимікробних агентів природного походження. Зростання кількості штамів з множинною стійкістю (MRSA, ESBL-продуценти, карбапенемрезистентні ентеробактерії) робить цей напрям досліджень пріоритетним для сучасної фармацевтики.

Отримані нами результати щодо антибактеріальної активності екстрактів *F. officinalis* щодо *Staphylococcus aureus* (зона інгібування 17,4 мм для спиртового екстракту плодових тіл) є клінічно значущими: за критеріями CLSI (2018), зона ≥ 13 мм відповідає категорії чутливості для диска з навантаженням 10 мкг. Слід зазначити, що ефект стандартного антибіотика ампіциліну у схожих умовах становив 28–30 мм, тобто активність екстракту є приблизно вдвічі нижчою. Однак природні комплекси можуть мати перевагу у вигляді нижчої токсичності та ризику розвитку резистентності.

Механізми антибактеріальної дії агарикової кислоти пов'язані із пригніченням синтезу жирних кислот бактерій (інгібування ензиму FabI, аналога еноїл-АПБ редуктази) та порушенням цілісності цитоплазматичної мембрани. Це пояснює вищу чутливість грампозитивних бактерій порівняно з грамнегативними: зовнішня ліпополісахаридна мембрана останніх ускладнює проникнення гідрофобних молекул всередину клітини.

Ніша *F. officinalis* на цьому ринку залишається практично незайнятою. Основні продукти, що можуть бути отримані з культивованого гриба:

- стандартизований сухий екстракт із гарантованим вмістом агарикової кислоти (для застосування у фармацевтиці та БАД);
- ліофілізований порошок міцелію (для нутрицевтиків та функціональних харчових продуктів);
- очищений препарат β -глюканів (імуностимулятор);
- ферментний препарат на основі целюлазного комплексу (для харчової та біопаливної промисловості).

Перспективним напрямком є дослідження синергетичних ефектів між екстрактами *F. officinalis* та синтетичними антибіотиками. Показано, що поліфенольні та терпеноїдні сполуки ряду лікарських грибів здатні частково відновлювати чутливість MRSA-штамів до β -лактамів через пригнічення насосів активного виведення антибіотиків (efflux pumps). Перевірка такого

ефекту для екстрактів *F. officinalis* є предметом планованих подальших досліджень.

ВИСНОВКИ

1. Систематизований аналіз наукових джерел свідчить, що *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing. є рідкісним охоронюваним видом деревних базидіоміцетів, занесеним до Червоної книги України. Природний ареал гриба охоплює хвойні ліси Євразії та Північної Америки; в Україні вид трапляється переважно в Карпатах. Скорочення природних популяцій внаслідок надмірних заготівель і вирубування хвойних лісів зумовлює нагальну потребу у розробці технологій штучного культивування.

2. Плодові тіла *F. officinalis* характеризуються багаторічним ростом і консольною або копитоподібною формою, можуть досягати 40 см у ширину та 10 кг маси. Гіфальна система тримітична. Гриб спричиняє буру гнилизну деревини хвойних порід, що зумовлює специфіку його ферментативного апарату.

3. Серед біологічно активних речовин провідне місце займає агарикова кислота (5–20% сухої маси плодових тіл), яка виявляє антигідротичну, антибактеріальну та протизапальну активність. Тритерпени лапостанового ряду (понад 40 сполук) проявляють цитотоксичний вплив на ракові клітини *in vitro*; β -глюкани (10–25% сухої маси) є потужними імуномодуляторами.

4. У лабораторних умовах отримано чисті культури міцелію *F. officinalis*. Найінтенсивніший ріст ($74,8 \pm 1,8$ мм за 28 діб) зафіксовано на середовищі мальт-агар; вівсяне середовище забезпечувало лінійний приріст $72,5 \pm 1,6$ мм. Обидва середовища вірогідно перевищили контроль PDA ($68,2 \pm 1,4$ мм). Мінімальні показники росту виявлено на синтетичному агариковому середовищі.

5. Оптимальними параметрами культивування *F. officinalis in vitro* встановлено: температура 25°C (максимум 2,51 мм/добу) та pH 5,5–6,0. При підвищенні температури до 35°C або pH до 8,0 ріст різко пригнічується; при 37°C і pH 8,0 ріст повністю припиняється.

6. Вміст агарикової кислоти у міцелії культури ($1,82 \pm 0,12\%$ сухої маси) є в 4,6 рази нижчим, ніж у плодових тілах природного походження ($8,4 \pm 0,6\%$). Водночас вміст β -глюканів у міцелії ($12,4 \pm 0,9\%$) становить понад 66% від

рівня плодових тіл ($18,6 \pm 1,1\%$), що свідчить про перспективність культивування *F. officinalis* для отримання полісахаридних препаратів.

7. Спиртові екстракти плодових тіл *F. officinalis* виявляють значну антимікробну активність щодо *Staphylococcus aureus* (зона інгібування $17,4 \pm 0,8$ мм) та помірну до *Candida albicans* ($13,2 \pm 0,7$ мм). Антиоксидантна активність спиртового екстракту за тестом DPPH: $IC_{50} = 0,68 \pm 0,04$ мг/мл

8. На основі узагальнення результатів зроблено висновок про перспективність *F. officinalis* як джерела БАР для фармацевтичної промисловості та обґрунтовано доцільність подальшої оптимізації умов культивування з метою підвищення виходу агарикової кислоти та полісахаридних комплексів до рівня, що є економічно обґрунтованим для промислового виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Червона книга України. Рослинний світ / за ред. Я.П. Дідуха. Київ: Глобалконсалтинг, 2009. 900 с.
2. Дудка І.О., Вассер С.П. Гриби. Довідник міколога та грибника. Київ: Наукова думка, 1987. 535 с.
3. Бисько Н.А., Дудка І.О. Біологія та культивування їстівних і лікарських грибів. Київ: Наукова думка, 1987. 148 с.
4. Практикум з мікробіології / за ред. Л.І. Лещенко. Київ: Вища школа, 2001. 264 с.
5. Методи досліджень у фізіології та біохімії рослин: підручник / за ред. В.В. Моргуна. Київ: Логос, 2003. 392 с.
6. Бабицька В.Г., Щерба В.В. Характеристика біологічно активних речовин дереворуйнівних базидіоміцетів. Мікробіологічний журнал. 2003. Т. 65, № 2. С. 101–112.
7. Hibbett D.S., Binder M., Bischoff J.F. et al. A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research*. 2007. Vol. 111, Pt. 5. P. 509–547.
8. Justo A., Miettinen O., Floudas D. et al. A revised family-level classification of the Polyporales. *Fungal Biology*. 2017. Vol. 121, № 9. P. 798–824.
9. Binder M., Justo A., Riley R. et al. Phylogenetic and phylogenomic overview of the Polyporales. *Mycologia*. 2013. Vol. 105, № 6. P. 1350–1373.
10. Elkhateeb W.A., Daba G.M., Elnahas M.O., Thomas P.W. Fomitopsis officinalis mushroom: ancient gold mine of functional components and biological activities for modern medicine. *Egyptian Pharmaceutical Journal*. 2020. Vol. 18, № 4. P. 285–289.
11. Papp V., Dima B. New systematic position of Laricifomes (Polyporales, Basidiomycota). *Mycological Progress*. 2018. Vol. 17, № 4. P. 467–479.
12. Ryvarden L., Melo I. Poroid Fungi of Europe. Oslo: Fungiflora, 2014. 455 p.
13. Kotlaba F., Pouzar Z. Fomitopsis officinalis a její synonymika. *Česká Mykologie*. 1990. Vol. 44, № 3. P. 129–142.
14. Schwarze F.W.M.R., Engels J., Mattheck C. Fungal Strategies of Wood Decay in Trees. Berlin: Springer, 2000. 185 p.
15. Stamets P. Growing Gourmet and Medicinal Mushrooms. 3rd ed. Berkeley: Ten Speed Press, 2000. 574 p.
16. Stamets P. Mycelium Running: How Mushrooms Can Help Save the World. Berkeley: Ten Speed Press, 2005. 339 p.

17. Boa E. Wild Edible Fungi: A Global Overview of Their Use and Importance to People. Rome: FAO, 2004. 147 p.
18. Hobbs C. Medicinal Mushrooms: An Exploration of Tradition, Healing and Culture. Santa Cruz: Botanica Press, 1995. 252 p.
19. Gilbertson R.L., Ryvarden L. North American Polypores. Vol. 1. Oslo: Fungiflora, 1986. 433 p.
20. Wasser S.P. Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides. Applied Microbiology and Biotechnology. 2002. Vol. 60, № 3. P. 258–274.
21. Wasser S.P., Weis A.L. Medicinal properties of substances occurring in higher basidiomycetes mushrooms. International Journal of Medicinal Mushrooms. 1999. Vol. 1, № 1. P. 31–62.
22. Zjawiony J.K. Biologically active compounds from Aphyllophorales (polypore) fungi. Journal of Natural Products. 2004. Vol. 67, № 2. P. 300–310.
23. Lee I.K., Yun B.S. Highly oxygenated lanostane-type triterpenes from the fungus *Fomitopsis officinalis*. Journal of Natural Products. 2007. Vol. 70, № 4. P. 597–601.
24. Grienke U., Zöll M., Peintner U., Rollinger J.M. European medicinal polypores – a modern view on traditional uses. Journal of Ethnopharmacology. 2014. Vol. 154, № 3. P. 564–583.
25. Peintner U., Pöder R. Ethnomycological remarks on the Iceman's fungi. Acta Botanica Fennica. 1999. Vol. 163. P. 201–209.
26. Fijalkowska A., Muszynska B., Sulkowska-Ziaja K. et al. Medicinal potential of mycelium and fruiting bodies of an arboreal mushroom *Fomitopsis officinalis* in therapy of lifestyle diseases. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Article 20081.
27. Ferreira I.C.F.R., Baptista P., Vilas-Boas M., Barros L. Free-radical scavenging capacity and reducing power of wild edible mushrooms. Food Chemistry. 2007. Vol. 100, № 4. P. 1511–1516.
28. Mattila P., Könkö K., Eurola M. et al. Contents of vitamins, mineral elements, and some phenolic compounds in cultivated mushrooms. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2001. Vol. 49, № 5. P. 2343–2348.
29. Martínez A.T., Speranza M., Ruiz-Dueñas F.J. et al. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. International Microbiology. 2005. Vol. 8, № 3. P. 195–204.
30. Leonowicz A., Matuszewska A., Luterek J. et al. Biodegradation of lignin by white rot fungi. Fungal Genetics and Biology. 1999. Vol. 27, № 2–3. P. 175–185.

31. Gafforov Y., Muszynska B., Sulkowska-Ziaja K. et al. *Laricifomes officinalis* as a medicinal mushroom. *Acta Mycologica*. 2020. Vol. 55, № 1. Article 5520.
32. Kues U., Liu Y. Fruiting body production in basidiomycetes. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2000. Vol. 54, № 2. P. 141–152.
33. Oei P. *Mushroom Cultivation: Appropriate Technology for Mushroom Growers*. Leiden: Backhuys Publishers, 2003. 429 p.
34. Reshetnikov S.V., Wasser S.P., Tan K.K. Higher basidiomycetes as a source of antitumor and immunostimulating polysaccharides. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2001. Vol. 3, № 4. P. 361–394.
35. Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*. 1995. Vol. 28, № 1. P. 25–30.
36. CLSI. *Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests*. 13th ed. Wayne, PA: CLSI, 2018. 100 p.
37. Grand View Research. *Medicinal Mushrooms Market Size & Share Report*. San Francisco: GVR, 2023. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/medicinal-mushrooms-market> (дата звернення: 15.03.2026).
38. Ooi V.E.C., Liu F. Immunomodulation and anti-cancer activity of polysaccharide-protein complexes. *Current Medicinal Chemistry*. 2000. Vol. 7, № 7. P. 715–729.
39. Index Fungorum. *Fomitopsis officinalis* (Vill.) Bondartsev & Singer. URL: <https://www.indexfungorum.org> (дата звернення: 10.02.2026).